

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 2(21), 2022

Воронежский государственный технический университет



*Строительные конструкции,
здания и сооружения*

*Экология и безопасность
городской среды*

*Градостроительство.
Реконструкция, реставрация
и благоустройство*

*Экономика и организация
строительства*

*Инженерные системы
и коммуникации*

*Дорожно-транспортное
хозяйство
и строительная техника*

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 2(21), 2022

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

**ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО
и коммунальная инфраструктура**

Адрес редакции:

394006, Россия

г. Воронеж,

ул. 20-летия Октября, дом 84, корп. I, ауд. 1326;

тел. (473) 271-28-92;

E-mail: vstu.gkh@gmail.com





ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

ISSN 2541-9110



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 «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/>

Воронеж

Founder and publisher:
**Federal state budgetary educational institution
«Voronezh State Technical University»**

Address of publisher and founder: 84, 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006

The territory of distribution – **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’**

Journal publishes materials on the following topics:

- ✓ Building construction, buildings and structures
- ✓ Engineering systems and communications
- ✓ Reconstruction, restoration and landscaping
- ✓ Environment and safety of the urban environment
- ✓ Road transport agriculture and construction equipment
- ✓ Economics and organization of construction

The journal is placed on the website of the Scientific Electronic Library, the text of the article is checked for uniqueness.

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

Subscription index in the «Catalog of periodicals. Newspapers and magazines»
of the «Ural Press» Group of Companies - 81025.
Individuals can subscribe to it in the online store «Business Press»
<http://www.ural-press.ru/dlya-fizicheskikh-lits/>

Voronezh

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Баранников Н. И., д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора (Воронежский государственный технический университет)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:* Брехунцов И. В.

Редактор перевода: Козлова В.В.

Подписной индекс в «Каталоге периодических изданий. Газеты и журналы» ГК «Урал Пресс» – 81025

Дата выхода в свет 10.06.2022. Усл. печ. л. 14,4. Формат 60×84/8. Тираж 45 экз. Заказ №

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 – Yaremenko Sergey Anatolevich, 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)

Barannikov N. I., 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 – Zherlykina Mariya Nikolaevna, 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:* I. V. Brekhuntsov

Translation editor: V. V. Kozlova

Subscription index in the «Catalog of periodicals. Newspapers and magazines» of the «Ural Press» Group of Companies – 81025

Date of publication 10.06.2022. Conventional printed sheets 14.4. Format 60×84/8. Circulation 45 copies. Order

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, Russian Federation

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

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

Метод прогноза остаточного срока службы по вероятному снижению несущей способности эксплуатируемых строительных конструкций.....9

Головина Е. В., Калач А. В., Калач Е. В., Акулов А. Ю.

Анализ применения современных средств огнезащиты стальных конструкций нефтегазового комплекса в климатических условиях Арктического региона.....19

Федотова М. И., Шмелев Г. Д.

Прогноз риска аварии несущих строительных конструкций на основе расчета снижения несущей способности30

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

Лобанов Д. В., Кононова М. С., Воробьева Ю. А., Мерицьев А. А.

Уточнение тепло-, газовыделений от детей при проектировании систем микроклимата.....38

Шичкин В. В., Жерлыкина М. Н., Гармонов К. В., Соловьев С. А.

Апробация системы адаптивной вентиляции помещения большого объема49

Мерицьев А. А., Шенс Р. А., Кононова М. С., Яременко С. А.

Распространение теплового потока в толще ограждающей конструкции из массива дерева.....57

Копытина Е. А., Петрикеева Н. А., Чудинов Д. М.

Реализация программы расчета для оптимизации трассировки тепловых сетей.....63

Баскакова А. Г., Иванова Е. Ю.

Исследование некоторых химических и микробиологических характеристик воды родников Воронежской области.....74

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

Попов Б. А., Хахулина Н. Б., Драпалюк Н. А.

Функциональное зонирование физических границ города по материалам дистанционного зондирования.....82

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Гармонов К. В., Жерлыкина М. Н., Макаров А. Р., Жерлицина А. С.

Обоснование мероприятий по повышению экологической безопасности городских автозаправочных станций96

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Яременко С. А., Шенс Р. А., Сохранов С. С., Силина Е. В.

Повышение энергетической эффективности многоквартирных домов в рамках проведения капитального ремонта106

Переславцева И. И.

Исследование рисков участия в инновационных экосистемах.....115

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....123

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

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

A method for predicting remaining service life according to the probable decrease in the bearing capacity of the operated building structures.....9

Golovina E. V., Kalach A. V., Kalach E. V., Akulov A. Yu.

Analysis of modern means of fire protection application of steel structures in the oil and gas complex in the Arctic climatic conditions19

Fedotova M. I., Shmelev G. D.

Prediction of the accident risk in load-bearing structures based on the calculation of the load-bearing capacity reduction.....30

ENGINEERING SYSTEMS AND COMMUNICATIONS

Lobanov D. V., Kononova M. S., Vorob'eva Yu. A., Mershchiev A. A.

Clarification of heat and gas emissions from children in the design of microclimate systems.....38

Shichkin V. V., Zherlykina M. N., Garmonov K. V., Solovyov S. A.

Approbation of the adaptive ventilation system in spacious premises.....49

Mershchiev A. A., Sheps R. A., Kononova M. S., Yaremenko S. A.

The spread of heat flow in the thickness of the enclosing structure made of solid wood.....57

Kopytina E. A., Petrikeva N. A., Chudinov D. M.

Implementation of the calculation program to optimize heat networks routing63

Baskakova A. G., Ivanova E. Yu.

Study of some chemical and microbiological characteristics of water springs in the Voronezh region.....74

CITY. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

Popov B. A., Khakhulina N. B., Drapalyuk N. A.

Functional zoning of the city physical boundaries based on remote sensing materials.....82

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

Garmonov K. V., Zherlykina M. N., Makarov A. R., Zherlitsina A. S.

Justification of measures to improve environmental safety of city gas stations.....96

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

Yaremenko S. A., Sheps R. A., Sokhranov S. S., Silina E. V.

Improving energy efficiency of apartment buildings during major repairs.....106

Pereslavl'tseva I. I.

Research of the participation risks in innovative ecosystems.....115

WRITING RULES AND GUIDELINES.....123

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.001

УДК 624.07: 001.5

МЕТОД ПРОГНОЗА ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ПО ВЕРОЯТНОМУ СНИЖЕНИЮ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

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

Шмелев Геннадий Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(4732)271-52-49; e-mail: shmelev8@mail.ru

Ишков Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: ishkov1.78@mail.ru

Драпалюк Дмитрий Александрович, 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: drapaluyk@yandex.ru

Рассмотрен вопрос построения прогноза изменения несущей способности строительных конструкций зданий и сооружений, находящихся в течение длительного периода времени в условиях эксплуатации, оказывающих влияние на снижение несущей способности исследуемых строительных конструкций. Опираясь на предложенные ранее методы построения прогнозов изменения различных параметров технического состояния строительных конструкций, авторами предложено использование еще одного параметра – вероятного снижения несущей способности, основанного на ранее опубликованных работах других авторов. Для построения прогноза использованы линейные и нелинейные модели развития изменения несущей способности конструкции, сделаны определенные допущения, позволяющие значительно упростить процесс прогнозирования. На основании предложенных моделей рассмотрены примеры построения прогнозных моделей, в том числе с использованием графического метода, обеспечивающего наглядность процесса прогнозирования. Разработана структурная схема процедуры оценки остаточного срока службы строительных конструкций по наиболее вероятному изменению несущей способности с использованием линейной и нелинейной моделей прогнозирования. При построении прогнозов авторами использован интервальный метод построения прогнозов, учитывающий все возможные граничные условия эксплуатации конструкций и изменения контролируемых параметров конструкций.

Ключевые слова: прогноз; остаточный срок службы; несущая способность; строительные конструкции; эксплуатация; техническое состояние; здание и сооружение.

В ранее опубликованных работах были исследованы и описаны различные способы прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций, основанные на различных подходах: линейном и нелинейном развитии физического износа [1...3]; линейном и нелинейном развитии поврежденности [4, 5]; методах параметрического прогнозирования [6...8]; методах «нагрузка – несущая способность» и «нагрузка – деформации» [9, 10].

Методы развития физического износа и поврежденности основаны на экспертной оценке этих показателей и косвенно увязаны между собой на основании категорий технического состояния строительных конструкций, нормированных в ГОСТ 31937-2011 «Зда-

ния и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» и СП 13-102-2003 «Правила обследования технического состояния несущих строительных конструкций».

Кроме этих косвенных показателей технического состояния, состояние несущих строительных конструкций и прогноз его развития могут быть построены с использованием показателей вероятностного снижения несущей способности. Привязка этого показателя к работоспособности строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений выполнена в работах [11, 12].

Снижение несущей способности строительных конструкций в ходе длительной эксплуатации и условиях постоянно усиливающейся агрессии, что характерно для конструкций, эксплуатирующихся в промышленных зонах и в условиях современных городов, происходит вне зависимости от материалов конструкций. Будь то деревянные, каменные, железобетонные или стальные конструкции, все они подвержены самым различным по природе воздействиям, вызывающим их старение и, как следствие, снижение несущей способности. В каждом конкретном случае характер зависимости будет определяться одновременно материалом конструкции, действующими нагрузками и их интенсивностью, агрессивностью среды и т.д.

Однако, не смотря на различный характер и скорость снижения несущей способности эксплуатируемых строительных конструкций, можно попытаться выполнить прогноз с использованием упрощенных линейных и нелинейных моделей изменения несущей способности.

Предпосылками для разработки моделей прогнозирования сроков службы строительных конструкций, находящихся в различных условиях эксплуатации, послужили материалы исследований, изложенных в литературе [1...12]. К этому следует добавить, что любое построение прогноза, особенно для эксплуатируемых строительных конструкций зданий и сооружений не может учитывать весь необходимый объем данных для расчета несущей способности конструкции, изменчивости этих параметров во времени и отсутствие промежуточных результатов наблюдения, за всеми используемыми параметрами исследуемых и прогнозируемых конструкций. Таким образом, предлагаемые методы прогнозирования относятся к методам, основанным на приблизительной оценке в условиях значительного ограничения информации по исследуемому объекту.

Предлагаемые в данной работе подходы к построению моделей прогноза по показателям вероятного снижения несущей способности строительных конструкций (линейные и нелинейные модели) основаны на простоте восприятия и удобстве применения в условиях значительно ограниченной информации об объекте исследования, а также в условиях значительно ограниченной информации по объекту исследования.

Структурная схема процедуры оценки остаточного срока службы строительных конструкций по наиболее вероятному изменению несущей способности с использованием линейной и нелинейной моделей, приведенная на рис. 1.

На методы прогнозирования, представленные на рис. 1, накладываются определенные ограничения:

- ✓ методы оценки остаточных сроков службы по вероятному снижению несущей способности справедливы для применения только к несущим и самонесущим конструкциям;
- ✓ выбор предельного состояния не ограничивается категориями технического состояния строительных конструкций, а учитывает дополнительные данные о допустимой степени снижения несущей способности, разработанные в [11, 12];
- ✓ для эксплуатируемых конструкций, особенно бетонных и железобетонных, не учитывается возможный начальный рост несущей способности, связанный с набором прочности в первые годы эксплуатации.

В соответствии с предпосылками, изложенными в работе [13], используем для выпол-

нения прогноза вероятного снижения несущей способности несущих строительных конструкций интервальную оценку. Наиболее вероятные значения снижения несущей способности строительных конструкций в зависимости от категории их технического состояния приведены в работах [11, 12] и табл. 1.

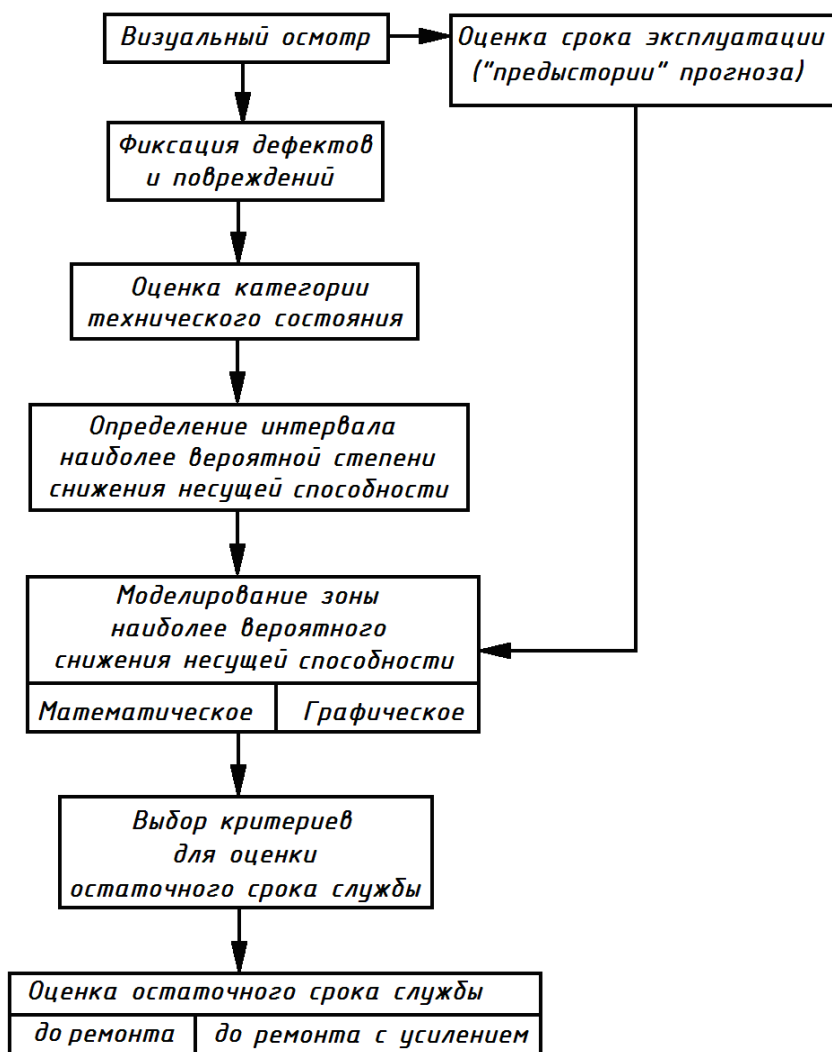


Рис. 1. Структурная схема процедуры оценки остаточного срока службы строительных конструкций по наиболее вероятному изменению несущей способности с использованием линейной и нелинейной моделей

Таблица 1

Соответствие категорий технического состояния и показателей снижения несущей способности конструкций

Категория технического состояния	Степень снижения несущей способности, %	Предлагаемая интервальная оценка вероятной степени снижения несущей способности, %
Исправное	до 5	0...5
Работоспособное	до 15	5...15
Ограниченно работоспособное	до 25	15...25
Недопустимое	до 50	25...50
Аварийное	более 50	более 50

В качестве предельного значения снижения несущей способности в Пособии по обследованию строительных конструкций зданий (разработано ОАО «ЦНИИПромзданий», 2004), для железобетонных конструкций, поврежденных пожаром, рекомендуется принимать следующие значения (табл. 2). При коэффициенте снижения несущей способности меньше 0,5 требуется полная замена конструкций. Необходимость замены сильно поврежденных конструкций определяют в каждом конкретном случае по результатам технического и экономического анализа вариантов восстановления здания.

Таблица 2

Допустимые пределы снижения несущей способности элементов железобетонных конструкций в зависимости от капитальности зданий

Группа капитальности здания	Коэффициент снижения несущей способности*				
	Стены	Колонны и столбы	Междуэтажные и чердачные перекрытия	Бесчердачные перекрытия	Противопожарные стены
1	$\frac{0,9}{0,55}$	$\frac{0,95}{0,6}$	$\frac{0,85}{0,5}$	$\frac{0,8}{0,5}$	$\frac{0,9}{0,5}$
2	$\frac{0,8}{0,5}$	$\frac{0,85}{0,55}$	$\frac{0,75}{0,45}$	$\frac{0,7}{0,4}$	$\frac{0,85}{0,4}$
3	$\frac{0,7}{0,45}$	$\frac{0,75}{0,5}$	$\frac{0,55}{0,4}$	$\frac{0,5}{0,3}$	$\frac{0,8}{0,35}$

Примечание: * – над чертой приведены значения остаточной несущей способности конструкций, требующих ремонта, под чертой – требующих ремонта с усилением.

Использование данных, приведенных в табл. 2, для железобетонных конструкций, не подвергавшихся высокотемпературному воздействию, также будет правомерным, поскольку речь идет о предельной несущей способности конструкций, величина которой определяется фактически действующими нагрузками.

Для выполнения прогнозов изменения вероятной несущей способности строительных конструкций и оценки их остаточного срока службы предлагается две модели: линейная и нелинейная.

Линейная модель прогнозирования вероятного снижения несущей способности.

Математическое описание моделей линейного прогноза по интервальным оценкам наиболее вероятной степени снижения несущей способности из табл. 2 выражается следующей зависимостью:

$$N_{sn} = 100 - \frac{N_1}{T_1} \cdot t, \quad (1)$$

где N_{sn} – наиболее вероятное значение несущей способности с учетом снижения, %; N_1 – величина снижения несущей способности к моменту времени проведения обследования, %; T_1 – время эксплуатации до проведения обследования, годы; t – текущее время, годы.

Для построения прогнозной модели верхней границы пространства прогнозируемых состояний необходимо выбрать большее значение интервальной оценки наиболее вероятного снижения несущей способности конструкции, для построения нижней границы – меньшее значение (см. табл. 2).

Для выполнения прогноза и оценки остаточного срока службы исследуемой конструкции необходимо выбрать предельную величину вероятного снижения несущей способности в зависимости от допускаемого в ходе эксплуатации технического состояния или предельно допустимого снижения несущей способности по табл. 2 (для железобетонных конструкций).

В качестве простейшего примера составления прогноза рассмотрим следующие значения:

- ✓ категория технического состояния конструкции на момент проведения обследования - работоспособное;
- ✓ интервал предыстории – 32 года.

В соответствии с табл. 1 определяем интервальную оценку наиболее вероятного снижения несущей способности конструкции, находящейся на момент проведения обследования в работоспособном состоянии – 5...15 %.

С использованием формулы (1) определяем верхнюю и нижнюю границы пространства прогнозируемых состояний по изменению несущей способности:

$$\text{верхний предел} - N_{sn} = 100 - \frac{5}{32} \cdot t,$$

$$\text{нижний предел} - N_{sn} = 100 - \frac{15}{32} \cdot t.$$

Графически прогноз представлен на рис. 2. При этом за предельное состояние, до которого выполняется прогноз, принято аварийное техническое состояние (показатель предельно допустимого снижения несущей способности конструкции – 50 %).

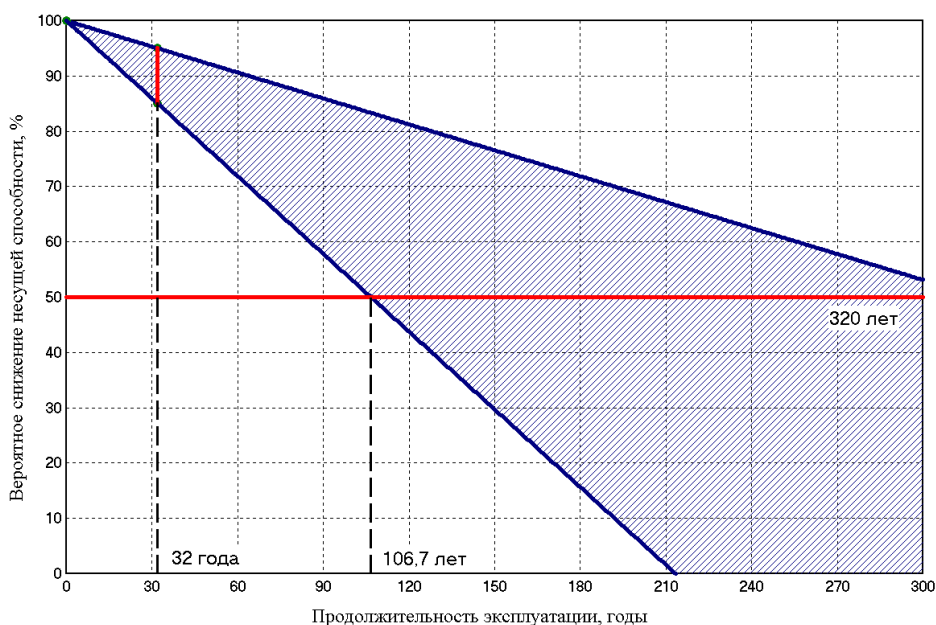


Рис. 2. Построение прогноза развития технического состояния конструкции по наиболее вероятному снижению несущей способности на основе линейной модели

Как видно из графических построений, представленных на рис. 2, период достижения аварийного состояния строительных конструкций прогнозируется в интервале от 106,7 до 320 лет. Таким образом, минимальный прогнозируемый остаточный срок службы конструкции по результатам прогноза составляет 74,7 года.

Нелинейная прогнозная модель вероятного снижения несущей способности.

В соответствии с материалами исследований, приведенными в работе [14], изменения несущей способности сооружений за время длительной эксплуатации могут быть описаны экспоненциальным законом. Однако при этом следует учитывать общепринятые положения работы материалов при их нагружении. На первом этапе работы, при начальном приложении нагрузки, происходит разрыв наиболее слабых связей в материале. При этом часть внутренних напряжений перераспределяется на более прочные связи. В ходе дальнейшего

нагрузки начинают разрываться и более прочные связи. При этом происходит постоянное внутреннее перераспределение нагрузок в структуре материала, приводящее в конечном итоге к разрушению. Кроме того, для большинства материалов и конструкций на первой стадии работы характерно развитие упругих деформаций.

Для моделирования описанного процесса наилучшим образом подходит зависимость вида:

$$N = 100 - (\exp(kt) + 1), \quad (2)$$

где N – несущая способность конструкции, %; k – коэффициент формы кривой; t – продолжительность эксплуатации конструкции, годы.

Как показал проведенный анализ графиков, построенных при различных значениях k , коэффициент формы кривой напрямую зависит от двух взаимосвязанных параметров: времени до проведения обследования и доли снижения несущей способности на момент проведения обследования.

На конкретный момент времени обследования коэффициент k может быть определен по следующей формуле:

$$k = \frac{\ln(1 - \Delta N)}{t}, \quad (3)$$

где ΔN – снижение несущей способности конструкции, % на момент времени оценки t .

Прогнозирование остаточных сроков службы строительных конструкций по показателю вероятного снижения несущей способности осуществляется в следующей последовательности:

1) по результатам проведенного обследования определяется категория технического состояния строительной конструкции.

2) в соответствии с табл. 2 определяется интервал вероятной степени снижения несущей способности конструкции.

3) исходя из продолжительности эксплуатации конструкции до момента ее обследования, а также верхнего и нижнего значений интервала снижения несущей способности (табл. 2), по соответствующим регрессионным моделям (3) определяются значения коэффициентов k .

4) подставляя полученные значения коэффициентов k в выражение (2) определяем и/или строим графически верхнюю и нижнюю границы зоны вероятного снижения несущей способности конструкции.

5) за предельное значение снижения несущей способности конструкции принимается величина, соответствующая нижней границе технического состояния (табл. 2) или предельно допустимое снижение в соответствии с табл. 3.

В качестве примера составления прогноза снижения несущей способности по нелинейной модели рассмотрим следующие исходные данные:

✓ категория технического состояния конструкции на момент проведения обследования – работоспособное;

✓ интервал предыстории – 32 года.

В соответствии с табл. 1 определяем интервальную оценку наиболее вероятного снижения несущей способности конструкции – 5...15 %.

По формуле (3) определяем коэффициенты k для верхней и нижней границ диапазона снижения несущей способности:

✓ для нижней границы $k = \ln(1 + 15) / 32 = 0,0846$;

✓ для верхней границы $k = \ln(1 + 5) / 32 = 0,05599$

С использованием формулы (2) определяем верхнюю и нижнюю границы пространства прогнозируемых состояний по изменению несущей способности:

✓ нижняя граница $N = 100 - (\exp(0,0846 \cdot t) + 1)$;

✓ верхняя граница $N = 100 - (\exp(0,05599 \cdot t) + 1)$.

Графическое представление полученных выражений, и ограниченная ими область вероятного снижения несущей способности, представлены на рис. 3.

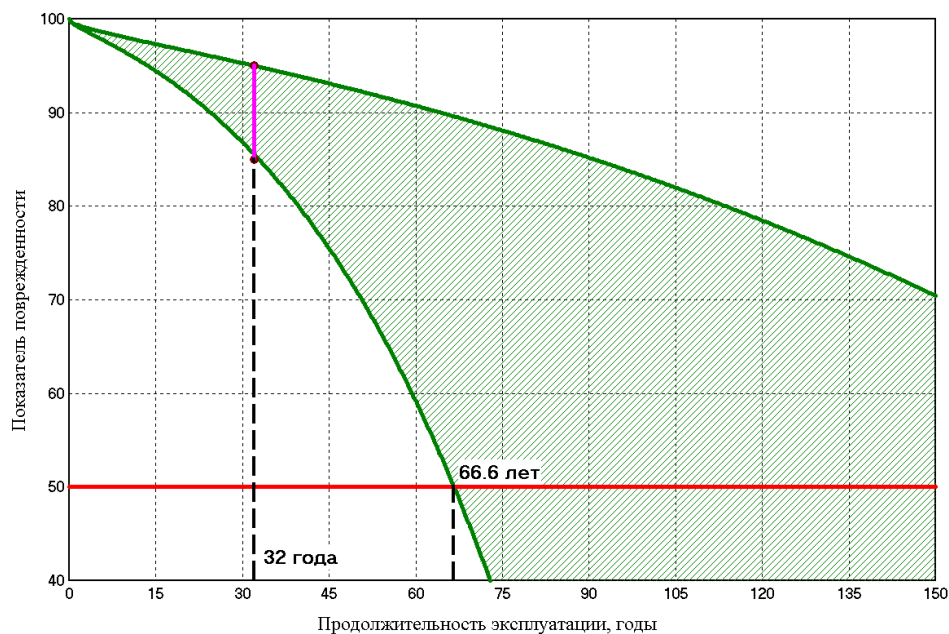


Рис. 3. Прогноз развития вероятного снижения несущей способности на основе нелинейной модели (2)

Как видно из графиков, представленных на рис. 3, снижение несущей способности исследуемой конструкции до предельного значения в 50 % произойдет в возрасте 66.6 года. Таким образом, минимальный прогнозируемый остаточный срок службы конструкции по результатам прогноза составляет 34,6 года.

Полученные значения остаточных сроков службы по моделям линейного и нелинейного прогноза имеют значительные различия (74,7 и 34,6 лет). Для дальнейшего использования и обоснования остаточного срока службы как отдельных конструкций, так и всего сооружения в целом следует дополнительно осуществлять прогнозирование с использованием линейных и нелинейных методов по параметрам физического износа и дефектности. Все полученные значения должны пройти математическую (статистическую) обработку и только после этого следует принимать окончательные выводы о прогнозируемых сроках службы исследуемых строительных конструкций и здания (сооружения) в целом.

Заключение.

Исследована возможность прогнозирования технического состояния и остаточного срока службы строительных конструкций простейшими моделями (линейными и нелинейными), построенными с использованием экспертно-параметрических методов с учетом изменения вероятной несущей способности строительных конструкций.

В качестве исходных данных для прогнозирования остаточных сроков службы положен принцип интервальных значений, основанный на положениях теории нечетких множеств.

Предложено использование линейных функций при построении прогноза остаточных сроков службы строительных конструкций, из-за необходимости построения прогноза по двум точкам измерений (начальная и на момент обследования).

Предложена нелинейная модель изменения вероятного снижения несущей способности, построенная с учетом наработок других авторов, а также с учетом процесса старения материалов строительных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Shmelev, G. D.** Forecast of development of physical wear and remaining service life of buildings and structures / G. D. Shmelev, D. Yu. Zolototrubov // Сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза. – 2021. – С. 23-25.
2. **Shmelev, G. D.** Justification for the use of physical wear in assessing the risk of accidents and predicting the service life of buildings / G. D. Shmelev // Word science: problems and innovations. Сборник статей XLIII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Пенза. – 2020. – С. 59-63.
3. **Шмелев, Г. Д.** Ретроспективное прогнозирование технического состояния строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, Н. В. Головина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – № 3(2). – С. 93-108.
4. **Shmelev, G. D.** Express evaluation of the probability of the probability of unforgettable work of construction structures / G. D. Shmelev, A. N. Ishkov // European Scientific Conference. сборник статей победителей IV Международной научно-практической конференции: в 3 ч. Пенза. – 2017. – С. 41-43.
5. **Головина, Н. В.** Сравнительный анализ нелинейных моделей прогнозирования остаточного ресурса и работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / Н. В. Головина, Г. Д. Шмелев // Вестник МГСУ. – 2016. – № 5. – С. 10-17.
6. **Шмелев, Г. Д.** Систематизация определяющих параметров для прогноза остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 8. – С. 89-96.
7. **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.
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. **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.
10. **Шмелев, Г. Д.** / Расчет остаточного срока службы железобетонных конструкций шахты реактора типа – ВВЭР / Г. Д. Шмелев // Оценка риска и безопасность строительных конструкций. Тезисы докладов. Воронеж. В 2 т. – 2006. – Т. 1. – С. 99-103.
11. **Морозов, А. С.** Организация и проведение обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / А. С. Морозов, В. В. Ремнева, Г. П. Тонких. – М.: Маршрут, 2001. – 212 с.
12. **Мальганов, А. И.** Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Атлас схем и чертежей / А. И. Мальганов, В. С. Плевков, А. И. Полищук. – Томск: Томский межотраслевой ЦНТИ, 1990. – 316 с.
13. **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.
14. **Добромыслов, А. Н.** Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам / А. Н. Добромыслов. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 67 с.

Поступила в редакцию 23 апреля 2022

A METHOD FOR PREDICTING REMAINING SERVICE LIFE ACCORDING TO THE PROBABLE DECREASE IN THE BEARING CAPACITY OF THE OPERATED BUILDING STRUCTURES

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

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

Alexey Nikolaevich Ishkov, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)271-28-92; e-mail: ishkov1.78@mail.ru

Dmitry Alexandrovich Drapalyuk, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)271-28-92; e-mail: drapaluyk@yandex.ru

In this article we consider the issue of predicting changes in the load-bearing capacity of building structures of buildings and structures located in operating conditions for a long period of time that affect the reduction of the load-bearing capacity of the studied building structures. Referring to the previously published works and methods studied in them for making predictions of changes in various parameters of the technical condition of building structures, we offer to use another parameter – a probable decrease in load-bearing capacity, based on previously published works of other authors. To make a prediction, linear and nonlinear models of the development of changes in the load-bearing capacity of the structure were used; certain assumptions were made that significantly simplify the prediction process. Based on the offered models, we considered examples of constructing predictive models, including those to use a graphical method that provides visibility of the predicting process. The authors of the article have developed a diagram of the procedure for assessing the residual service life of building structures based on the most likely change in load-bearing capacity using linear and nonlinear predicting models. When making predictions, the authors used an interval method, taking into account all possible boundary conditions of operation of structures and changes in controlled parameters of structures.

Keywords: prediction; residual service life; bearing capacity; building structures; operation; technical condition; building and structure.

REFERENCES

1. **Shmelev G. D., Zolototrubov D. Yu.** *Forecast of development of physical wear and remaining service life of buildings and structures.* Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Penza. 2021. Pp. 23-25.
2. **Shmelev G. D.** *Justification for the use of physical wear in assessing the risk of accidents and predicting the service life of buildings.* Word science: problems and innovations. Collection of articles of the XLIII International Scientific and Practical Conference. In 2 parts. Penza. 2020. Pp. 59-63.
3. **Shmelev G. D., Golovina N. V.** *Retrospective forecasting of the technical condition of building structures.* Housing and communal infrastructure. 2017. No. 3(2). Pp. 93-108. (in Russian)
4. **Shmelev G. D., Ishkov A. N.** *Express evaluation of the probability of the possibility of unforgettable work of construction structures.* European Scientific Conference. collection of articles of the winners of the IV International Scientific and Practical Conference: at 3 p.m. Penza. – 2017. Pp. 41-43.

5. **Golovina N. V., Shmelev G. D.** *Comparative analysis of nonlinear forecasting models of residual resource and operability of structural elements of residential buildings.* Vestnik MGSU. 2016. No. 5. Pp. 10-17. (in Russian)
6. **Shmelev G. D.** *Systematization of determining parameters for the forecast of the residual service life of building structures.* Bulletin of the MGSU. 2013. No. 8. Pp. 89-96. (in Russian)
7. **Samokhina M. N., Ishkov A. N., Shmelev G. D.** *Features of forecasting changes in strength indicators of concrete in conditions of limited information.* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 1(8). Pp. 9-17. (in Russian)
8. **Shmelev G. D., Nikolaichev I. V.** *Parametric methods of forecasting the residual service life of reinforced concrete building structures.* Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Physics-chemical problems and high technologies of building materials science. 2013. No. 7. Pp. 167-175. (in Russian)
9. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Zhukova A. V.** *Evaluation of the residual service life of the circular console of the polar crane using the method of limit states.* Housing and communal infrastructure. 2020. No. 3(14). Pp. 9-16. (in Russian)
10. **Shmelev G. D.** *Calculation of the residual service life of reinforced concrete structures of the reactor shaft type – VVER. Risk assessment and safety of building structures. abstracts of reports.* Voronezh. In 2 vols. Vol. 1. 2006. Pp. 99-103. (in Russian)
11. **Morozov A. S., Remneva V. V., Tonkikh G. P.** *Organization and conduct of inspection of the technical condition of building structures of buildings and structures.* Moscow, Route. 2001. 212 p. (in Russian)
12. **Malganov A. I., Plevkov V. S., Polishchuk A. I.** *Restoration and strengthening of building structures of emergency and reconstructed buildings. Atlas of schemes and drawings.* Tomsk, Tomsk Intersectoral Research Institute. 1990. 316 p. (in Russian)
13. **Kozlov V. A., Shmelev G. D.** *Justification of the interval method of forecasting and evaluation of 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)
14. **Dobromyslov A. N.** *Assessment of the reliability of buildings and structures by external signs.* Moscow, Publishing House ASV. 2006. 67 p. (in Russian)

Received 23 April 2022

Для цитирования:

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. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.001.

FOR CITATION:

Shmelev G. D., Ishkov A. N., Drapalyuk D. A. *A method for predicting remaining service life according to the probable decrease in the bearing capacity of the operated building structures.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 9-18. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.001. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.002

УДК 624.016

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Е. В. Головина, А. В. Калач, Е. В. Калач, А. Ю. Акулов

Головина Екатерина Валерьевна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России», Екатеринбург, Российская Федерация, тел.: +7(343)374-07-06; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

Калач Андрей Владимирович, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры жилищно-коммунального хозяйства ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, +7(473) 271-28-92; e-mail: a_kalach@mail.ru

Калач Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, +7(473)271-28-92; e-mail: elenakalach@vgasu.vrn.ru

Акулов Артем Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, начальник адъюнктуры, ФГБОУ ВО «Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России», Екатеринбург, Российская Федерация, +7(343)374-07-06; e-mail: akulov-07@mail.ru

Представлен обзор средств огнезащиты применительно к объектам нефтегазовой отрасли в условиях Арктического климата. Рассмотрены особенности климатических условий арктических районов и критерии для определения вида и способа огнезащиты. Приведен анализ существующих огнезащитных средств и сделан вывод о приоритете применения вспучивающихся огнезащитных покрытий для объектов нефтегазового комплекса. Проведена оценка терморасширяющихся материалов отечественных и зарубежных производителей. На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что огнезащитные составы интумесцентного типа на основе эпоксидных смол являются наиболее эффективными для огнезащиты металлических конструкций нефтегазового комплекса в климатических условиях Арктического региона.

Ключевые слова: конструктивная огнезащита; вспучивающийся огнезащитный состав; предел огнестойкости; углеводородное горение; открытая промышленная атмосфера.

Общеизвестно, что основные запасы в России нефтегазового сырья размещаются на малодоступных территориях. В первую очередь представляют практический и научный интерес арктические районы, поскольку именно в Арктике сосредоточено до 20 % нефтяных и более 50 % газовых запасов Российской Федерации [1].

Интенсификация освоения арктических районов России выдвигает в число первоочередных задач разработку средств противопожарной защиты предприятий нефтегазовой отрасли. При этом необходимо учитывать специфические условия эксплуатации данных объектов, которые существенно отличаются от условий эксплуатации аналогичных объектов в других климатических зонах. Характерные особенности применения огнезащитных средств в основном определяются географическим положением и климатическими условиями. Основная климатическая особенность арктических районов – длительный сезон с отрицательными среднесуточными температурами. Годовая разница температур (июль и январь) колеблется от 40...41 °С до 53 °С. Следует отметить влажность атмосферы воздуха арктических районов, что сказывается на коррозионной стойкости применяемых огнезащитных материалов [ACIA. Arctic Climate Impact Assessment; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2005. 1072p].

Расположенные в арктической зоне объекты нефтегазовой отрасли требуют особого подхода к обеспечению противопожарной защиты, обусловленные спецификой климатиче-

ских условий Арктики, а также сложностью процессов эксплуатации предприятий нефтегазового комплекса. В связи с этим проблема выбора огнезащитных средств для промышленных объектов является актуальной научной и практической задачей.

Таким образом, выбор определенного способа огнезащиты должен опираться на указанные факторы. В соответствии с СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», арктический климат относится к категории 3 – «наиболее суровые условия», с абсолютной минимальной температурой от -54°C до -71°C .

С учетом климата арктических районов, огнезащитные средства должны соответствовать следующим требованиям [2]:

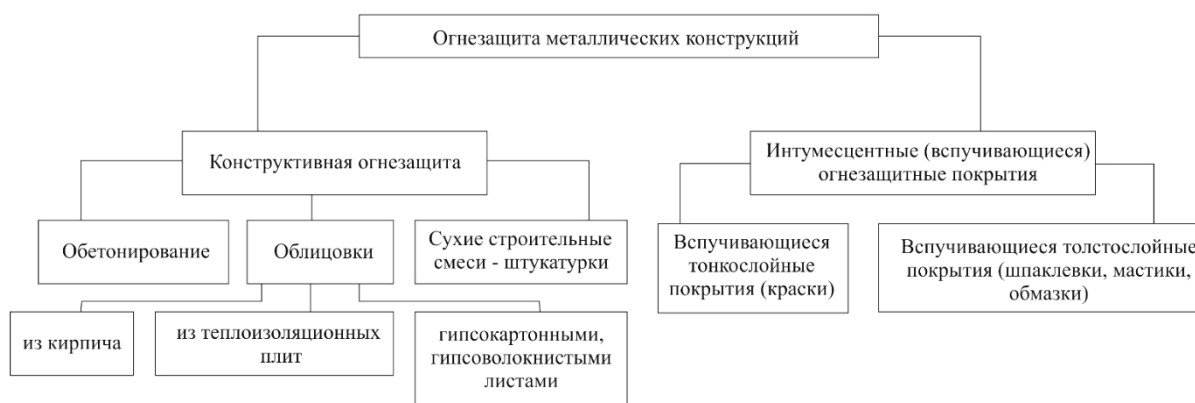
- ✓ возможность нанесения при отрицательных температурах и в условиях повышенной влажности;
- ✓ работоспособность и сохранение характеристик прочности при температурах от -50°C до -75°C ;
- ✓ работоспособность при колебании температур от минусовых до плюсовых;
- ✓ атмосферостойкость;
- ✓ повышенные износостойкость, хорошая адгезия материалов при взаимодействии с осадками.

Целью исследований является определение эффективных огнезащитных материалов для объектов нефтегазовой отрасли, расположенных в Арктической зоне. Для реализации данной цели необходимо решение следующих задач:

- ✓ определить требования к огнезащитным средствам для применения в арктических районах;
- ✓ провести сравнительный анализ современных средств огнезащиты для металлических конструкций.

На данный момент существует несколько сотен различных средств и методов для огнезащиты металлических конструкций. К ним относятся облицовки бетоном, кирпичом, штукатурки, панельные и плиточные материалы, огнезащитные краски, изоляционные материалы и их комбинации. Каждый огнезащитный материал имеет технические свойства и эксплуатационные характеристики [3...8]. Эти факторы определяют области применения материалов, не препятствуя соблюдению нормативных требований, а также принимая во внимание стоимость работ по противопожарной защите и другие различные требования в исследуемой области.

С учетом современных разработок в области противопожарной защиты средства пассивной огнезащиты несущих металлоконструкций можно представить в виде общей схемы (см. рисунок).



Виды огнезащиты металлических конструкций

Согласно [3] огнезащитные материалы для металлических конструкций подразделяются на конструктивную огнезащиту (толстослойные напыляемые составы, штукатурки, облицовки плитными, листовыми и другими огнезащитными материалами, в том числе на каркасе, с воздушными прослойками, а также комбинации данных материалов, в том числе с тонкослойными вспучивающимися покрытиями) и интумесцентные (вспучивающиеся) огнезащитные покрытия. Рассмотрим их подробнее.

Обетонирование

Практика показывает, что в отечественном строительстве часто встречается огнезащита металлических конструкций с помощью облицовки бетоном. В качестве материалов, повышающих предел огнестойкости стальных конструкций, используют бетонные и керамзитобетонные растворы, плиты, кирпичи, газо- и пенобетонные блоки, плиты, скорлупы, экраны и пр. изделия [7]. Эти стройматериалы относятся к группе негорючих материалов, выдерживающих действие огня без разрушения в течение длительного времени, без выделения вредных веществ [9]. Использование бетона в качестве защиты целесообразно, когда существует необходимость в усилении металлических конструкций, в частности, при реконструкции зданий и сооружений [3].

При проведении огнезащитных работ с применением обетонирования, необходимо учесть возможное взрывное хрупкое разрушение огнезащитного материала, обусловленное наличием влаги в материале, его водопроницаемостью, условиями нагрева и другими факторами. Поэтому при применении в качестве огнезащитного материала для стальных конструкций бетона или штукатурного раствора толщиной более 50 мм необходимо проводить усиление поверхностного слоя материала путем применения стальной сетки с ячейкой не более 100 мм и диаметром стержня не менее 4 мм [9].

Облицовка из кирпича признана надежным огнезащитным материалом и широко используется для возведения противопожарных стен (преград), изоляции стальных колон и узлов стальных элементов. Кирпичи и строительные камни удовлетворяют ряду требований, предъявляемых к огнезащите стальных конструкций: негорючесть, долговечность, а также высокие классы огнестойкости [5].

Облицовка кирпичами и каменными изделиями применяется, в основном, для обкладывания стоек и колонн. Устройство огнезащитной облицовки ригелей и связей из кирпича не рекомендуется ввиду конструктивной сложности выполнения и значительного собственного веса.

Преимущества бетонной и кирпичной облицовки очевидны: устойчивость к сырости и атмосферным осадкам, возможность использования практически при любых температурно-влажностных условиях, а также при воздействии агрессивной внешней среды. В то же время существуют определенные недостатки данного вида огнезащиты: трудоемкость выполнения подготовительных работ (установка опалубки и арматурные работы), значительное утяжеление металлоконструкций, и, соответственно, увеличение веса всего здания и нагрузки на остальные конструкции [5].

Для огнезащитной обшивки металлических несущих конструкций (колонн и балок) рекомендуется использовать гипсокартонные листы (далее – ГКЛ) или гипсоволокнистые листы (далее – ГВЛ). Облицовка выполняется с помощью металлических профилей или с использованием вкладышей из полос ГКЛ или ГВЛ различной толщины, в зависимости от требуемого предела огнестойкости конструкций [10].

Облицовка металлических конструкций листами, плитами и экранами безусловно выигрывает по следующим параметрам.

Во-первых, есть возможность произвести замену средства огнезащиты или заменить один тип облицовки на другой, а также наложить новую огнезащиту поверх старой. Во-вторых, увеличение вибростойкости и прочности защищаемой конструкции благодаря механическому креплению.

К недостаткам можно отнести сравнительно большую толщину покрытия, что позволяет рассчитывать на демонтаж исключительно поверхности формы правильного прямоугольника, но даже если не брать во внимание этот факт, то высокая влагопроницаемость все равно остается [11].

Сухие строительные смеси – штукатурки. В зависимости от основного вяжущего вещества штукатурные смеси подразделяют на: цементные, гипсовые, известковые, полимерные, сложные (одновременное использование различных видов вяжущих или специально разработанных композиций) [11].

Наиболее применяемыми являются цементные и гипсовые штукатурные смеси. Гипсовые штукатурные смеси создают более ровное покрытие с теплоизоляционными свойствами, превосходящими покрытия, полученные из цементного штукатурного раствора.

Цементно-песчаная штукатурка рекомендуется для защиты металлоконструкций зданий – колонн, ригелей, связей и узлов сопряжения между элементами [12].

Привлекательность применения цементно-песчаной штукатурки обосновывается следующими факторами: простота изготовления состава, поскольку для ее приготовления нужен цемент и песок, распространенность и доступность основных компонентов, обеспечение высоких пределов огнестойкости защищаемой конструкции (до 120 мин). К минусам можно отнести значительную трудоемкость осуществления работ по нанесению покрытия, необходимость армирования конструкции; увеличение нагрузки на фундаменты зданий за счет утяжеления каркаса; необходимость применения антикоррозионных составов.

Следствием необходимости снижения веса огнезащитной облицовки стала разработка легких штукатурок и покрытий на основе асбеста, перлитового песка, вермикулита, гипса, жидкого стекла и пр. Выбор вяжущего зависит от влажностного режима эксплуатации конструкции. Смеси на жидком стекле, гипсе следует использовать для покрытий, работающих в воздушно-сухих условиях с относительной влажностью в помещениях до 60% [13].

Легкие огнезащитные штукатурки по сравнению с цементно-песчаными отличаются большей эффективностью, поскольку при идентичном пределе огнестойкости защищаемой конструкции, они легче в 1,5...2 раза. В то же время этому виду покрытий свойственны определенные недостатки: мягкость покрытия, малая конструктивная прочность, слабая адгезия к поверхности защищаемой металлической конструкции.

Такие покрытия не предназначены для применения на поверхностях, незащищенных от механических повреждений [4].

Интумесцентные (вспучивающиеся) огнезащитные покрытия

Вспучивающиеся покрытия часто еще называют вспенивающимися или терморасширяющимися, поскольку их особенностью является многократное увеличение в объеме при нагревании с образованием теплоизолирующего слоя (пенококса).

В основном процесс интумесценции (вспучивания) происходит из-за наличия в составе композиции обязательных компонентов, таких как фосфаты аммония, главным образом полифосфаты, пентаэритрит и меламина [8] и дополнительных вспучивающих агентов, например, интеркалированный графит. Таким образом, благодаря низкой теплопроводности пенококсовый слой предотвращает быстрый нагрев защищаемой конструкции.

Ключевое преимущество вспучивающихся покрытий – малый вес и толщина. Еще одно преимущество – относительно низкая трудоемкость нанесения. К основным недостаткам можно отнести дороговизну данных покрытий, необходимость качественной подготовки поверхности. А также следует учитывать тот факт, что именно вспучивающиеся материалы чаще всего являются объектом для фальсификаций.

Краткий обзор современных средств огнезащиты металлических конструкций приведен в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика средств огнезащиты металлических конструкций

Способ огнезащиты	Преимущества	Недостатки	Особенности применения
Облицовка из бетона	Негорючесть. Сравнительно невысокая стоимость материалов. Атмосферостойкость.	Увеличение нагрузки на фундамент. Необходимость армирования. Сложность ремонта и восстановления. Защищает только колонны	Применяется не только в целях огнезащиты конструкций из металла, но и их укрепления. Обеспечение пределов огнестойкости защищаемой конструкции – до 150 мин
Облицовка из кирпича	Негорючесть. Экономическая рентабельность. Ремонтопригодность. Не требуется дополнительная подготовка поверхности металлической конструкции. Легковесность (в сравнении с бетоном)	Трудоемкость проведения работ и восстановления, утяжеление конструкции и каркаса здания.	Применяется не только в целях огнезащиты конструкций из металла, но и их укрепления. Обеспечение пределов огнестойкости защищаемой конструкции – до 150 мин
Облицовка из ГКЛ, ГВЛ, (плиты, экраны)	Возможность произвести одного типа облицовки на другой. Стойкость к разного рода вибрациям.	Влагопроницаемость. Низкая механическая прочность.	Использование в помещениях с нормальной влажностью (не более 60 %). Обеспечение пределов огнестойкости защищаемой конструкции – до 150 мин.
Сухие строительные смеси – штукатурки	Недорогая стоимость. Повсеместное применение. Простота изготовления. Легковесность (для легких штукатурок). Возможность эксплуатации в атмосферных условиях.	Большой вес цементно-песчаных штукатурок. Необходимость армирования. Большая трудоемкость работ. Сложность восстановления и ремонта. Низкая конструктивная прочность	Обеспечение пределов огнестойкости защищаемой конструкции – до 150 мин
Вспучивающиеся материалы	Малая толщина и вес покрытия. Ремонтопригодность. Высокая адгезия. Относительно низкая трудоемкость нанесения. Возможность применения для разных типов конструкции.	Дороговизна покрытия. Высокие требования к подготовке поверхности конструкции. Высокая вероятность фальсификации.	Применение для огнезащиты металлических конструкций любой сложности. Обеспечиваемые пределы огнестойкости 90...150 мин

Для определения вида и способа огнезащиты выделяются следующие критерии [14]:

- ✓ величина требуемого предела огнестойкости;
- ✓ тип защищаемой конструкции и ориентации защищаемых поверхностей в пространстве (колонны, стойки, ригели, балки, связи);
- ✓ возможность увеличения нагрузки на конструкцию за счет веса огнезащиты (утяжеление конструкции);
- ✓ возможность периодического контроля покрытия и восстановления после повреждений;
- ✓ сейсмостойчивость огнезащиты;
- ✓ способность гореть и распространять пламя, образовывать ОФП;

- ✓ температурно-влажностные условия эксплуатации и производства работ по огнезащите, степень агрессивности окружающей среды;
- ✓ сезонность нанесения;
- ✓ технологичность нанесения огнезащиты;
- ✓ момент монтажа огнезащиты (во время возведения здания или его эксплуатации);
- ✓ срок годности материала;
- ✓ условия хранения и транспортировки;
- ✓ срок службы покрытия;
- ✓ требования к декоративному виду;
- ✓ гигиенические свойства;
- ✓ стоимость огнезащитного материала и работ по предварительной подготовке конструкций и монтажу огнезащиты.

Практика показывает, что применение интумесцентных (вспучивающихся) огнезащитных покрытий является одним из наиболее перспективных способов огнезащиты для предприятий нефтегазовой отрасли. К их основным преимуществам относятся малая толщина и вес покрытия, ремонтпригодность, вибростойкость, возможность применения для металлоконструкций любой сложности [8].

Учитывая сложность климатических условий арктических районов и специфику нефтегазовой отрасли, следует учесть, что не все интумесцентные покрытия подходят для применения на обозначенных объектах. В зависимости от природы связующего выделяются огнезащитные терморасширяющиеся составы на водной основе, акриловой основе, на основе эпоксидных смол и на основе силиконового связующего [6].

Всем вышеперечисленным требованиям удовлетворяют интумесцентные композиции на основе эпоксидных смол [15].

Такие материалы характеризуются малой влагопроницаемостью, высокой термостойкостью, долговременной защитой от воздействия агрессивных сред, к которым относятся морская вода, минеральные масла, нефтепродукты, низкие температуры нанесения и эксплуатации и др. Однако важно отметить, что данные покрытия со временем разрушаются под воздействием солнечных лучей и требуют финишного покрытия эмалью [16, 17].

Количество российских производителей эпоксидных огнезащитных систем с продукцией мирового уровня незначительно, поэтому на рынке широко представлен спектр дорогостоящих зарубежных защитных покрытий (табл. 2).

Таблица 2

Эпоксидные огнезащитные составы импортного и российского производства

Наименование продукта, производитель	Технические параметры	Огнезащитная способность
Chartek 7, AkzoNobel	Толстослойное, двухкомпонентное, не содержащее растворителя покрытие, обеспечивающее высокую стойкость и сочетающее в себе коррозионную и огнезащиту. Главным образом предназначен для использования в условиях повышенного риска в таких промышленностях, как нефтяная, газовая, нефтехимическая и энергетическая.	до 135 мин
Chartek 1709, AkzoNobel	Предназначен для защиты стальных конструкций, трубопроводов и емкостей от последствий углеводородного пожара и горения (розлив и реактивная струя огня), криогенных разливов и разбрызгивания. Рекомендован для использования в таких отраслях промышленности как нефтяная, газовая, нефтехимическая и энергетическая.	до 240 мин

Окончание табл. 2

Наименование продукта, производитель	Технические параметры	Огнезащитная способность
Firetex-m90, LeighsPaints	Двухкомпонентный огнезащитный вспучивающийся состав, предназначен для пассивной огнезащиты металлоконструкций, как при строительстве новых нефтегазовых и нефтехимических объектов, так и при ремонте действующих (оффшорные платформы, ТСП ШФЛУ, НПЗ и др. объекты, на которых возможно возникновение углеводородного горения и реактивной струи пламени)	до 150 мин
Jotachar 1709, Jotun	Двухкомпонентное огнезащитное эпоксидное покрытие аминного отверждения со 100 % сухим остатком. Разработан специально как вспучивающееся покрытие для обеспечения пассивной огнезащиты стали при объёмном углеводородном горении для различных типов конструкций и оборудования. Обычно используется в нефтегазовой промышленности и энергетике.	до 240 мин
Pitt-Char XP, PPG Industries	Двухкомпонентное, эластичное, эпоксидное огнезащитное покрытие со 100 % сухим остатком, используемое в нефтегазовой, химической, энергетической, транспортной и оборонной отраслях промышленности, которые потенциально сопряжены с серьёзными рисками аварий, включая взрывы, углеводородный пожар и реактивную струю пламени. Совместимо с системами для защиты от криогенных проливов.	до 180 мин up to 180 min
ОГРАКС-СКЭ, УниХимТек	Двухкомпонентный материал на эпоксидной основе. Для крайне агрессивных сред. Возможна эксплуатация в условиях углеводородного пожара. Применяется для улучшения характеристик огнестойкости стальных конструкций в условиях открытой атмосферы при температуре от -60 до +60°C. Устойчив ко всем видам атмосферных воздействий, в том числе, морского климата и агрессивным средам (масло, бензин).	до 120 мин
Пламкор-5, ВМП	Атмосферостойкая органорастворяемая эпоксидная композиция. Защита от углеводородного пожара и от коррозии металлоконструкций, эксплуатируемых в условиях всех типов атмосферы, в том числе в открытой промышленной атмосфере.	до 120 мин
Декотерм-Эпокси, Территория цвета	Двухкомпонентное огнезащитное покрытие на основе эпоксидных смол. Допускается наносить на предварительно загрунтованные металлические поверхности с температурой не ниже плюс 5 °С. Может эксплуатироваться в условиях открытой промышленной атмосферы (без применения финишного покрытия).	до 150 мин
Триофлейм EP 8800, ОЗ-Коутингс	Двухкомпонентный огнезащитный вспучивающийся состав на основе эпоксидной смолы и амин-амидного отвердителя. Предназначен для пассивной огнезащиты металлоконструкций различного функционального назначения промышленных объектов и объектов инфраструктуры в условиях целлюлозного и углеводородного пожаров. Диапазон температур эксплуатации получаемого покрытия от -60 °С до +70 °С. Применяется на опасных производственных объектах, где вероятно развитие пожара по углеводородной кривой. Обеспечивает огнезащиту металлоконструкций, эксплуатируемых в суровых условиях (воздействие низких температур, агрессивных сред, повышенной влажности и т.д.)	до 120 мин

Данные табл. 2 свидетельствуют о низкой огнезащитной способности и других технических показателей огнезащитных составов российского производства в условиях углеводородного горения, свойственного объектам химической и нефтехимической промышленности.

Следует отметить, что огнезащитные составы зарубежного производства, представленные в табл. 2, изначально создавались для применения на промышленных предприятиях и предназначены для защиты стальных конструкций, трубопроводов и емкостей от последствий углеводородного пожара и горения (розлив и реактивная струя огня).

Заключение.

Показано, что на данный момент актуальным остается вопрос разработки и совершенствования средств огнезащиты для климатических условий арктических районов, обусловленных сложностью проведения огнезащитных работ в условиях низких температур, воздействия агрессивных промышленных атмосфер и повышенной влажности.

На основе обобщения информации о современных средствах огнезащиты металлических конструкций проведен сравнительный анализ эпоксидных огнезащитных составов российского и зарубежного производства.

На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что огнезащитные составы интумесцентного типа на основе эпоксидных смол являются наиболее эффективными для огнезащиты металлических конструкций нефтегазового комплекса в климатических условиях Арктического региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Шерстюков, Б. Г.** Климатические условия Арктики и новые подходы к прогнозу изменения климата / Б. Г. Шерстюков // Арктика и Север. – 2016. – № 24. – С. 39-67. – DOI: 10.17238/issn2221-2698.2016.24.39.
2. **Gravit, M.** Structural Fire Protection of Steel Structures in Arctic Conditions / M. Gravit, D. Shabunina // Buildings. – 2021. – № 11(11). – С. 499. DOI:10.3390/buildings11110499.
3. **Акулов, А. Ю.** Совершенствование методов и средств огнезащиты на основе термостойких минеральных заполнителей для металлических конструкций: монография / А. Ю. Акулов, В. А. Иванов, С. А. Бараковских, Л. В. Ягудин. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2015. – 161 с.
4. **Голованов, В. И.** Новые огнезащитные облицовки для несущих стальных конструкций / В. И. Голованов, А. В. Пехотиков, В. В. Павлов // Материалы XX научно-практической конференции, «Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах». – Москва, ВНИИПО, 2007. – С. 227229.
5. **Пехотиков, А. В.** Средства огнезащиты для стальных конструкций, актуальные вопросы при их применении, оценка технико-эксплуатационных характеристик / А. В. Пехотиков, В. В. Павлов // Промышленные покрытия. – 2015. – № 5-6. – С. 30.
6. **Головина, Е. В.** Методика оценки термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазовой отрасли: монография / Е. В. Головина, О. В. Беззапонная, А. Ю. Акулов. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России. – 2020. – 173 с.
7. **Akaa, O.** Optimising design decision-making for steel structures in fire using a hybrid analysis technique. / O. Akaa, A. Abu, M. Spearpoint, S Giovinazzi // Fire Safety Journal– 2017. – Vol. 91. – Pp. 532-541. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.018.
8. **Eremina, T.** Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions / T. Eremina, D.Korolchenko // Buildings 2020. – № 10. – Pp. 185. – DOI:10.3390/buildings10100185.

9. **Вахитова, Л. Н.** Конструктивная огнезащита стальных каркасов зданий. Технические рекомендации для проектирования / Л. Н. Вахитова, К. В. Калафат. – Киев: Украинский Центр Стального Строительства, 2015. – 66 с.
10. **Dias, Y.** Full-scale fire resistance tests of steel and plasterboard sheathed web-stiffened stud walls: Full length article. / Y. Dias, M. Mahendran, K. Poologanathan // Thin-Walled Structures. – 2019. – Vol. 137. – Pp 81-93. – <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.12.027>.
11. **Cherkina, V.** Investigation of the fire resistance of panels of porous papercrete, containing expanded polystyrene gravel / V. Cherkina, D. Korolchenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 4. Сер. «4th World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium, WMCAUS 2019 - Section 4». – 2019. – Pp. 052009. – DOI: 10.1088/1757-899X/603/5/052004.
12. **Kolarkar, P.** Experimental studies of fire conditions. / P. Kolarkar, V. Mahendran // Fire Safety Journal. – 2012. – Vol. 53 – Pp. 85-104. – DOI: 10.1016/J.FIRESAF.2012.06.009.
13. **Kim, J. H.** Numerical Investigation of Residual Strength of Steel Stiffened Panel Exposed to Hydrocarbon Fire / J. H. Kim, D. Y. Baeg, J. K. Seo // Ocean. Eng. Technol. – 2021. – № 35. – Pp. 203-215. – DOI:10.26748/KSOE.2021.008.
14. **Imran, M.** Hazard Assessment Studies on Hydrocarbon Fire and Blast: An Overview. / M. Imran, M. S. Liew, M. S. Nasif, U. M. Niazi, A. Yasreen // Adv. Sci. Lett. 2017. – № 23. – Pp. 1243-1247. – DOI:10.1166/asl.2017.8349
15. **Oliveira, R. B. R.** Intumescent paint as fire protection coating. / R. B. R. Oliveira, L. C. M. V. Junior, L. C. M. Vieira // Rev. IBRACON Estrut. Mater. – 2017. – № 10. – Pp. 220-231. – DOI:10.1590/s1983-41952017000100010.
16. **Cirpici, K. B.** An analytical approach for predicting expansion of intumescent coating with different heating conditions / K. B. Cirpici, Y. C. Wang, B. D. Rogers // In Proceedings of the 12 th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, Turkey. – 2016. – Pp. 1-8.
17. **Palazzi, E.** Analytical modelling of hydrocarbon pool fires: Conservative evaluation of flame temperature and thermal power / E. Palazzi, B. Fabiano // Process. Saf. Environ. Prot. – 2012. – № 90. – Pp. 121-128. – DOI: 10.1016/j.psep.2011.06.009.

Поступила в редакцию 26 апреля 2022

ANALYSIS OF MODERN MEANS OF FIRE PROTECTION APPLICATION OF STEEL STRUCTURES IN THE OIL AND GAS COMPLEX IN THE ARCTIC CLIMATIC CONDITIONS

E. V. Golovina, A. V. Kalach, E. V. Kalach, A. Yu. Akulov

Ekaterina Valeryevna Golovina, Cand. Sc. (Techn.), senior researcher at the Ural Institute of State Fire-Fighting Service of Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia, tel.: +7(343)374-07-06; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

Andrey Vladimirovich Kalach, Dr. Sc. (Chem.), Professor, Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473) 271-28-92; e-mail: a_kalach@mail.ru

Elena Vladimirovna Kalach, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473) 271-28-92; e-mail: elenakalach@vgasu.vrn.ru

Artem Yurievich Akulov, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Head of graduate military course, Ural Institute of State Fire-Fighting Service of Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia, tel.: +7(343)374-07-06; e-mail: akulov-07@mail.ru

In this article we present an overview of fire protection means in relation to oil and gas industry facilities in the Arctic climate. We consider features of the climatic conditions in the Arctic regions and criteria for determining type and method of fire protection. We analyze existing

fire retardants and make a conclusion about the priority of using intumescent fire protection coatings for oil and gas facilities. We evaluated thermally expanding materials of domestic and foreign manufacturers. Based on the analysis, we concluded that intumescent flame retardants based on epoxy resins are the most effective for fire protection of metal structures of the oil and gas complex in the Arctic climatic conditions.

Keywords: structural fire protection; intumescent fire protection composition; fire resistance limit; hydrocarbon burning; open industrial atmosphere.

REFERENCES

1. **Sherstyukov B. G.** *Climatic conditions of the Arctic and new approaches to the forecast of climate change*. Arctic and the North. 2016. No. 24. Pp. 39-67. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2016.24.39. (in Russian)
2. **Gravit M., Shabunina D.** *Structural Fire Protection of Steel Structures in Arctic Conditions*. Buildings. 2021. No. 11(11). Pp. 499. <https://doi.org/10.3390/buildings11110499>.
3. **Akulov A. Yu., Ivanov V. A., Barakovskikh S. A., Yagudina L. V.** *Improvement of methods and means of fire protection based on heat-resistant mineral fillers for metal structures: monograph*. Yekaterinburg, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia. 2015. 161 p. (in Russian)
4. **Golovanov V. I., Pekhotikov A. V., Pavlov V. V.** *New flame-retardant linings for load-bearing steel structures*. Materials of the XX scientific and practical conference, Historical and modern aspects of solving gorenje problems, extinguishing and ensuring the safety of people in case of fires. Moscow, VNIPO. 2007. p. 227229. (in Russian)
5. **Pekhotikov A. V., Pavlov V. V.** *Means of fire protection for steel structures, topical issues in their application, assessment of technical and operational characteristics*. Industrial coatings. 2015. No. 5-6. Pp. 30. (in Russian)
6. **Golovina E. V., Bezzaponnaya O. V., Akulov A. Yu.** *Methods for assessing the heat resistance of intumescent flame retardants for oil and gas industry facilities: monograph*. Yekaterinburg: Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia. 2020. 173 p. (in Russian)
7. **Akaa O., Abu A., Spearpoint M., Giovinazzi S.** *Optimising design decision-making for steel structures in fire using a hybrid analysis technique*. Fire Safety Journal. 2017. No. 91. Pp. 532-541. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.018.
8. **Eremina T., Korolchenko D.** *Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions*. Buildings 2020. No. 10: P. 185. DOI:10.3390/buildings10100185.
9. **Vakhitova L. N., Kalafat K. V.** *Structural fire protection of steel frames of buildings. Technical recommendations for design*. Kiev, Ukrainian Center of Steel Construction. 2015. 66 p.
10. **Dias Y., Mahendran M., Poologanathan K.** *Full-scale fire resistance tests of steel and plasterboard sheathed web-stiffened stud walls: Full length article*. Thin-Walled Structures. Vol. 137. 2019. Pp. 81-93. DOI: 10.1016/J.TWS.2018.12.027.
11. **Cherkina V., Korolchenko D.** *Investigation of the fire resistance of panels of porous papercrete, containing expanded polystyrene gravel*. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 4. Ser. 4th World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium, WMCAUS 2019 – Section 4 2019. Pp. 052009. DOI: 10.1088/1757-899X/603/5/052004.
12. **Kolarkar P., Mahendran V.** *Experimental studies of fire conditions*. Fire Safety Journal. 2012. Vol. 53. Pp. 85-104. DOI: 10.1016/J.FIRESAF.2012.06.009.
13. **Kim J. H., Baeg D. Y., Seo J. K.** *Numerical Investigation of Residual Strength of Steel Stiffened Panel Exposed to Hydrocarbon Fire*. J. Ocean. Eng. Technol. 2021. No. 35. Pp. 203-215. DOI:10.26748/KSOE.2021.008.

14. **Imran M., Liew M. S., Nasif M. S., Niazi U. M., Yasreen A.** *Hazard Assessment Studies on Hydrocarbon Fire and Blast: An Overview*. Adv. Sci. Lett. 2017. No. 23. Pp. 1243-1247. DOI:10.1166/asl.2017.8349.
15. **Oliveira R. B. R., Junior L. C. M. V., Vieira L. C. M.** *Intumescent paint as fire protection coating*. Rev. IBRACON Estrut. Mater. 2017, № 10. Pp. 220-231. DOI: 10.1590/s1983-41952017000100010.
16. **Cirpici K. B., Wang Y. C., Rogers B. D.** *An analytical approach for predicting expansion of intumescent coating with different heating conditions*. In Proceedings of the 12th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, Turkey, 21-23 September 2016. Pp. 1-8.
17. **Palazzi E., Fabiano B.** *Analytical modelling of hydrocarbon pool fires: Conservative evaluation of flame temperature and thermal power*. Process. Saf. Environ. Prot. 2012. No. 90. Pp. 121-128. DOI: 10.1016/j.psep.2011.06.009.

Received 26 April 2022

Для цитирования:

Анализ применения современных средств огнезащиты стальных конструкций нефтегазового комплекса в климатических условиях Арктического региона / Е. В. Головина, А. В. Калач, Е. В. Калач, А. Ю. Акулов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 19-29. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.002.

FOR CITATION:

Golovina E. V., Kalach A. V., Kalach E. V., Akulov A. Yu. *Analysis of modern means of fire protection application of steel structures in the oil and gas complex in the Arctic climatic conditions*. Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 19-29. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.002. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.003

УДК 624.07: 001.5

ПРОГНОЗ РИСКА АВАРИИ НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА СНИЖЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

М. И. Федотова, Г. Д. Шмелев

Федотова Марина Игоревна, аспирант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(4732)271-52-49; e-mail: petrusha.marina@yandex.ru

Шмелев Геннадий Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(4732)271-52-49; e-mail: shmelev8@mail.ru

Рассмотрен вопрос построения прогноза риска аварии строительных конструкций на основе контроля изменения несущей способности зданий и сооружений, находящихся в течение длительного периода времени в условиях эксплуатации, оказывающих влияние на снижение несущей способности исследуемых строительных конструкций. Изучена возможность расчета риска аварии строительной конструкции, связанная с вероятностью ее обрушения по причине снижения несущей способности. Опираясь на ранее опубликованные работы авторов и изложенные в них методы построения прогнозов изменения несущей способности строительных конструкций, предложено использование прогноза снижения несущей способности для оценки риска аварии, вызванной обрушением поврежденной строительной конструкции. При оценке риска аварии поврежденной строительной конструкции авторами использована методика, описанная в ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». Для построения прогноза изменения несущей способности использованы нелинейные модели развития изменения прочности отдельных расчетных сечений изгибаемых конструкций: нормального сечения по моменту, наклонного сечения по поперечной силе, прочности бетона по наклонной полосе между наклонными трещинами.

Ключевые слова: прогноз; риск аварии; несущая способность; строительные конструкции; расчетные сечения; эксплуатация; здание и сооружение.

В ранее опубликованных работах авторов были исследованы и описаны различные способы прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций, основанные на разработанных авторами методах «нагрузка – несущая способность» и «нагрузка – деформации» [1, 2], а также авторские методы оценки риска аварии строительных конструкций [3...8], основанные на основных положениях ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». В рамках настоящей статьи поставлена задача увязать прогнозный метод «нагрузка – несущая способность» для изгибаемых железобетонных элементов и оценку риска аварии для этих конструкций.

В соответствии с действующими методиками расчета несущей способности строительных конструкций, основанных на положениях действующей системы нормативных документов по проектированию строительных конструкций из различных материалов (железобетон, сталь, дерево), для изгибаемых конструкций в виде плит и балок различного поперечного сечения предусмотрены расчеты, учитывающие прочность на действие различных усилий по следующим расчетным сечениям:

- ✓ нормальное сечение в середине пролета на действие изгибающего момента;
- ✓ наклонное сечение на опоре на действие поперечной (перерезывающей) силы;
- ✓ прочность по наклонной полосе между двумя наклонными трещинами на дейст-

вие поперечной (перерезывающей) силы.

Методика, учитывающая прогнозирование остаточных сроков службы изгибаемых строительных конструкций на основе метода "нагрузка – несущая способность", подробно описана в работах [9...11].

В приложении Ф к ГОСТ 31937-3011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» риск аварии рекомендуется определять по формуле:

$$R=P(H) \cdot P(A/H) \cdot P(T/H) \cdot P(D/H) \cdot C, \quad (1)$$

где $P(H)$ – вероятность возникновения аварии; $P(A/H)$ – вероятность встречи опасности (аварии) с рассматриваемым объектом в пространстве; $P(T/H)$ – вероятность встречи опасности (аварии) с рассматриваемым объектом во времени; $P(D/H)$ – вероятность нанесения ущерба данного уровня объекту; C – относительный ущерб (отношении стоимости ущерба к стоимости объекта).

При этом в качестве граничных значений риска в ГОСТ 31937-2011 "Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния" приводятся следующие значения:

✓ риск ниже фонового уровня, равного $5 \cdot 10^{-6}$, является приемлемым (не требует мероприятий по его снижению);

✓ риск свыше $5 \cdot 10^{-5}$, является недопустимым (требует срочной системы мер для его снижения);

✓ риск в интервале от $5 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ требует специальных мер для снижения уровня риска, полнота и сроки, реализации которых должны устанавливаться с учетом экономических и социальных аспектов.

Попытаемся сопоставить граничные значения риска с допустимыми уровнями снижения несущей способности строительных конструкций. В работах [12, 13] приведены таблицы, в которых в зависимости от категории технического состояния строительных конструкций даются соответствующие им проценты снижения несущей способности деревянных, стальных, каменных, бетонных и железобетонных конструкций. Для примера приведем таблицу для железобетонных конструкций (табл. 1).

Таблица 1

Степени повреждения, категории технического состояния бетонных и железобетонных конструкций и характеризующие их признаки [12, 13]

Степень повреждения	Снижение несущей способности, %	Характерные признаки повреждения	Категория технического состояния конструкций в соответствии с ГОСТ 31937-2011 и СП 13-102-2003
I – незначительная	0...5	Видимые повреждения и дефекты, свидетельствующие о снижении несущей способности и эксплуатационной пригодности, отсутствуют	Исправное - отсутствуют видимые дефекты и повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкции; необходимости в ремонтно-восстановительных работах на момент обследования нет
II – слабая	5...15	Состояние поверхности бетона конструкции незначительно отличается от неповрежденных конструкций. Защитный слой бетона откалывается с трудом по углам на глубину до 10 мм; при оценке прочности бетона зубилом остается неглубокий след, звук.	Работоспособное – имеющиеся дефекты и повреждения не снижают несущую способность и эксплуатационную пригодность конструкции; защитные свойства бетона по отношению к арматуре на отдельных участках истощены; требуется их восстановление, устройство и восстановление гидроизоляции и антикоррозионной защиты

Продолжение табл. 1

Степень повреждения	Снижение несущей способности, %	Характерные признаки повреждения	Категория технического состояния конструкций в соответствии с ГОСТ 31937-2011 и СП 13-102-2003
		звонкий, при царапании остаются малозаметные штрихи. При температурном воздействии изменение цвета бетона незначительно. Температурно-усадочные трещины на поверхности бетона отсутствуют	
II – слабая	5...15	Состояние поверхности бетона конструкции незначительно отличается от неповрежденных конструкций. Защитный слой бетона откалывается с трудом по углам на глубину до 10 мм; при оценке прочности бетона зубилом остается неглубокий след, звук звонкий, при царапании остаются малозаметные штрихи. При температурном воздействии изменение цвета бетона незначительно. Температурно-усадочные трещины на поверхности бетона отсутствуют	Работоспособное – имеющиеся дефекты и повреждения не снижают несущую способность и эксплуатационную пригодность конструкции; защитные свойства бетона по отношению к арматуре на отдельных участках исчерпаны; требуется их восстановление, устройство и восстановление гидроизоляции и антикоррозионной защиты
III – средняя	15...25	Поверхность бетона конструкции покрыта сеткой неглубоких температурно-усадочных трещин, защитный слой бетона при простукивании бетона молотком откалывается только по углам на глубину до 20 мм. При определении прочности бетона зубилом остается незаметный след на поверхности бетона. При температурном воздействии цвет бетона изменяется незначительно (до розового оттенка). Прогиб статически определимой конструкции не превышает предельно допустимого	Ограниченно работоспособное – существуют повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкции, но на момент обследования не угрожающих безопасности работающих и обрушению; требуется усиление
IV – сильная	25...50	На поверхности бетона имеются глубокие трещины с шириной раскрытия до 1 мм. Защитный слой бетона при легком простукивании молотком отслаивается на глубину более 30 мм. При определении прочности бетона зубило легко вбивается в бетон на глубину до 10 мм. При ударе звук бетона глухой. При температурном воздействии цвет бетона сильно изменяется (до белого). Прогиб статически определимой конструкции превышает предельно допустимый в 2...4 раза	Недопустимое – существуют повреждения, свидетельствующие об опасности пребывания людей в районе обследуемых конструкций; требуются немедленные страховочные мероприятия: ограничение нагрузок (недопущение складирования материалов, деталей и др., ограничение грузоподъемности кранов и их сближения); устройство предохранительных сеток и др.

Окончание табл. 1

Степень повреждения	Снижение несущей способности, %	Характерные признаки повреждения	Категория технического состояния конструкций в соответствии с ГОСТ 31937-2011 и СП 13-102-2003
V – полное разрушение	Свыше 50 или при полной потере несущей способности конструкции	В конструкции имеются трещины с шириной раскрытия 1,5 мм, трещины в сжатой зоне (раздавливание бетона), трещины в опорных узлах (нарушающие анкеровку рабочей арматуры). Остаточные прогибы конструкции в 5...10 раз превышают предельно допустимые. При простукивании бетона звук глухой, зубило легко вбивается на глубину более 30 мм	Аварийное – существуют повреждения, свидетельствующие о возможности обрушения конструкций, требуется немедленная разгрузка конструкции и устройство временных креплений

Проведенный анализ соответствия категорий технического состояния, по их определениям, приведенным в табл. 1 граничным значениям риска показал следующее:

- ✓ приемлемому риску ниже фонового уровня, равного $5 \cdot 10^{-6}$, соответствует верхний предел категории технического состояния – работоспособное (15 %), при котором не происходит снижения несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкции;
- ✓ недопустимому риску свыше $5 \cdot 10^{-5}$, соответствует нижняя граница аварийного технического состояния (50 %), при котором возникает угроза обрушения конструкций;
- ✓ для недопустимого технического состояния нет опасности обрушения поврежденной конструкции, но есть опасность для пребывания людей в зоне расположения конструкции (опасность обрушения отдельных частей конструкций, например, падение кусков бетона защитного слоя), что соответствует риску в интервале от $5 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ и требует специальных мер для снижения уровня риска.

Анализ формулы (1) с точки зрения достижения любой конструкцией здания или сооружения аварийного технического состояния позволяет сделать следующие допущения:

- ✓ $P(A/H)$ – вероятность встречи опасности (аварии) с рассматриваемым объектом в пространстве равна 1, так как аварийная конструкция расположена внутри рассматриваемого объекта;
- ✓ $P(T/H)$ – вероятность встречи опасности (аварии) с рассматриваемым объектом во времени равна 1, так как аварийное техническое состояние конструкцией достигнуто в интервале времени эксплуатации рассматриваемого объекта;
- ✓ $P(D/H)$ – вероятность нанесения ущерба данного уровня объекту равна 1, так как выход из эксплуатации из-за аварии конструкции наносит ей ущерб такого уровня, который оценивается как C – относительный ущерб (отношении стоимости ущерба к стоимости объекта).

Следовательно, в случае достижения аварийного технического состояния любой конструкцией, расположенной в здании или сооружении формула риска аварии (1) может быть упрощена до формулы:

$$R = P(H) \cdot C. \quad (2)$$

В качестве величины C – относительного ущерба (отношения стоимости ущерба к стоимости объекта), в соответствии с исследованиями, приведенными в работе [7], может быть использовано предельное значение физического износа конструкции, при достижении которого требуется полная замена конструкции. В таблицах для оценки физического износа строительных конструкций и инженерных систем зданий по ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий» это значение физического износа составляет 60 % и

более.

Проведя анализ всех выше рассмотренных параметров, характеризующих работу строительных конструкций, сведем полученные значения в табл. 2.

Таблица 2

Граничные и критические значения для оценки снижения несущей способности конструкций и риска ее аварии

Снижение несущей способности строительной конструкции, %	Вероятность обрушения конструкции	Относительный ущерб (физический износ), %	Риск аварии
0	$\rightarrow 0$	0	$\rightarrow 0$
15	$8,33 \cdot 10^{-8}$	-	$5 \cdot 10^{-6}$
50	$8,33 \cdot 10^{-7}$	60	$5 \cdot 10^{-5}$

В общем виде зависимость риска аварии, связанная с вероятным обрушением строительной конструкции от ее несущей способности может быть представлена в виде графика (рисунок).

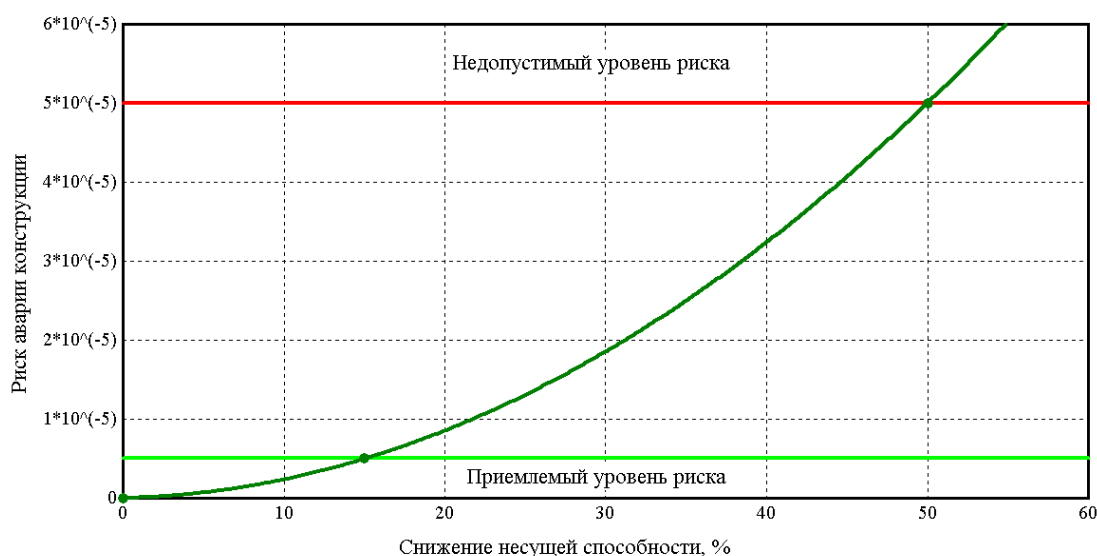


График зависимости риска аварии от снижения несущей способности строительной конструкции

Математически зависимость риска аварии, связанной с обрушением строительной конструкции, от снижения несущей способности самой конструкции может быть представлена в виде формулы, полученной с использованием регрессионного анализа (тип регрессии – полином 2-й степени):

$$R = 1,9047619 \times 10^{-8} \times N^2 + 4,7619048 \times 10^{-8} \times N - 5,4707449 \times 10^{-23}, \quad (3)$$

где N – значение снижения несущей способности конструкции, %.

Предлагаемый подход к построению модели риска аварии строительной конструкции, связанной с ее обрушением по показателям снижения несущей способности строительных конструкций, основан на наглядности восприятия и удобстве использования в условиях ограниченной информации по объекту исследования.

Заключение.

Выполнен анализ возможности оценки риска обрушения строительной конструкции, определены основные параметры и численные значения для ключевых точек, определяющих зависимость риска аварии от снижения несущей способности строительной конструкции.

Получены графическая и математическая зависимости, адекватно описывающие процесс зависимости риска аварии строительной конструкции, связанной с вероятностью ее обрушения, от снижения несущей способности исследуемой строительной конструкции.

Полученная математическая модель роста риска аварии строительной конструкции, связанная с ее обрушением, в зависимости от снижения несущей способности может быть использована на практике как общая модель, описывающая повышение уровня риска аварии при расчете несущей способности строительной конструкции по всем расчетным сечениям (нормальному сечению по моменту, наклонному сечению по поперечной силе, прочности бетона по наклонной полосе между наклонными трещинами).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **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.
2. **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. Т. 1. – Воронеж: ВГАСУ, 2006. – С. 99-103.
3. **Головина, Н. В.** Сравнительный анализ нелинейных моделей прогнозирования остаточного ресурса и работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / Н. В. Головина, Г. Д. Шмелев // Вестник МГСУ. – 2016. – № 5. – С. 10-17.
4. **Шмелев, Г. Д.** Случайные функции и интервальный метод прогнозирования остаточного ресурса строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. И. Федотова, Н. В. Головина // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12. – № 11(110). – С. 1261-1268.
5. **Шмелев, Г. Д.** Мониторинг и прогноз технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / Г. Д. Шмелев, Э. В. Сазонов, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 9-18. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.001.
6. **Шмелев, Г. Д.** Оценка риска аварии на объекте «Городская канализационная насосная станция» / Г. Д. Шмелев, А. В. Жукова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 3(10). – С. 102-108.
7. **Шмелев, Г. Д.** Использование показателей физического износа для оценки вероятности и риска наступления аварийного технического состояния строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений / Г. Д. Шмелев // Инженерные решения. – 2019. – № 1(2). – С. 36-39.
8. **Шмелев, Г. Д.** Методика оценки риска при прогнозировании остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Академический вестник УралНИИ-проект РААСН. – 2013. – № 3. – С. 81-84.
9. **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.
10. **Шмелев, Г. Д.** Логическая структура экспертной системы прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – № 1-2(1). – С. 9-17.
11. **Шмелев, Г. Д.** Прогнозирование остаточного ресурса изгибаемых железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неагрессивных средах: монография / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков. – Ростов-на-Дону: Ростовский гос. строит. университет, 2007. – 218 с.

12. **Морозов, А.С.** Организация и проведение обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / А. С. Морозов, В. В. Ремнева, Г. П. Тонких и др. – М.: Томская Печат. мануфактура, 2001. – 212 с.

13. **Мальганов, А. И.** Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Атлас схем и чертежей / А. И. Мальганов, В. С. Плевков, А. И. Полищук. – Томск: Томский межотраслевой ЦНТИ. – 1990. – 316 с.

Поступила в редакцию 28 апреля 2022

PREDICTION OF THE ACCIDENT RISK IN LOAD-BEARING STRUCTURES BASED ON THE CALCULATION OF THE LOAD-BEARING CAPACITY REDUCTION

M. I. Fedotova, G. D. Shmelev

Marina Igorevna Fedotova, postgraduate student at the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(4732)271-52-49; e-mail: petrusha.marina@yandex.ru
Gennady Dmitrievich Shmelev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of urban construction and economy, Associate Professor at the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(4732)271-52-49; e-mail: shmelev8@mail.ru

In the article we consider the issue of making a risk prediction for a collapse in structures based on monitoring change in the bearing capacity of buildings and structures that have been under operating conditions for a long period of time. These conditions decrease the bearing capacity of the studied structures. We studied the possibility of calculating the risk of an accident associated with the probability of a collapse due to a decrease in bearing capacity. Based on the previously published works of the authors and the methods outlined in them for making predictions for changes in the bearing capacity of structures, it is proposed to use the prediction of a decrease in bearing capacity to assess the risk of an accident caused by the collapse of a damaged structure. When assessing the risk of an accident of a damaged structure, we used the methodology described in GOST 31937-2011 *Buildings and structures. Rules for the inspection and monitoring of the technical condition*. We used non-linear models of the development of changes in the strength of individual design sections of bending structures to predict the change in the bearing capacity: normal section in the moment, inclined section in terms of transverse force, concrete strength along an inclined strip between inclined cracks.

Keywords: prediction; accident risk; bearing capacity; structures, design sections; operation; building and structure.

REFERENCES

1. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Zhukova A. V.** *Assessment of the residual service life of the circular console of the polar crane using the method of limit states*. Housing and communal infrastructure. 2020. No. 3(14). Pp. 9-16. (in Russian)
2. **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. Vol. 1. Voronezh, VGASU. Pp. 99-103.
3. **Golovina N. V., Shmelev G. D.** *Comparative analysis of nonlinear models for predicting residual operating life and operability of the structural elements of residential buildings*. Bulletin of MGSU. 2016. No. 5. pp. 10-17. (in Russian)
4. **Shmelev G. D., Fedotova M. I., Golovina N. V.** *Random functions and interval method for predicting the residual resource of building structures*. Bulletin of MGSU. 2017. Vol. 12. No. 11(110). Pp. 1261-1268. (in Russian)

5. **Shmelev G. D., Sazonov E. V., Kononova M. S.** *Monitoring and prediction of technical condition of structural units of buildings and structures.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 9-18. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.001. (in Russian)
6. **Shmelev G. D., Zhukova A. V.** *Assessment of the risk of an accident at the facility «City sewer pumping station».* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 3(10). Pp. 102-108. (in Russian)
7. **Shmelev G. D.** *Use of indicators of physical wear to assess the probability and risk of an emergency technical condition of building structures of operated buildings and structures* Engineering solutions. 2019. No. 1(2). Pp. 36-39. (in Russian)
8. **Shmelev G. D.** *Methods of risk assessment in predicting the residual life of building structures.* Academic Bulletin UralNIIproekt RAASN. 2013. No. 3. Pp. 81-84. (in Russian)
9. **Shmelev G. D., Kononova M. S., Maleva N. A.** *Reliability, durability and service life of buildings and their structural components.* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 2(9). Pp. 34-42. (in Russian)
10. **Shmelev G. D.** *Logical structure of the expert system for predicting the residual life of building structures.* Housing and communal infrastructure. 2017. No. 1-2(1). Pp. 9-17.
11. **Shmelev G. D., Ishkov. A. N.** *Prediction of the residual life of bent reinforced concrete structures operated in non-aggressive environments: monograph.* Rostov-on-Don, Rostov State University of Civil Engineering. 2007. 218 p. (in Russian)
12. **Morozov A. S., Remneva V. V., Tonkikh G. P.** *Organization and inspection of the technical condition of building structures of buildings and structures.* Tomsk, Publish. manufactory. 2001. 191 p. (in Russian)
13. **Malganov A. I., Plevkov V. S., Polishchuk A. I.** *Restoration and strengthening of building structures of emergency and reconstructed buildings. Atlas of schemes and drawings.* Tomsk: Tomsk interdisciplinary CSTI. 1990. 316 p. (in Russian)

Received 28 April 2022

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Федотова, М. И. Прогноз риска аварии несущих строительных конструкций на основе расчета снижения несущей способности / М. И. Федотова, Г. Д. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 30-37. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.003.

FOR CITATION:

Fedotova M. I., Shmelev G. D. *Prediction of the accident risk in load-bearing structures based on the calculation of the load-bearing capacity reduction.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 30-37. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.003. (in Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

ENGINEERING SYSTEMS AND COMMUNICATIONS

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.004

УДК 628.88:612

УТОЧНЕНИЕ ТЕПЛО-, ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ ОТ ДЕТЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА

Д. В. Лобанов, М. С. Кононова, Ю. А. Воробьева, А. А. Мерщев

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

Кононова Марина Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)342-47-16; e-mail: kniga18@mail.ru

Воробьева Юлия Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(919)185-85-07; e-mail: cccp38@yandex.ru

Мерщев Александр Александрович, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(951) 546-06-15; e-mail: sasha_1990@mail.ru

Обоснована актуальность учета комплекса физических параметров и физиологических особенностей детей при определении энергетических затрат и сопутствующих им выделений углекислого газа при различных видах деятельности. Эти данные требуются для определения количества теплоступлений и газовых выделений при проектировании систем вентиляции в помещениях детских дошкольных, общеобразовательных организаций и прочих зданиях с пребыванием детей разного возраста. Проведена оценка антропометрических показателей детей и их влияние на количество выделяемых вредных веществ с разделением на возрастные группы, с учетом пола и степени тяжести выполняемой нагрузки. Приведены графики, иллюстрирующие зависимость исследуемых параметров от возраста детей. Рассчитаны уточненные значения тепло-, газовыделений от детей, которые рекомендуется учитывать при проектировании систем микроклимата.

Ключевые слова: тепловыделения; выделение углекислого газа; умственный труд; физическая активность; вентиляция дошкольных учреждений; вентиляция образовательных учреждений.

В настоящее время идет интенсивное строительство новых и реконструкция существующих зданий дошкольных образовательных и общеобразовательных организаций [1]. Они оснащаются современным учебным оборудованием и материалами, передовыми технологиями для обучения по различным дисциплинам.

При строительстве и реконструкции применяют современные строительные и отделочные материалы, энергоэффективные решения инженерных систем жизнеобеспечения. Одной из важнейших систем является система вентиляции, предназначенная для создания и обеспечения нормируемых параметров микроклимата.

При проектировании вентиляционных систем требуется выполнить сбор исходных данных, в том числе информацию о характере деятельности людей с указанием их количества по помещениям. Расчет требуемого воздухообмена выполняют с учетом тепло-, влагопоступлений и газовых выделений от различных источников в помещениях. В детских дошкольных и общеобразовательных организациях основными источниками выделения вредных веществ являются люди.

Величина требуемого расхода приточного и удаляемого воздуха определяется согласно СП 60.13330.2020 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», с учетом выделяемых в помещении тепло-, влагоизбытков, газовых вредностей отдельно для теплого, холодного периодов года, кратности, а также минимальной санитарной нормы подачи наружного воздуха на одного человека.

В большинстве помещений воздухообмен определяется по нормируемой кратности в зависимости от его функционального назначения. Однако, имеется ряд помещений (например, обеденный или актовый зал), в которых необходимо определять величины вредностей в зависимости от количества людей. Согласно ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» в таких помещениях осуществляется легкая или умственная работа.

В настоящее время в большинстве справочной и рекомендуемой литературы [2...6], «Методических рекомендациях по определению минимального воздухообмена в помещениях жилых и общественных зданий», Москва, 2018 г. (далее по тексту – МР-2018) приведены данные по тепло-, влагопоступлениям и выделению углекислого газа от условного человека (мужчина, возраст 20...30 лет, живет в умеренном климате, масса тела 70 кг).

Следует отметить, что такой подход не учитывает возрастные и физиологические особенности детей разного возраста. Поэтому целью настоящего исследования является уточнение значений тепло-, газовыделений от детей с учетом их пола, возраста, антропометрических и прочих данных.

Для расчета вышеуказанных вредностей, выделяемых детьми, требуется значения для мужчин, приведенные в [3, 4, 7], МР-2018, умножить на коэффициент 0,75. Вычисленные с учетом этого коэффициента данные для детей (при выполнении ими умственной работы (покой) или легкой работы) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Выделение теплоты (полной), влаги и углекислого газа (CO₂) одним ребенком

Наименование параметра	Значение параметра по данным различных источников						
	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[МР*]	Средняя величина
	покой / умственная работа						
Полное тепло, Вт (при $t = 20^{\circ}\text{C}$)	90	87	90	105	105	90	94,5
Влага, г/ч	30	30	30	52,5	52,5	30	37,5
Выделяемый углекислый газ, л/ч	-	17,25	-	17,25	16,875	-	17,25
условия	легкая работа						
Полное тепло, Вт (при $t = 20^{\circ}\text{C}$)	112,5	113,25	112,5	93,75	113,25	112,5	112,5
Влага, г/ч	56,25	56,25	56,25	52,5	56,25	56,25	55,65
Выделяемый углекислый газ, л/ч	-	18,75	-	18,75	18,75	-	18,75

Примечание. *МР – Методические рекомендации по определению минимального воздухообмена в помещениях жилых и общественных зданий, Москва, 2018, 62 с.

Однако, следует учитывать, что на данный момент в Российской Федерации принята возрастная периодизация детского населения, разработанная с учетом двух факторов: биологического и социального критериев, учитывающих особенности обучения и воспитания («МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Рос-

сийской Федерации. Методические рекомендации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021), представленная в табл. 2.

Таблица 2

Возрастная периодизация детского населения

Наименование возрастного периода	Возраст ребенка
1. Ранний возраст, в том числе:	
✓ грудной	0...11 мес.
✓ преддошкольный	1...2 года
2. Дошкольный возраст	3...6 лет
3. Школьный возраст, в том числе:	
✓ младший	7...10 лет
✓ средний	11...14 лет
✓ старший	15...17 лет

Оценку антропометрических показателей детей, наличия дефицита или избыточной массы тела проводят по нормам роста детей ВОЗ [8, 9]. В них учитывается рост, вес, пол и возраст ребенка. Выбор этих возрастных диапазонов определен необходимостью разделения физиологических характеристик организма, связанных с изменением скорости роста, состава тела, физической активности и характера питания. На рис. 1 приведены усредненные данные веса мальчиков и девочек разного возраста.

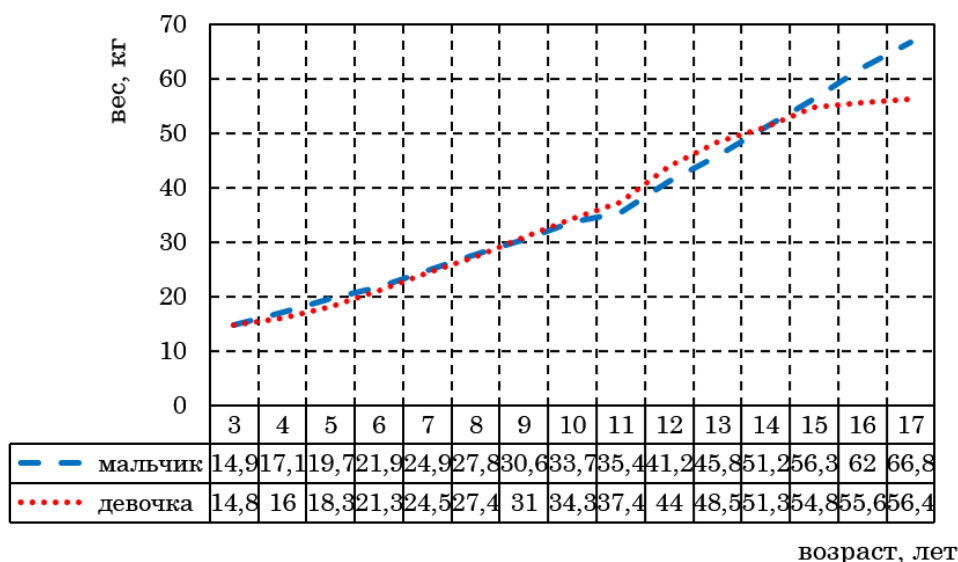


Рис. 1. Средний вес детей различного возраста

Потребность в энергии представляет собой уровень потребляемой пищи, который обеспечивает энергетический баланс. При этом размеры тела, его состав и уровень физической активности человека соответствуют устойчивому состоянию здоровья и обеспечивают поддержание экономически необходимой и социально желательной физической активности.

Потребность в энергии у детей включает также дополнительные факторы, связанные с образованием тканей на уровне, обеспечивающем нормальную жизнедеятельность. Суточные энерготраты определяют, как сумму затрат энергии на конкретные виды деятельности, каждую из которых рассчитывают как произведение величины основного обмена

(ВОО) на соответствующий коэффициент физической активности и время, в течение которого эти виды деятельности выполняются (ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»).

Для расчета ВОО у детей используют уравнения Шофилда с учетом пола и возраста ребенка, представленные в табл. 6, «МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации».

На рис. 2 представлены усредненные ВОО для детей разного возраста с учетом пола и средних величин веса.

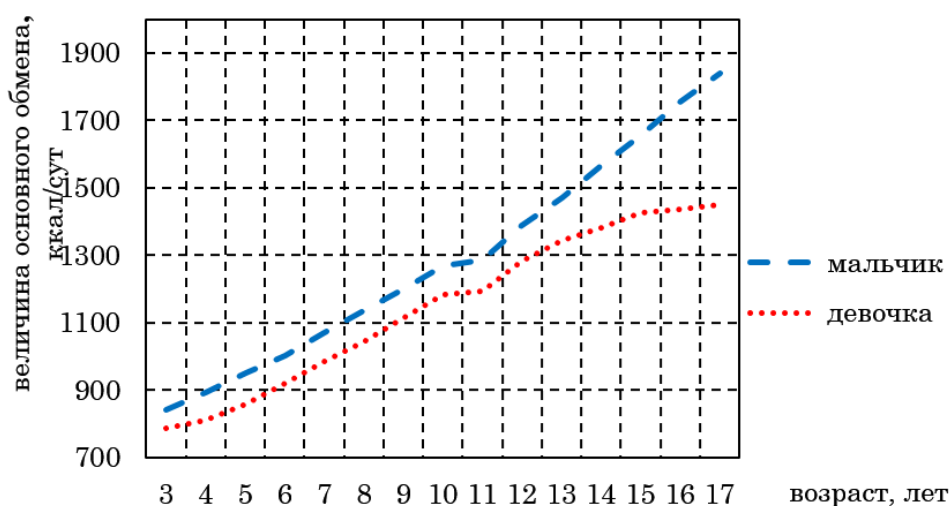


Рис. 2. Величина основного обмена детей разного возраста

У детей с возрастом отношение ВОО к массе тела постепенно снижается до наступления полового созревания. Максимальная потребность в энергии наблюдается в подростковом возрасте, что обусловлено быстрым ростом. Физиологические потребности в энергии для детей составляют: 110...115 ккал/кг массы тела для детей до 1 года и от 1300 до 2900 ккал/сутки (с увеличением возраста) для детей старше 1 года при адекватном уровне физической активности. Однако, если учитывать физические и физиологические особенности детей, то отклонения будут существенными.

Определим энергетические траты детей с учетом коэффициентов физической активности по «МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021), равным 1,4 и 1,6 для умственного труда (рис. 3) и легкой работы (рис. 4) соответственно.

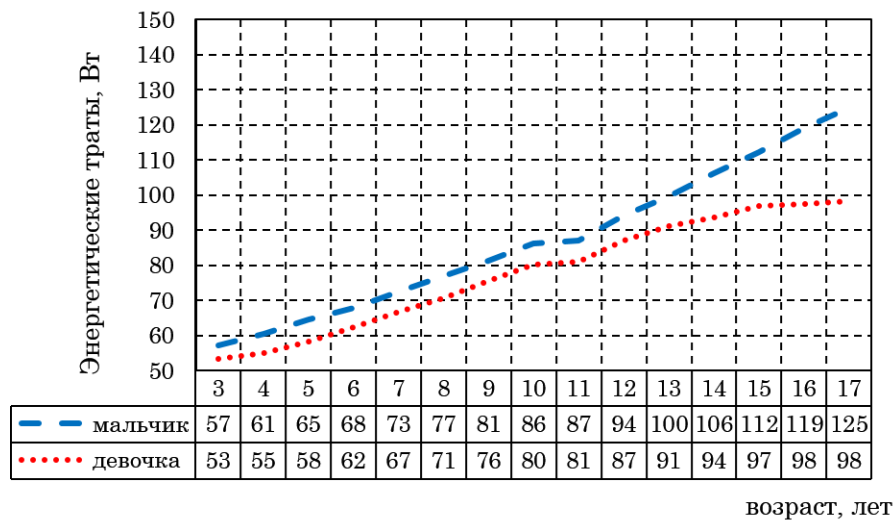


Рис. 3. Энергетические траты детей при умственном труде

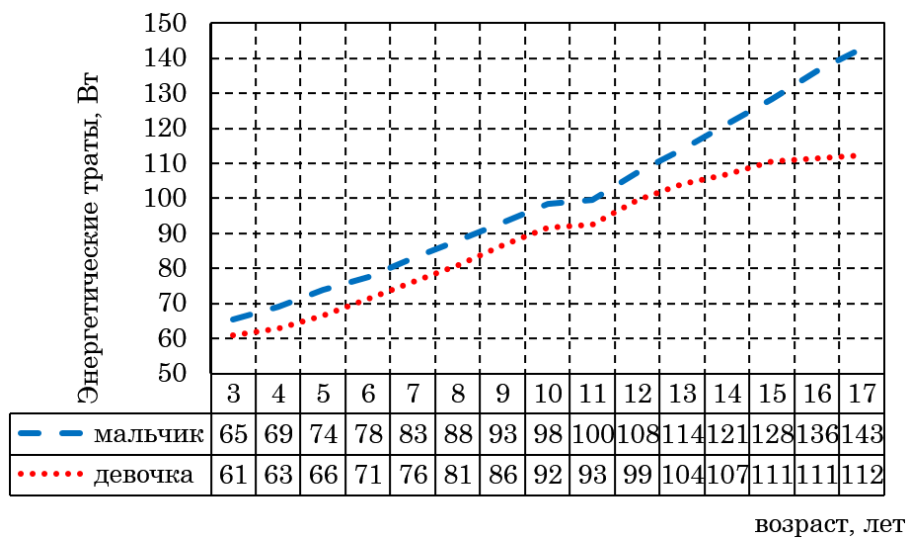


Рис. 4. Энергетические траты детей при легкой работе

Проанализируем данные по энергетическим тратам детей, фактически представляющим собой тепловыделения, вследствие малого КПД при выполнении умственного труда и легкой работы [10] (см. рис. 3 и 4) и сравним их с рекомендуемыми значениями справочной и рекомендуемой литературы [2-6], МР-2018. Сведем данные в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение величины поступления теплоты при различной деятельности детей

Энерготраты, Вт, по данным источников [2...6], МР-2018		Полученные авторами значения энерготрат, Вт			
		Умственный труд / покой (при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)		Легкая работа (при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
Умственный труд / покой (при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Легкая работа (при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	мальчик	девочка	мальчик	девочка
94,5	112,5	57...125	53...98	65...143	61...112
		91	75,5	104	86,5
		среднее значение		среднее значение	
		83,2		95,3	

Таким образом, полученная средняя величина (без учета пола, веса и возраста) энергетических трат (теплопоступлений) при умственном труде на 12 %, а при легкой работе на 15 % меньше рекомендуемых данных [2...6], МР-2018.

Энергетические траты организма непосредственно связаны с потреблением кислорода и выделением углекислого газа [11]. Определим количество выделяющегося углекислого газа от детей при выполнении ими умственной и легкой работы. На рис. 5 и рис. 6 представлены значения выделения углекислого для детей умственного труда и легкой работы соответственно.

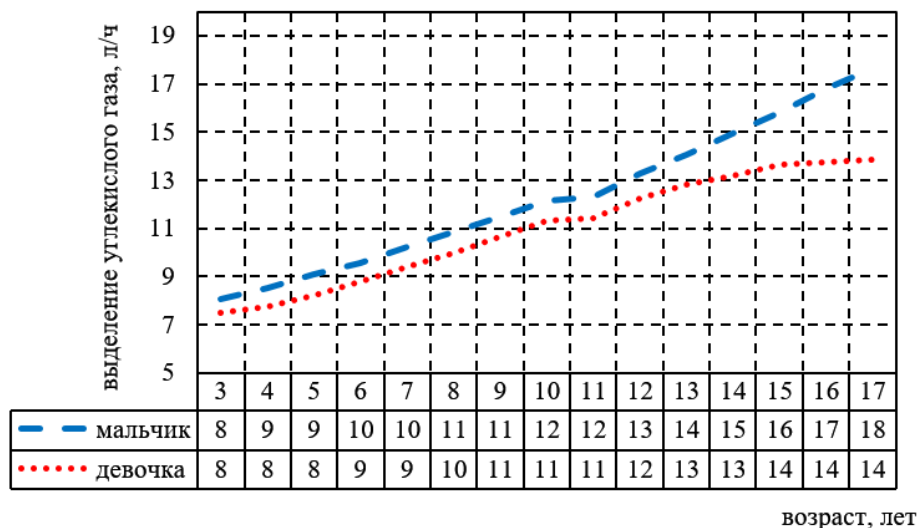


Рис. 5. Выделение углекислого газа детьми при умственном труде

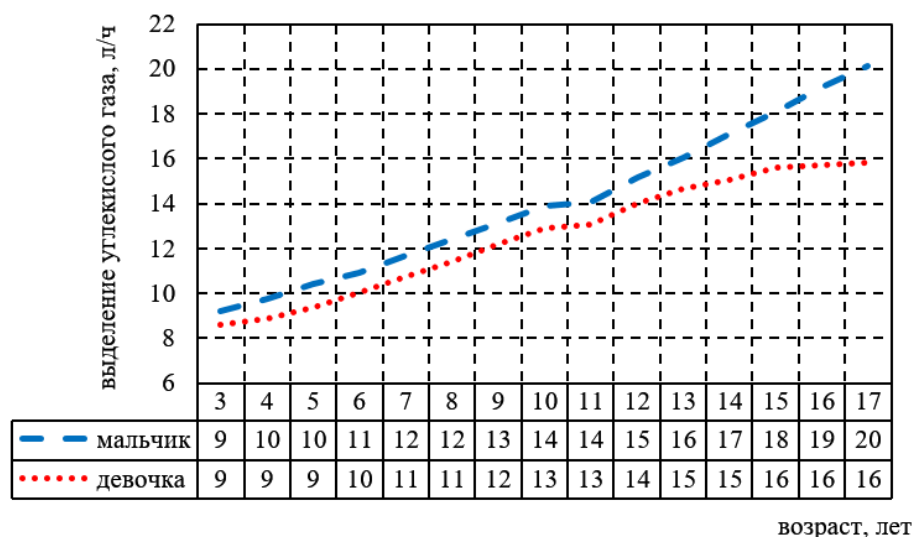


Рис. 6. Выделение углекислого газа детьми при легкой работе

Проанализируем данные по выделению углекислого газа детьми, выполняющими умственную и легкую работу (см. рис. 5 и рис. 6 соответственно) и сравним их с рекомендуемыми значениями справочной и рекомендуемой литературы (табл. 4).

Таким образом, полученная авторами средняя величина (без учета пола, веса и возраста) выделения углекислого газа при умственном труде на 30,4 %, а при легкой работе на 28 % меньше рекомендуемых справочных значений [2...6], МР-2018. При этом, если учитывать физические и физиологические особенности детей, то отклонения будут более существенными.

Таблица 4

Сравнение величин выделения углекислого газа при различной деятельности детей

Выделение CO ₂ , л/ч, по данным источников [2...6], МР-2018		Полученные авторами значения выделения CO ₂ , л/ч			
Умственный труд / покой (при t = 20 °С)	Легкая работа (при t = 20 °С)	Умственный труд / покой (при t = 20 °С)		Легкая работа (при t = 20 °С)	
		мальчик	девочка	мальчик	девочка
17,25	18,75	8...18	8...14	9...20	9...16
		13	11	14,5	12,5
		среднее значение		среднее значение	
		12		13,5	

Вышеприведенные расчеты обосновывают целесообразность разработки уточненных нормативов по величинам энергетических трат (теплопоступлений), влагопоступлений и выделений углекислого газа для людей с учетом их пола, возраста, веса и других особенностей [12].

В качестве прототипа уточненных нормативов предлагается структура таблицы (табл. 5), включающая сведения о поле, возрасте, весе ребенка и виде физической активности (характеристика трудовой деятельности).

Таблица 5

Уточненные значения выделения вредностей для детей

Возраст, лет	Вес (средний показатель), кг		Энергетические траты, Вт				Выделение CO ₂ , л/ч,			
			умственная работа		легкая работа		умственная работа		легкая работа	
	Д*	М*	Д*	М*	Д*	М*	Д*	М*	Д*	М*
Дошкольный возраст										
3	14,8	14,9	53	57	61	65	8	8	9	9
4	16	17,1	55	61	63	69	8	9	9	10
5	18,3	19,7	58	65	66	74	8	9	9	10
6	21,3	21,9	62	68	71	78	9	10	10	11
Школьный возраст										
7	24,5	24,9	67	73	76	83	9	10	11	12
8	27,4	27,8	71	77	81	88	10	11	11	12
9	31	30,6	76	81	86	93	11	11	12	13
10	34,3	33,7	80	86	92	98	11	12	13	14
11	37,4	35,4	81	87	93	100	11	12	13	14
12	44	41,2	87	94	99	108	12	13	14	15
13	48,5	45,8	91	100	104	114	13	14	15	16
14	51,3	51,2	94	106	107	121	13	15	15	17
15	54,8	56,3	97	112	111	128	14	16	16	18
16	55,6	62	98	119	111	136	14	17	16	19
17	56,4	66,8	98	125	112	143	14	18	16	20

Примечание. *Д – девочка, М – мальчик.

Для наглядного сравнения уточненных данных с существующими справочными значениями в табл. 6 представлено соотношение: на сколько процентов рекомендуемые величины [2...6], МР-2018 больше полученных авторами значений.

Таблица 6

Таблица соотношения полученных авторами значений и существующих справочных данных

Возраст, лет	Вес (средний показатель), кг		Относительное изменение энергетических трат, %				Относительное изменение выделения CO ₂ , %			
			умственная работа		легкая работа		умственная работа		легкая работа	
	Д*	М*	Д*	М*	Д*	М*	Д*	М*	Д*	М*
Дошкольный возраст										
3	14,8	14,9	78,3	65,8	84,4	73,1	115,6	115,6	108,3	108,3
4	16	17,1	71,8	54,9	78,6	63,0	115,6	91,7	108,3	87,5
5	18,3	19,7	62,9	45,4	70,5	52,0	115,6	91,7	108,3	87,5
6	21,3	21,9	52,4	39,0	58,5	44,2	91,7	72,5	87,5	70,5
Школьный возраст										
7	24,5	24,9	41,0	29,5	48,0	35,5	91,7	72,5	70,5	56,3
8	27,4	27,8	33,1	22,7	38,9	27,8	72,5	56,8	70,5	56,3
9	31	30,6	24,3	16,7	30,8	21,0	56,8	56,8	56,3	44,2
10	34,3	33,7	18,1	9,9	22,3	14,8	56,8	43,8	44,2	33,9
11	37,4	35,4	16,7	8,6	21,0	12,5	56,8	43,8	44,2	33,9
12	44	41,2	8,6	0,5	13,6	4,2	43,8	32,7	33,9	25,0
13	48,5	45,8	3,8	-5,5	8,2	-1,3	32,7	23,2	25,0	17,2
14	51,3	51,2	0,5	-10,8	5,1	-7,0	32,7	15,0	25,0	10,3
15	54,8	56,3	-2,6	-15,6	1,4	-12,1	23,2	7,8	17,2	4,2
16	55,6	62	-3,6	-20,6	1,4	-17,3	23,2	1,5	17,2	-1,3
17	56,4	66,8	-3,6	-24,4	0,4	-21,3	23,2	-4,2	17,2	-6,3

Примечание. *Д – девочка, М – мальчик.

Из табл. 6 видно, что превышение справочных величин над значениями, полученными авторами, по энергетическим тратам при умственной и легкой работе составляет от 39 % до 84,4 % и от -24,4 % до 48 % для детей дошкольного и школьного возраста соответственно. По показателю выделения углекислого газа изменения составляют от 70,5 % до 115,6 % (дошкольный возраст) и от -6,3 % до 91,7 % (школьный возраст).

Заключение.

Установлено, что величины энергетических трат (теплопоступлений) и выделения углекислого газа для детей зависят не только от вида выполняемой работы (активности), но и от антропометрических показателей, характеризующих физическое развитие (размеры тела, вес), а также прочих особенностей ребенка.

Рассчитаны значения тепло-, газовыделений от детей с разделением на возрастные категории, а также с учетом их пола, веса и степени физической нагрузки. Установлено, что в среднем уточненные значения энергетических трат и выделений углекислого газа отличаются от справочных в широком диапазоне. Такой разброс подтверждает необходимость разделения нормативов выделения вредностей от детей на различные группы.

Предложенные авторами значения будут полезны при проектировании систем микроклимата для определения фактических поступлений теплоты, влаги и углекислого газа не только в помещениях дошкольных образовательных и общеобразовательных организаций, но и в зданиях другого назначения с пребыванием детей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Козлов, М. Л.** Детские образовательные учреждения: проблемы и ошибки проектирования / М.Л. Козлов // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. – 2011. – №3. – С. 92-97.
2. **Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи:** Справочное пособие / Г.И. Стомахина [и др.]; под ред. Г.И. Стомахиной. – М.: Пантори, 2003. – 308 с.
3. **Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции промышленных зданий:** Учебное пособие / В. П. Титов [и др.]. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.
4. **Каменев, П. Н.** Вентиляция: Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» направления подготовки дипломированных специалистов «Строительство» / П. Н. Каменев, Е. Н. Тертичник. – Москва: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2008. – 614 с.
5. **Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Книга вторая. Вентиляция и кондиционирование воздуха** / Р. В. Щекин [и др.]: 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Будівельник, 1976. – 416 с.
6. **Таурит, В. Р.** Вентиляция в гражданских зданиях: Учебное пособие / В. Р. Таурит, В. Ф. Васильев. – СПб: АНТТ-Принт, 2008. – 147 с.
7. **Вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочник проектировщика, (Часть 3 Кн.1)** / Богословский В. Н. [и др.]; Под редакцией Павлова Н. Н., Шиллера Ю. И. – 4-е изд., перераб. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
8. **Оценка физического развития детей и подростков: методические рекомендации** / В. А. Петеркова [и др.] // Российская ассоциация эндокринологов. – М., 2017. – 96 с.
9. **Диагностика и лечение ожирения у детей и подростков** // В кн.: Федеральные клинические рекомендации (протоколы) по лечению детей с эндокринными заболеваниями / Под ред. И.И. Дедова и В.А. Петерковой. – М.: Практика, 2014. – С. 163-183.
10. **Физиология человека** / под ред. Г. И. Косицкого – 3-е изд. Перераб. и доп. – М.: Медицина, 1985. – 544 с.
11. **Справочник по космической биологии и медицине** / Под ред. А. И. Бурназяна, О. Г. Газенко // 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1983 – 352 с.
12. **Лобанов, Д. В.** 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.

Поступила в редакцию 25 марта 2022

CLARIFICATION OF HEAT AND GAS EMISSIONS FROM CHILDREN IN THE DESIGN OF MICROCLIMATE SYSTEMS

D. V. Lobanov, M. S. Kononova, Yu. A. Vorob'eva, A. A. Mershchiev

Dmitry Valeryevich Lobanov, Senior Lecturer at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel: +7(903) 651-33-43; e-mail: LDV-36@mail.ru
Marina Sergeevna Kononova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)342-47-16; e-mail: kniga18@mail.ru
Julia Aleksandrovna Vorob'eva, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(919)185-85-07; e-mail: cccp38@yandex.ru
Alexander Alexandrovich Mershchiev, Senior Lecturer at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel: +7(951) 546-06-15; e-mail: sasha_1990@mail.ru

In this article we substantiate the relevance of taking into account a set of physical parameters and physiological characteristics of children in determining the energy expenditure and associated carbon dioxide emissions in various types of activity. These data are required for determining the amount of heat inputs and gas emissions when designing ventilation systems in the rooms of preschool and secondary educational organizations and other buildings where children of different ages. We evaluated the anthropometric indicators of children and their influence on the amount of harmful emissions with division into age groups, taking into account gender and the degree of the workload. As well we give graphs illustrating dependence of the studied parameters on the age of children. Finally we calculated the specified values of heat and gas emissions from children, which are recommended to take into account when designing microclimate systems.

Keywords: heat emissions; carbon dioxide emissions; mental work; physical activity; ventilation of preschools institutions; ventilation of secondary educational institutions.

REFERENCES

1. **Kozlov M. L.** *Children's educational institutions: problems and design errors.* Academic Herald of the UralNIIPROEKT RAASN. 2011. No. 3. Pp. 92-97. (in Russian)
2. **Stomakhina G. I.** *Heating, Ventilation and Air Conditioning: Residential Buildings with Built-On Public Buildings and Parking Areas. Cottages: Reference Manual.* Moscow, Pantori. 2003. 308 p. (in Russian)
3. **Titov V. P.** *Course and diploma design of ventilation of industrial buildings. Textbook.* Moscow, Stroyizdat. 1985. 208 p. (in Russian)
4. **Kamenev P. N., Tertichnik E. N.** *Ventilation. Textbook for the students of higher educational institutions on a speciality Heat and gas supply and ventilation of the direction of preparation of the graduated specialists Building.* Moscow, Publishing house of Association of build. high schools. 2008. 614 p. (in Russian)
5. **Shchekin R. V.** *Handbook for Heating and Ventilation. Book Two. Air Conditioning and Ventilation.* 4th edition, revised, and additional information. Kiev, Budivelnik. 1976. 416 p. (in Russian)
6. **Taurit V. R., Vasiliev V. F.** *Ventilation in Civil Buildings. Textbook.* St. Petersburg, ANTT-Print. 2008. 147 p. (in Russian)
7. **Bogoslovsky V. H.** *Ventilation and air conditioning. Designer's Handbook, (Part 3 Book 1),* 4th ed. Moscow, Stroyizdat. 1992. 319p. (in Russian)
8. **Peterkova V. A.** *Assessment of the physical development of children and adolescents: methodological recommendations.* Russian Association of Endocrinologists. Moscow. 2017. 96 p. (in Russian)
9. **Dedov I. I., Peterkova V. A.** *Diagnosis and treatment of obesity in children and adolescents.* Federal clinical recommendations (protocols) for the treatment of children with endocrine diseases. Moscow, Practice. 2014. Pp. 163-183 (in Russian)
10. **Kositsky G. I.** *Human Physiology,* 3rd ed. revised and additional. Moscow, Medicine. 1985. 544 p. (in Russian)
11. **Burnazyan A. I., Gazenko O. G.** *Handbook of Space Biology and Medicine.* 3rd edition, revised and supplementary. Moscow, Medicine. 1983. 352 p. (in Russian)
12. **Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Novoseltsev B. P., Kononova M. S.** *Rationale for taking into account the complex of human physical parameters when designing ventilation systems.* Housing economy and communal infrastructure. 2022. No. 1(20). Pp. 48-58. (in Russian)

Received 25 March 2022

Для цитирования:

Уточнение тепло-, газовыделений от детей при проектировании систем микроклимата / Д. В. Лобанов, М. С. Кононова, Ю. А. Воробьева, А. А. Мерщев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 38-48. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.004.

FOR CITATION:

Lobanov D. V., Kononova M. S., Vorob'eva Yu. A., Mershchiev A. A. *Clarification of heat and gas emissions from children in the design of microclimate systems.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 38-48. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.004. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.005

УДК 628.83

АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЯ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

В. В. Шичкин, М. Н. Жерлыкина, К. В. Гармонов, С. А. Соловьев

Шичкин Виталий Владимирович, аспирант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(980)544-13-89; e-mail: adiadi23@mail.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: zherlykina@yandex.ru

Гармонов Кирилл Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473) 271-28-92; e-mail: garmonkir@mail.ru

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

Проанализирована актуальность строительства общественных зданий многофункционального назначения с помещениями большого объема. Приведено описание системы адаптивной вентиляции и отличительные особенности ее функционирования. На примере реально существующего многоцелевого концертного зала в городе Воронеже запроектирована вентиляционная установка для многозональной общеобменной вентиляции воздуха с блокированием кондиционеров для взаимозаменяемости. Определена стоимость вентиляционного оборудования системы адаптивной вентиляции. Выполнено технико-экономическое сравнение системы адаптивной и традиционной системы вентиляции. Представлено описание режимов работы и приведены затраты электроэнергии на их реализацию в летний период. Определены затраты электрической энергии в летние месяцы в период 2019...2021 года, исходя из предельных уровней регулируемых цен на электрическую энергию. Установлена экономия электрической энергии при эксплуатации новой системы, которая составила при работе адаптивной системы вентиляции по сравнению с традиционными системами до 50 % при температурах наружного воздуха выше 35 °С, при нормируемых параметрах наружного воздуха энергосбережение при внедрении новой системы составило более 15 %.

Ключевые слова: вентиляционная установка; адаптивная вентиляция; рекуперация; помещения большого объема; многоцелевое помещение; температура воздуха.

В настоящее время большую популярность получило строительство общественных зданий, помещения которых имеют большие объемы. Совершенствование современных зданий заключается в возможности эксплуатации помещения для различных назначений, что достигается путем модернизации архитектурно-планировочных решений. Наиболее рациональными методами являются изменение объема помещения и регулирование режимов работы системы вентиляции в строгом соответствии с потребностями для создания и автоматического поддержания нормируемых параметров микроклимата в рабочей зоне.

Следует отметить, что посещение людьми многоцелевых помещений напрямую зависит от проведения различного рода мероприятий, сезонности, времени суток и других факторов. Работа традиционной системы вентиляции в трансформируемых помещениях больших объемов является неэффективной. При максимальном заполнении помещения людьми традиционная система вентиляции не справляется с нагрузкой, а при малом заполнении количество воздуха подается в помещение сверх нормы, что приводит к неоп-

равданным расходам.

При разработке новой системы вентиляции следует учитывать следующие особенности функционирования многоцелевых помещений больших объемов:

- ✓ регулярность посещения, количество людей, распределение посетителей по площади помещения носит вероятностный характер, однако отмечается высокая степень повторяемости заполнения помещений в течение рабочего дня;
- ✓ современные системы автоматизации и регулирования работы системы вентиляции позволяют систематизировать и объединять информацию о состоянии воздушной среды помещения.

Авторами разработана адаптивная многозональная вентиляция воздуха без рециркуляции с блокированием кондиционеров для взаимозаменяемости [2]. Отличительной особенностью системы является ее адаптация к присутствию человека в помещении, при котором учитывается динамика тепломассообменных процессов, происходящих в помещении. В результате происходит формирование требуемых параметров микроклимата с учётом энергосбережения.

Выполнена апробация при проектировании представленной в [2, 3] вентиляционной установки. Исследование выполнено на примере реально существующего многоцелевого концертного зала Event-Hall, расположенного в г. Воронеж, площадь которого составляет 2100 м². Зал предусмотрен на шесть форматов проведения культурно-массовых мероприятий [4]. На рис. 1 представлена вентиляционная установка, работающая в системе адаптивной вентиляции.

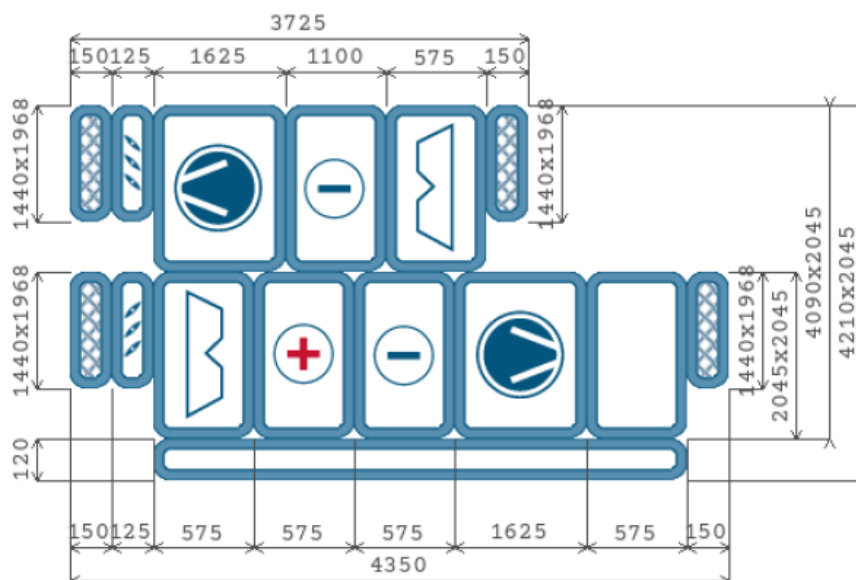


Рис. 1. Схема вентиляционной установки
в системе адаптивной вентиляции многоцелевого помещения большого объема

В соответствии со схемой рис. 1 выполнена опытная модель вентиляционной установки, образец которой представлен на рис. 2.

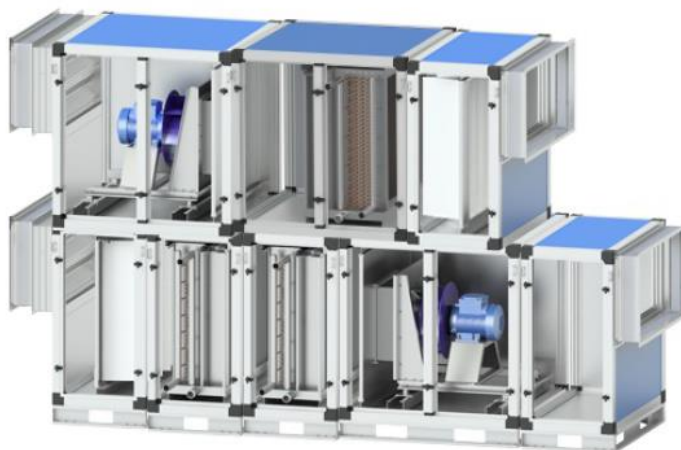


Рис. 2. Опытная модель вентиляционной установки

Для объекта исследования выполнен расчет стоимости вентиляционной установки, работающей традиционным способом (рис. 3, а) и предназначенной для системы адаптивной вентиляции (рис. 3, б).

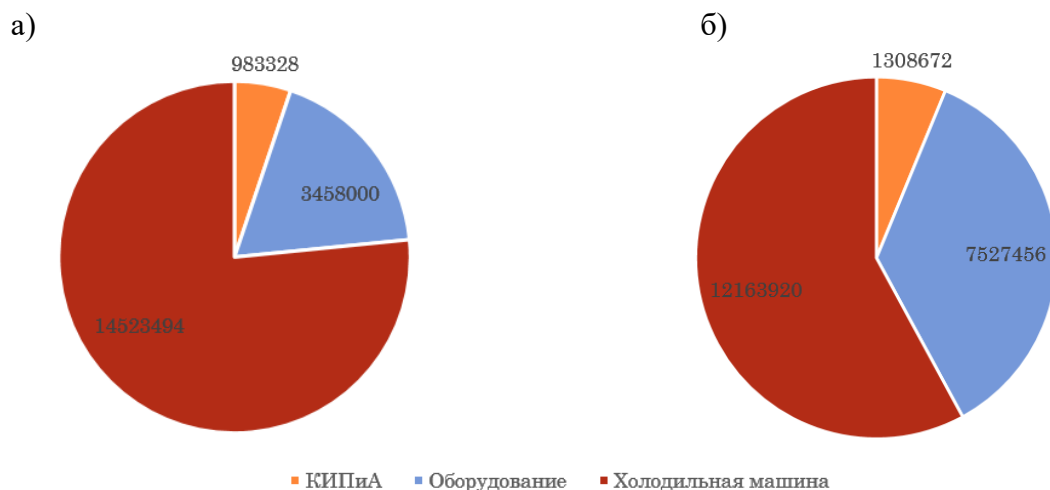


Рис. 3. Распределение стоимости вентиляционного оборудования, руб:

а – для традиционной системы вентиляции; б – для адаптивной системы вентиляции

Таким образом, затраты на оборудование для традиционной системы вентиляции составят 18964822 рублей, а для предлагаемой адаптивной – 21000048 рублей, что дороже на 2035226 рублей. Однако, в силу того, что характеристики холодильной машины для адаптивной вентиляции значительно ниже, затраты на ее приобретение и эксплуатацию меньше.

При определении установочной мощности секции воздухоохлаждения и холодильной машины полученное расчетное значение холодопроизводительности $Q_{\text{хол}}$ рекомендуется увеличить на 15...20 % с целью компенсации тепловых потерь и возможности кратковременного повышения влажности и температуры исходного воздуха [5...11].

Учитывая рекомендации [8] выполнена оценка производительности оборудования и количества электрической энергии, затраченной на работу вентиляционных установок (рис. 4 и рис. 5). Расход воздуха в системе вентиляции варьируется в интервале от 23000 м³/ч до 40000 м³/ч.

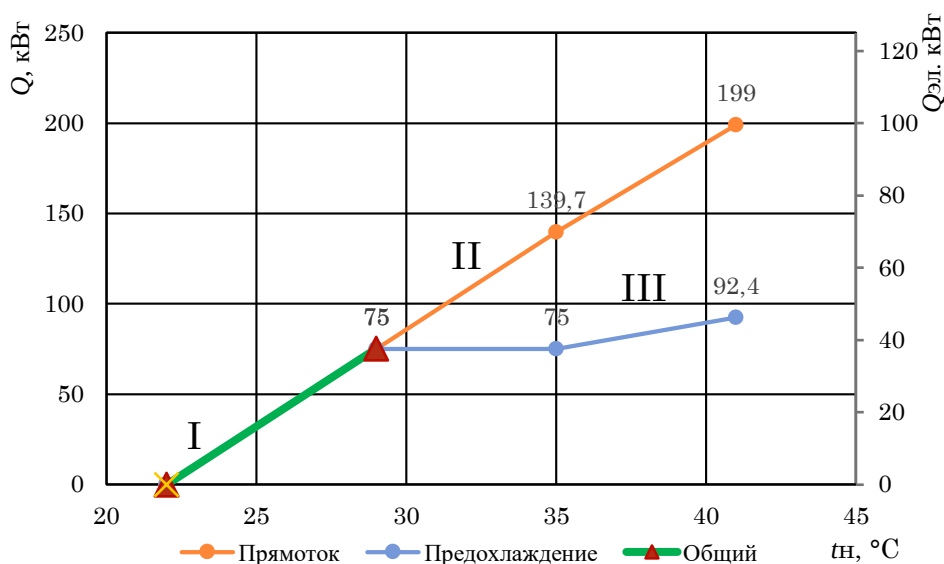


Рис. 4. Зависимость производительности вентиляционной установки и потребляемого количества электрической энергии при минимальных тепlopоступлениях: I-II – традиционная прямоточная система вентиляции; I-III – адаптивная система вентиляции

Режим работы системы адаптивной вентиляции при конфигурации зала – трибуны с полной посадкой людей при максимальный расход воздуха ($L_{\text{возд}}$) составит $23000 \text{ м}^3/\text{ч}$, а температура уходящего воздуха (t_{yx}) будет равна $27 ^\circ\text{C}$. При температуре наружного воздуха (t_n), согласно СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» охлаждение уходящего воздуха t_{yx} из помещения осуществляется за счет теплообменника-охладителя рекуператора второй ступени. При $t_n = 35 ^\circ\text{C}$ дополнительного охлаждения с помощью рекуператора не требуется, в рекуператоре первой ступени охлаждение происходит за счет воздуха из помещения. При t_n равной $41 ^\circ\text{C}$ требуемая мощность на охлаждение t_{yx} с $27 ^\circ\text{C}$ до $25,5 ^\circ\text{C}$ ($I_{yx} = 52 \text{ кДж/кг}$) составит $17,4 \text{ кВт}$.

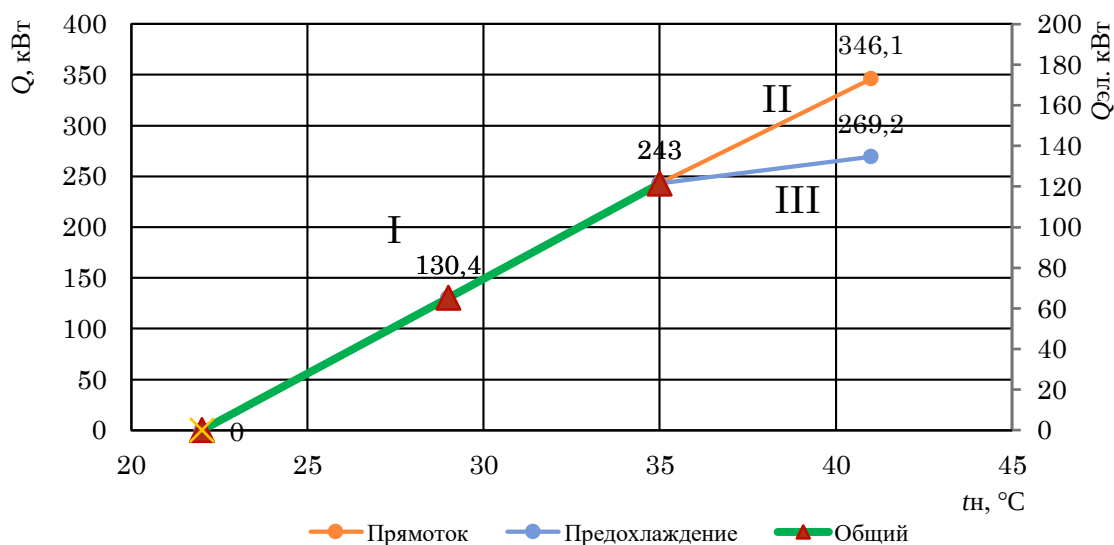


Рис. 5. Зависимость производительности вентиляционной установки и потребляемого количества электрической энергии при максимальных тепlopоступлениях: I-II – традиционная прямоточная система вентиляции; I-III – адаптивная система вентиляции

При конфигурации зала – танцевальный партер трансформируемого помещения, максимальный расход воздуха ($L_{\text{возд}}$) составит 40000 м³/ч, а t_{yx} равна 34,4 °С. В этом случае значительная экономия энергии будет при $t_{\text{н}}$ равной 41 °С за счет теплообмена удаляемого воздуха (34,4 °С) и наружного в рекуператоре первой ступени. Температура воздуха на выходе из него составит 36,6 °С.

Выполнено аналитическое исследование и определены затраты электрической энергии по месяцам в случае применения традиционной и адаптивной вентиляции, исходя из предельных уровней нерегулируемых цен на электрическую энергию, поставляемую ПАО «ТНС Энерго Воронеж» потребителям в 2019, 2020 и 2021 годах. Результаты расчета представлены на рис. 6, рис. 7, рис. 8.

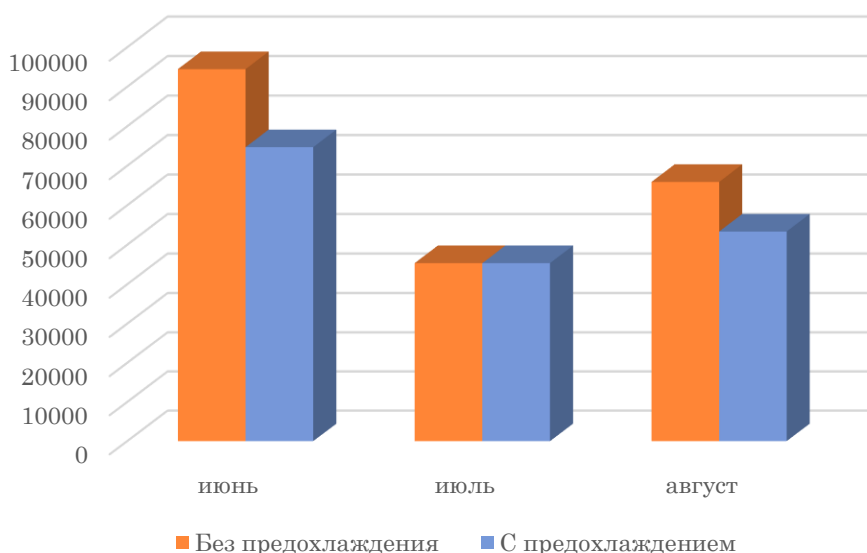


Рис. 6. Сравнительный анализ затрат на электрическую энергию при работе системы вентиляции в летние месяцы 2019 года

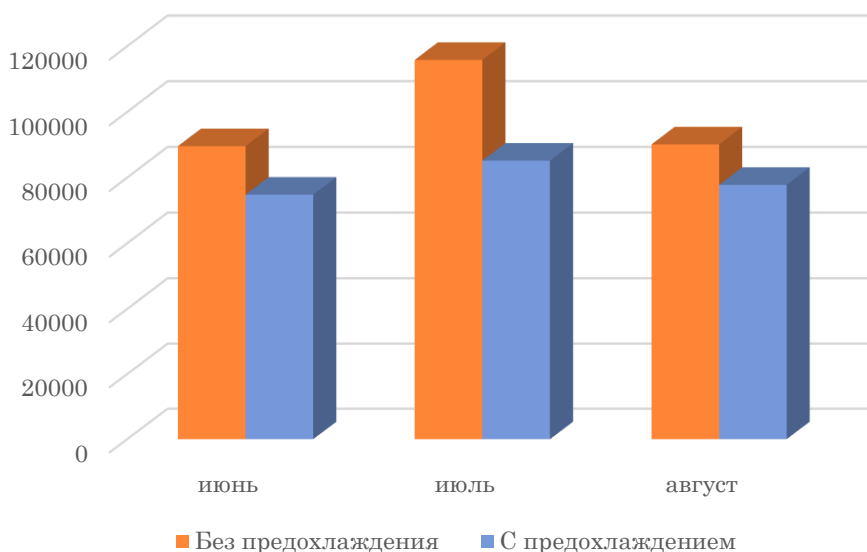


Рис. 7. Сравнительный анализ затрат на электрическую энергию при работе системы вентиляции в летние месяцы 2020 года

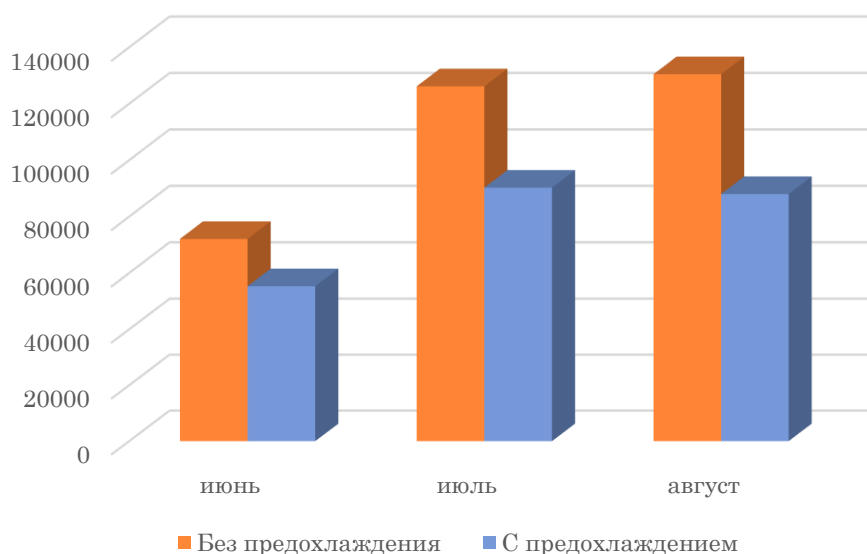


Рис. 8. Сравнительный анализ затрат на электрическую энергию при работе системы вентиляции в летние месяцы 2021 года

Таким образом, в летний период при работе адаптивной системы вентиляции по сравнению с традиционными системами возможно обеспечить экономию электрической энергии до 50 % при температурах наружного воздуха выше 35 °С. При нормируемых параметрах наружного воздуха энергосбережение при внедрении новой системы составило более 15 %.

Заключение.

Разработана адаптивная вентиляция многофункционального помещения большого объема общественного здания. На примере многоцелевого концертного зала в городе Воронеже запроектирована вентиляционная установка для многозональной общеобменной вентиляции воздуха с блокированием кондиционеров для взаимозаменяемости. Определена стоимость нового оборудования и выполнена технико-экономическая оценка по сравнению с традиционными решениями.

Представлено описание режимов работы адаптивной и традиционной системы вентиляции и приведены затраты электроэнергии на их реализацию в летний период.

Определены затраты электрической энергии по месяцам в период 2019...2021 года в случае применения традиционной и адаптивной вентиляции, исходя из предельных уровней нерегулируемых цен на электрическую энергию. Установлена значительная экономия электрической энергии при эксплуатации новой системы, подтверждающая целесообразность принятого решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серых, П. Ю. Моделирование адаптивной системы вентиляции в помещениях общественных зданий большого объема : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.23.03 / П. Ю. Серых ; Московский. гос. строит. ун-т. – М., 2009. – 21 с.
2. Шичкин, В. В. Разработка адаптивной вентиляции многофункциональных помещений больших объемов общественных зданий / В. В. Шичкин, М. Н. Жерлыкина, С. А. Яременко, С. А. Соловьев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 4(19). – С. 19-29. – DOI 10.36622/VSTU.2021.19.4.002.

3. **Жерлыкина, М. Н.** Обеспечение энергосбережения СКВ предприятий общественного питания / М. Н. Жерлыкина, Т. В. Щукина, Е. И. Лобов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 3(6). – С. 34-42.
4. **Шичкин В. В.** Обоснование применения рекуперации теплоты вентиляционного воздуха при климатизации универсальных быстротрансформирующихся зданий / В. В. Шичкин, М. Н. Жерлыкина, С.А. Яременко, С. А. Соловьев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 1(12). – С. 34-42.
5. **Мерщев, А. А.** Рекуперация тепла в здании / А. А. Мерщев, И. П. Мерщева // Инженерные системы и сооружения. – 2013. – № 4. – С. 16-21.
6. **Свердлов, А. В.** Современные технологии рекуперации тепла в климатическом оборудовании / А. В. Свердлов // АВОК. – 2014. – № 3. – С. 28-30.
7. **Свердлов, А. В.** Температурный расчет системы рекуперации тепла Econet / А. В. Свердлов // АВОК. – 2015. – № 2. – С. 22.
8. **Белова, Е. М.** Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях / Е. М. Белова. – Москва: Евроклимат, 2006. – 640 с.
9. **Богуславский, Л. Д.** Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: справочное пособие / Л. Д. Богуславский [и др.]. – Москва: Стройиздат, 1990. – 624 с.
10. **Жерлыкина, М. Н.** Кондиционирование воздуха и холодоснабжение общественных зданий: учебное пособие / М. Н. Жерлыкина. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2011. – 128 с.
11. **Ливчак, В. И.** О нормах воздухообмена общественных зданий и последствиях их завышения / В. И. Ливчак // АВОК – 2007. – № 6 – С. 4-9.

Поступила в редакцию 28 апреля 2022

APPROBATION OF THE ADAPTIVE VENTILATION SYSTEM IN SPACIOUS PREMISES

V. V. Shichkin, M. N. Zherlykina, K. V. Garmonov, S. A. Solovyov

Vitaly Vladimirovich Shichkin, graduate student at the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(980)544-13-89; e-mail: adyadi23@mail.ru

Mariya 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)271-28-92; e-mail: zherlykina@yandex.ru

Kirill Valer'evich Garmonov, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of hydraulics, water supply and sanitation, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: garmon-kir@mail.ru

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

We analyzed the relevance of construction of multifunctional public buildings with spacious premises. We describe the adaptive ventilation system and the distinctive features of its functioning. Using the example of a real multi-purpose concert hall in the city of Voronezh, we designed a ventilation system for multi-zone general exchange air ventilation with blocking air conditioners for interchangeability. We determined the cost of the ventilation equipment for the adaptive ventilation system. We compared the adaptive and traditional ventilation systems technically and economically. As well, we described operating modes and the electricity costs for their implementation in the summer period. Based on the maximum levels of unregulated prices for electricity, we determined the electricity costs in the summer months of 2019...2021. We noticed electricity savings during the operation of the new system, which amounted to up to 50 % during the operation of the adaptive ventilation system com-

pared to traditional systems at outdoor temperatures of above 35 °C. With normalized outdoor air parameters, energy savings rose to more than 15 % when using the new system.

Keywords: ventilation system; adaptive ventilation; recuperation; spacious premises; multi-purpose premises; equipment; air temperature.

REFERENCES

1. **Serykh P. Yu.** *Modeling of adaptive ventilation system in large-volume public buildings.* Moscow. state. builds. un-T. 2009. 21 p. (in Russian)
2. **Shichkin V. V., Zherlykina M. N., Yaremenko S. A., Solovyov S. A.** *Development of adaptive ventilation in multifunctional large-scale space of public buildings.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 4(19). Pp. 19-29. DOI 10.36622/VSTU.2021.19.4.002. (in Russian)
3. **Zherlykina M. N., Shchukina T. V., Lobov E. I.** *Ensuring energy saving of air conditioning system of public catering enterprises.* Housing and utilities infrastructure. 2018. No. 3(6). Pp. 34-42. (in Russian)
4. **Shichkin V. V., Zherlykina M. N., Yaremenko S. A., Solovyov S. A.** *Justification of use heat recovery ventilation air in the air condition universal fast-transforming buildings.* Housing and utilities infrastructure. 2020. No. 1(12). Pp. 34-42. (in Russian)
5. **Mershchiyev A. A., Mershchiyeva I. P.** *Recovery is warm in Building.* Engineering systems and constructions. 2013. No. 4. Pp. 16-21. (in Russian)
6. **Sverdlov A. V.** *Modern technologies of heat recovery in climatic equipment.* AVOK. 2014. No. 3. Pp. 28-30. (in Russian)
7. **Sverdlov A. V.** *Temperature calculation of heat recovery system Econet.* AVOK. 2015. No. 2. Pp. 22. (in Russian)
8. **Belova E. M.** *Central air conditioning systems in buildings.* Moscow, Euroclimat. 2006. 640 p. (in Russian)
9. **Boguslavsky L. D.** *Energy saving in heat supply, ventilation and air conditioning systems.* Handbook. Moscow, Stroyizdat. 1990. 624 p. (in Russian)
10. **Zherlikina M. N.** *Air conditioning and cooling of public buildings.* Voronezh, Voronezh State Architectural and Construction University. 2011. 124 p. (in Russian)
11. **Livchak V. I.** *On the norms of air exchange in public buildings and the consequences of their overstatement.* AVOK. 2007. No. 6. Pp. 4-9. (in Russian)

Received 28 April 2022

Для цитирования:

Апробация системы адаптивной вентиляции помещения большого объема / В. В. Шичкин, М. Н. Жерлыкина, К. В. Гармонов, С. А. Соловьев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 49-56. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.005.

FOR CITATION:

Shichkin V. V., Zherlykina M. N., Garmonov K. V., Solovyov S. A. *Approbation of the adaptive ventilation system in spacious premises.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 49-56. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.005. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.006

УДК 536.2

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В ТОЛЩЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ МАССИВА ДЕРЕВА

А. А. Мерщев, Р. А. Шепс, М. С. Кононова, С. А. Яременко

Мерщев Александр Александрович, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: sasha_1990@mail.ru

Шепс Роман Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)131-66-01; e-mail: romansheps@yandex.ru

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

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)271-53-21; e-mail: jaremenko83@mail.ru

Рассмотрен вариант математической модели теплопередачи в деревянном ограждении здания. Проанализированы параметры, от которых зависит теплопередача. Рассмотрен вариант трехмерной задачи, основанный на совмещении решения двухмерной зависимости и уравнения однородности. При решении задачи получено распределение температуры в плоской однородной панели и зависимость плотности теплового потока от температурного пятна как функции координаты вдоль холодной поверхности панели. Полученные результаты позволяют утверждать, что при проведении инженерно-технических расчётов применительно к деревянным ограждающим конструкциям, можно пренебрегать некоторыми параметрами.

Ключевые слова: теплопередача; теплопроводность; тепловой поток; теплофизика; энергоэффективность.

В настоящее время применение деревянных материалов в строительстве получило очень широкое применение. Деревянные изделия применяют для внутренней отделки помещения. Из массива дерева изготавливают наружные ограждения зданий, выполняют полы, а также используют в других элементах здания.

В связи с этим особый интерес представляет процесс переноса теплоты в деревянных конструкциях. Необходимо произвести исследование факторов, влияющих на тепловой обмен помещения, которые помогут представить математическую модель, учитывающую теплообмен через поверхности, выполненные из деревянного массива.

Одним из таких факторов является температура поверхностей ограждающих конструкций, в частности пола. Ощущение тепла и холода, исходящего от пола, которое может вызвать дискомфорт, зависит от изолирующих свойств обуви. Верхний и нижний пределы температуры пола, создающие ощущения комфорта, находятся в интервале от 17°C до 29°C согласно [1]. Исследования по определению наиболее комфортных температур и параметров, оказывающих прямое и косвенное влияние, проводятся в ряде ведущих технических университетах мира и возможно, в будущем, приведут к разработке рациональных критериев.

Для человека без обуви картина более определенная, так как чувство холода или боли зависит от коэффициента контакта, который зависит от свойств материала пола – теплопроводности, плотности и теплоемкости. Чем меньше коэффициент контакта, тем больше диапазон комфортных температур поверхности тела. Для дубового покрытия данный коэффи-

циент равен 8, для соснового покрытия 4,7, а для покрытия из пробкового дерева 2,3 [2].

Так же влияние на теплообмен помещения оказывает распространение теплового потока в толще ограждающей конструкции. На данном факторе следует остановиться более подробно и представить его в виде трехмерной модели, чтобы отобразить распределение температуры поперек ограждений и в их толще.

Большая часть теплофизических расчетов зданий проводится в рамках одномерных [2, 3] или двумерных стационарных и нестационарных моделей [4...11]. Для определения точности расчетов в рамках одномерной модели, рассмотрим точное решение двумерной задачи о распространении тепла в однородной плоской панели толщиной L . Температура на одной поверхности панели с координатой $y = 0$ поддерживается постоянной и равной T_0 , а на другой поверхности с координатой $y = L$ она отлична от T_0 только на конечном интервале $0 < x < A$, где равна T . Трехмерная реализация такой двумерной постановки задачи означает, что область повышенной температуры на одной стороне панели имеет вид длинной полосы с постоянной шириной A .

Производя замены переменных $y \rightarrow y\pi/L$, $x \rightarrow x\pi/L$, $u(x,y) = (T(x,y) - T_0)/T$, приведем задачу о распространения пятна нагрева к решению задачи Дирихле. Для двумерного уравнения Лапласа в новых переменных:

$$\Delta u = 0, \quad (1)$$

в диапазоне $0 < y < \pi$ при ступенчатых краевых условиях:

$$u|_{y=0} = \Theta(x), \quad (2)$$

$$u|_{y=\pi} = 0, \quad (3)$$

решение имеет вид [12]:

$$u(x,y) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \arctg \frac{e^{-x} - \cos y}{\sin y}. \quad (4)$$

Графическое представление решения уравнения (4) дано на рис. 1. Из рисунка хорошо видна переходная область между холодной частью панели и пространством линейного распределения температуры поперек панели. Координата y на рис.1 отсчитывается в направлении от нагретого участка к холодной поверхности. Координата x отсчитывается вдоль поверхности панели перпендикулярно полосе нагрева.

Плотность потока тепла определяется градиентам температуры. Вблизи холодной поверхности панели градиент температуры:

$$-\left. \frac{\partial u(x,y)}{\partial y} \right|_{y=\pi} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\sin^2 y - (e^{-x} - \cos y) \cos y}{(e^{-x} - \cos y)^2 + \sin^2 y} \Big|_{y=\pi}. \quad (5)$$

Таким образом, плотность потока тепла на холодной поверхности с учетом переходного слоя описывается зависимостью:

$$q(x) = -\lambda \left. \frac{\partial u(x,y)}{\partial y} \right|_{y=\pi} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \frac{1}{1+e^{-x}}. \quad (6)$$

Интегральный тепловой поток от нагретой полосы шириной a равен:

$$Q = \int_{-\infty}^{\infty} q(x) dx = \frac{\lambda}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{1}{1+e^{-x}} + \frac{1}{1+e^{x-a}} - 1 \right] dx. \quad (7)$$

График подынтегральной функции, показывающий распределение теплового потока, приведен на рис. 2 при $a=20$. Исходное распределение температуры на нагретой стороне поверхности резко обрывается в точках с координатами $x = 0$ и $x = 20$. Проекция теплового потока от этого теплового пятна на противоположной, более холодной, поверхности имеет размытую форму, возникающую в результате распространения тепла в толще панели. Толщина переходного слоя от максимально величины теплового потока к его нулевым значениям сопоставима с толщиной панели.

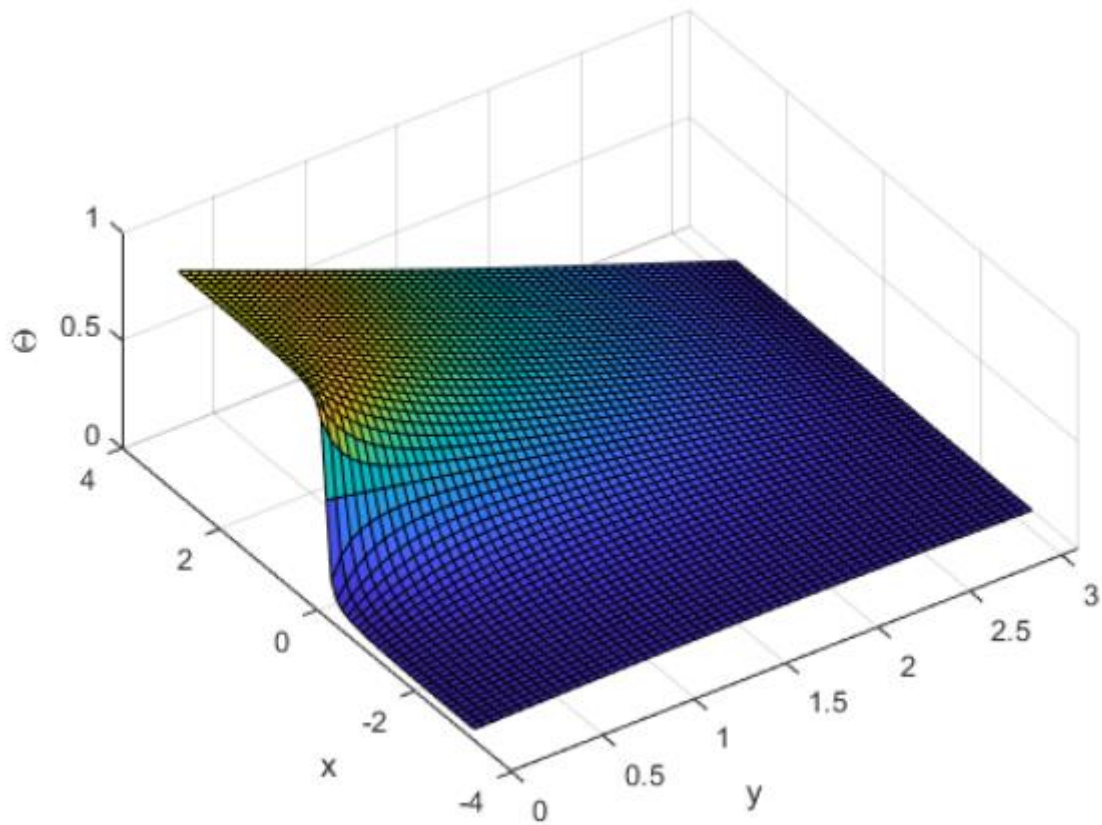


Рис. 1. Распределение температуры в плоской однородной панели

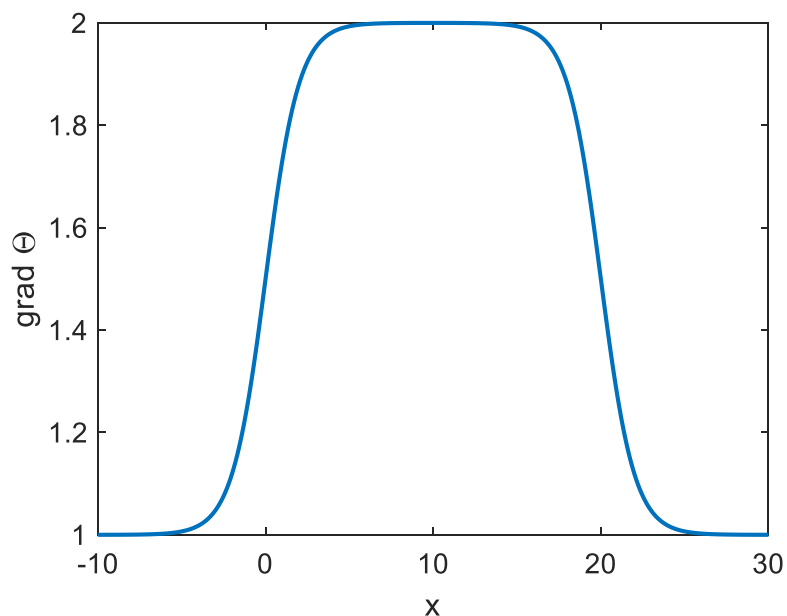


Рис. 2. Плотность теплового потока от температурного пятна как функция координаты вдоль холодной поверхности панели

Интегрируя уравнение (8), получим полный тепловой поток:

$$Q = \frac{\lambda}{\pi} \{ \ln(1 + e^x) + \ln(1 + e^{a-x}) - x + a \} \Big|_{y=\pi} = \frac{\lambda}{\pi} a. \quad (8)$$

Поток, рассчитанный в линейном приближении для распределения температуры внутри панели без учета переходного слоя, совпадает с (8) и также равен:

$$Q = \frac{\lambda}{\pi} a. \quad (9)$$

Таким образом, простое линейное приближение для распределения температуры поперек панели воспроизводит интегральный поток, но не отражает его распределение в переходной области. Такая переходная область неоднородности теплового потока имеет ширину порядка двойной толщины панели стены $2L$.

Заключение.

Получено решение трехмерной задачи распределения температуры в плоской однородной панели, основанное на совмещении двухмерной зависимости и уравнения однородности. Получена зависимость плотности теплового потока от температурного пятна, как функция координаты вдоль холодной поверхности панели.

В связи с тем, что для деревянных домов толщина стен мала по сравнению с аналогичными параметрами для кирпичных стен с таким же тепловым сопротивлением, эффектами неоднородности теплового потока в инженерных расчетах теплового баланса в большинстве случаев можно пренебречь.

Полученные данные будут полезны при моделировании энергонезависимых домов и создания энергоэффективных наружных ограждений с применением материалов из древесины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Nevins, R. G.** The Effect of Floor Surface, temperature on Comfort. Part I: College Age Males, R. G. Nevins, K. B. Michaels, A. M. Feyerherm, // ASHRAE Transactions. – 1964. – Vol. 70.
2. **Lienhard, J. H.** A heat transfer textbook / J. H. Lienhard, J. H. Lienhard. – Cambridge Mass.: Phlogiston Press, 2006. – 749 p.
3. **Lapusan, C.** Development of a Multi-Room Building Thermodynamic Model Using Simscape Library / C. Lapusan, R. Balan, O. Hancu, A. Plesa // Energy Procedia. – Vol. 85. – 2016. – Pp 320-328.
4. **Полежаев, В. И.** Математическое моделирование конвективного теплообмена на основе уравнений Навье-Стокса / В. И. Полежаев, Н. А. Везуб, А. И. Простомолотов. – М.: Наука. – 1987. – 272 с.
5. **Скляр, К. А.** Математическая модель вентиляционных процессов в помещениях сложной конфигурации / К. А. Скляр, В. Н. Мелькумов, А. В. Климентов // Вестник ВГТУ. Сер. Энергетика. – 2006. – Т. 2. – № 6. – С. 53-55.
6. **Мелькумов, В. Н.** Формирование конвективных воздушных потоков при действии в помещении источника тепла / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов, С. П. Павлюков, Р. Н. Кузнецов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. – 2008. – Вып. 12(31). – С. 76-80.
7. **Кузнецов, Г. В.** Естественная конвекция в замкнутом параллелепипеде при наличии локального источника энергии / Г. В. Кузнецов, В. И. Максимов, М. А. Шермет // Прикладная механика и техническая физика. – 2013. – Т. 54. – № 4. – С. 86-95.
8. **Мартюшев, С. Г.** Математическое моделирование ламинарного режима сопряженного конвективного теплообмена в замкнутой полости с источником энергии в условиях поверхностного излучения / С. Г. Мартюшев, М. А. Шермет // Инженерно-физический журнал. – 2013. – Т. 86. – № 1. – С. 107-115.
9. **Rahimi, A.** A comprehensive review on natural convection flow and heat transfer: The most practical geometries for engineering applications / A. Rahimi, A. Dehghan Saei, A. Kasaeipoor, E. Hasani Malekshah // International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow. – 2019. – Vol. 29. – No. 3. – Pp. 834-877. – DOI 10.1108/HFF-06-2018-0272.

10. **Унаспеков, Б. А.** Исследование свободного конвективного движения воздуха в отапливаемом помещении. / Б. А. Унаспеков, К. О. Сабденов, М. Ерзада, С. Ш. Ауелбеков, А. С. Таубалдиева, О. Д. Сейтказиев // Инженерно-физический журнал. – 2020. – Т. 93. – № 1. – С. 170-177.

11. **Zhou, L.** Analysis of Combined Natural Convection and Radiation Heat Transfer in a Partitioned Rectangular Enclosure with Semitransparent Walls / L. Zhou, J. Liu, Q. Huang // Trans. Tianjin Univ. – 2019. – № 25. – Pp. 472-487. – DOI 10.1007/s12209-019-00208-9.

12. **Пикулин, В. П.** Практический курс по уравнениям математической физики / В. П. Пикулин, С. И. Похожаев. – М: МЦНМО, 2004. – 208 с.

Поступила в редакцию 27 апреля 2022

THE SPREAD OF HEAT FLOW IN THE THICKNESS OF THE ENCLOSING STRUCTURE MADE OF SOLID WOOD

A. A. Mershchiev, R. A. Sheps, M. S. Kononova, S. A. Yaremenko

Alexander Alexandrovich Mershchiev, Senior Lecturer at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel: +7(473)271-28-92; e-mail: sasha_1990@mail.ru
Roman Alexandrovich Sheps, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(960)131-66-01; e-mail: romansheps@yandex.ru

Marina Sergeevna Kononova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: kniga18@mail.ru
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)271-53-21; e-mail: jaremenko83@mail.ru

I consider a variant of the mathematical model of heat transfer in a wooden enclosure of a building. I give the parameters on which the heat transfer depends. As well I consider a variant of a three-dimensional task based on the combination of solution of a two-dimensional dependence and homogeneity equation. When solving the problem I obtained the temperature spread in a flat homogeneous panel and the dependence of the heat flow density on the temperature spot as a function of the coordinate along the cold surface of the panel. The obtained results allow us to ignore certain parameters when carrying out engineering and technical calculations of enclosing wooden structures.

Keywords: heat transfer; thermal conductivity; heat flow; thermal physics; energy efficiency.

REFERENCES

1. **Nevins R. G., Michaels K. B., Feyerherm A. M.** *The Effect of Floor Surface, temperature on Comfort*. Part I. College Age Males ASHRAE Transactions. 1964. Vol. 70.
2. **Lienhard J. H., Lienhard J. H.** *A heat transfer textbook*. Cambridge Mass., Phlogiston Press. 2006. 749 p.
3. **Lapusan C., Balan R., Hancu O., Plesa A.** *Development of a Multi-Room Building Thermodynamic Model Using Simscape Library*. Energy Procedia. Vol. 85. 2016. Pp. 320-328.
4. **Polezhaev V. I., Verezub N. A., Prostomolotov A. I.** *Mathematical modeling of convective heat and mass transfer based on Navier-Stokes equations*. Moscow, Nauka. 1987. 272 p. (in Russian)
5. **Sklyarov K. A., Mel'kumov V. N., Klimentov A. V.** *A Mathematical Model of Ventilation Processes in Complex Configurations*. Vestnik (VGTU). Ser. in Power Engineering. 2006. T. 2. No. 6. Pp. 53-55. (in Russian)

6. **Melkumov V. N., Kuznetsov S. N., Pavlyukov S. P., Kuznetsov R. N.** *Formation of convective air flows under the action of a heat source in the room.* VolgGASU Bulletin. Ser.: Strovoi Arkhit. 2008. Issue 12(31). Pp. 76-80. (in Russian)
7. **Kuznetsov G. V., Maksimov V. I., Sheremet M. A.** *Natural convection in a closed parallelepiped in the presence of a local source of energy.* Applied mechanics and technical physics. 2013. T. 54. No. 4. Pp. 86-95. (in Russian)
8. **Martyushev S. G., Sheremet M. A.** *Mathematical Modelling of the Laminar Regime of Conjugate Convective Heat and Mass Transfer in a Closed Cavity with an Energy Source in Conditions of Surface Radiation.* Journal of Engineering and Physics. 2013. Vol. 86. No. 1. Pp. 107-115. (in Russian)
9. **Rahimi A., Dehghan Saeed A., Kasaeipoor A., Hasani Malekshah E.** *A comprehensive review on natural convection flow and heat transfer: The most practical geometries for engineering applications.* International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow. 2019. Vol. 29. No. 3. Pp. 834-877. DOI 10.1108/HFF-06-2018-0272.
10. **Unaspekov B., Sabdenov K., Erzada M., Auelbekov S., Tauba-Ldieva A., Seitkaziev O.** *Study of free convective air movement in a heated room.* Engineering and Physics Journal. 2020. Vol. 93. No.1. Pp. 170-177. (in Russian)
11. **Zhou L., Liu, J., Huang Q.** *Analysis of Combined Natural Convection and Radiation Heat Transfer in a Partitioned Rectangular Enclosure with Semitransparent Walls.* Trans. Tianjin Univ. 2019. No. 25. Pp. 472-487. DOI 10.1007/s12209-019-00208-9.
12. **Pikulin V. P., Pokhozhaev S. I.** *Practical Course on the Equations of Mathematical Physics.* Moscow, MSCEI. 2004. 208 p. (in Russian)

Received 27 April 2022

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Распространение теплового потока в толще ограждающей конструкции из массива дерева / А. А. Мерциев, Р. А. Шепс, М. С. Кононова, С. А. Яременко // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 57-62. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.006.

FOR CITATION:

Mershchiev A. A., Sheps R. A., Kononova M. S., Yaremenko S. A. *The spread of heat flow in the thickness of the enclosing structure made of solid wood.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 57-62. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.006. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.007

УДК 697.34: 004.42

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАССИРОВКИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Е. А. Копытина, Н. А. Петрикеева, Д. М. Чудинов

Копытина Екатерина Александровна, старший преподаватель кафедры информационных технологий управления, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия, тел.: +7(952)101-72-96; e-mail: zhemkaterina@yandex.ru

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

Чудинов Дмитрий Михайлович, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия, тел.: +7(951)549-19-57; e-mail: dmch_@mail.ru

Для оптимальной трассировки тепловых сетей при реконструкции и новом строительстве предлагаются различные методики и основные критерии оптимизации. Значительно сократить трудоемкие расчеты на стадии проектирования возможно посредством использования различных программно-вычислительных комплексов. Рассмотрен интерфейс программы расчета по оптимизации трассы теплосетей. Программа предназначена для выбора варианта или вариантов трассировки тепловой сети методами экспертных оценок и частичной оптимизации. Приведено описание функциональных возможностей разработанного программного продукта: выбор метода варианта трассировки тепловой сети; выбор критериев оптимизации; ввод исходных данных; ввод термического сопротивления теплоотдачи для каждого диаметра трубы; выбор температур конечных потребителей; просмотр выбранных рассчитанных критериев оптимизации для каждой схемы; выполнение сравнения схем по укрупненным значениям критериев оптимизации при выбранной частичной оптимизации; выполнение сравнения схем по укрупненным значениям критериев оптимизации после осуществления ввода весов критериев при выбранном методе экспертных оценок; построение лепестковой диаграммы. Реализация программной части работы выполнялась на высокоуровневом свободном объектно-ориентированном языке программирования Python.

Ключевые слова: тепловые сети; трассировка; оптимизация; метод экспертных оценок; прикладная программа.

Введение.

Тепловые сети России имеют значительную протяженность в силу климатологических особенностей нашей страны. Это, в свою очередь, ведет к экономическому удорожанию объектов теплоснабжения. К тому же и земляные работы, и дальнейший процесс их эксплуатации с обследованием и ремонтными работами достаточно трудоемки и специфичны. Поэтому вопросы оптимальной трассировки при реконструкции и новом строительстве остаются всегда актуальными [1].

Проблематика оптимальной трассировки рассматривается достаточно часто, при этом предлагаются различные методики и основные критерии оптимизации и анализа [2...4]. Еще на стадии градостроительного анализа проводятся определенные исследования. В результате обзора имеющихся литературных источников актуальным представляется использование методов многокритериальной оптимизации [5...7].

Очевидно, что чем больше подключаемых потребителей, тем более разветвленной должна быть тепловая сеть, а, следовательно, тем более трудоемкими являются расчеты на стадии проектирования. Их можно сократить посредством автоматизации при использова-

нии различных программно-вычислительных комплексов. В то же время программных продуктов для нахождения подобных решений, являющихся удобными, достаточно простыми и наглядными, и описанных в специальной литературе, немного.

Ранее реализация программной части работы выполнялась на высокоуровневом свободном объектно-ориентированном языке программирования Python [8, 9]. В ряде работ также рассматривался вопрос частичной и многокритериальной оптимизации. Так, в [10] рассмотрена задача оптимизации толщины теплоизоляционного слоя теплосети по нескольким критериям. В [9] разработана и представлена оригинальная программа для ЭВМ для трассировки тепловой сети методами многокритериальной оптимизации. Программа предназначена для выбора варианта или нескольких вариантов трассировки тепловой сети методами экспертных оценок и частичной оптимизации. Она представляется достаточно удобной на данном этапе расчетов по оптимизации трассировки. Рассмотрим более подробно интерфейс данной программы.

Рассмотрим некоторые зависимости, которые были выбраны в качестве критериев оптимизации и заложены в данную программу как определяющие. Ввиду ограниченности исходных данных на начальном этапе проектирования ряд величин можно определить по укрупненным характеристикам.

Тепловые потери по тепловой сети можно определить по формуле (1) [8, 9, 10]:

$$q_{т.п} = q \cdot M_{con}, \quad (1)$$

где q – удельные годовые тепловые потери, отнесенные к 1 м² условной материальной характеристики теплосети, Гкал/(год·м²); M_{con} – условная материальная характеристика теплосети, рассчитанная по наружной поверхности изоляции, м².

Зависимость для определения материальной характеристики сети с учетом приведения имеет вид (2):

$$M = \sum_{i=1}^n M_i = \frac{A_d^b}{R_{i,0.19}} \cdot l_i, \quad (2)$$

где A_d^b – поправочный коэффициент; R_i – удельные потери давления, кг/(м²·м); l_i – длина рассматриваемого участка, м; n – количество участков сети, ед.

В качестве критерия надежности может служить обобщенный показатель, определяемый по формуле (3):

$$R_{sys}(t) = \frac{Q(t)}{Q_0} = 1 - \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\Delta Q_i}{Q_0} \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \omega_i} (1 - e^{-\sum \omega_i t}), \quad (3)$$

где $Q(t)$ – математическое ожидание характеристики качества функционирования системы; Q_0 – расчетный расход теплоты, МВт; ΔQ_i – недоподача теплоты, МВт; t – расчетный период, лет; ω_i – параметр потока отказов, 1/год, определяемый как (4):

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n \Delta t} = \frac{m_{cp}(t)}{\Delta t}, \quad (4)$$

где m_i – число отказов, ед.; n – число участков тепловой сети, ед.; Δt – время наблюдения, год; m_{cp} – среднее число отказов, ед.

С помощью величины фактического оборота тепла можно проанализировать величину разветвленности теплосети (5) [8, 9]:

$$z_\phi = \sum z_{\phi i} = \sum (Q_i^p \times l_i), \quad (5)$$

где Q_i^p – расчетная тепловая нагрузка участка сети, Гкал/ч.

Отметим, что некоторые критерии желательно минимизировать в процессе интегральной оптимизации, тогда как значения других критериев, наоборот, должны быть (по возможности) увеличены. Для упрощения обсуждений (при сохранении их общего характера) предлагается заменить значения критерия надежности, например, обратной ей величиной

$$R_{\text{sys}} \rightarrow 1/R_{\text{sys}}$$

(поскольку только этот критерий, в рассматриваемой задаче, необходимо максимизировать). Тогда в процессе оптимизации станет желательным уменьшение всех критериев [8, 12].

Наиболее часто распространенный метод решения транспортных подзадач [8, 12] базируется на решении функции по (6):

$$S = \sum_{k=1}^n x_k p_k, \quad (6)$$

где x_k – параметр оптимальности; p_k – вес параметра.

При этом ключевой проблемой здесь будет определение веса параметра. Его определение принято проводить с помощью экспертных оценок. Как отмечается в работе [8] наиболее целесообразным методом определения веса является метод, базирующийся на поиске относительных частот преобразованных рангов, которые можно представить как

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^m A_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij}}, \quad (7)$$

где A_{ij} – ранг критерия после преобразования; m – число частных критериев оптимизации, ед.

На основе приведенных выше зависимостей решалась задача оптимальной трассировки тепловой сети. В ходе решения поставленной задачи [8, 9] было разработано приложение «Трассировка тепловой сети методами многокритериальной оптимизации», которое содержит следующие модули:

- ✓ Main.py;
- ✓ Choose_form_ui.py;
- ✓ Input_data_form_ui.py;
- ✓ Result_form_ui.py;
- ✓ Temperature_form_ui.py.

Choose_form_ui.py, Input_data_form_ui.py, Result_form_ui.py, Temperature_form_ui.py – конвертированные интерфейсы программы.

В модуле Main.py описана основная логика работы программы. Main.py содержит несколько классов таких как:

1) Класс *Choose_Characteristic()* содержит метод *load_characteristic()*, который служит для выбора пользователем данного программного продукта метода оптимизации и тех характеристик, которые должны быть рассчитаны:

- ✓ материальная характеристика тепловой сети (material characteristic of the heating network, M),
- ✓ - момент тепловой нагрузки (heat load moment, Z),
- ✓ надежность тепловой сети (reliability of the heating network, R),
- ✓ - затрачиваемое время на строительство или реконструкцию (time spent on construction or reconstruction, t),
- ✓ годовые теплопотери (annual heat losses, Q),
- ✓ дисперсия температуры (temperature dispersion, T).

Данный класс взаимодействует с интерфейсом Choose_form.ui, который представлен на рис. 1.

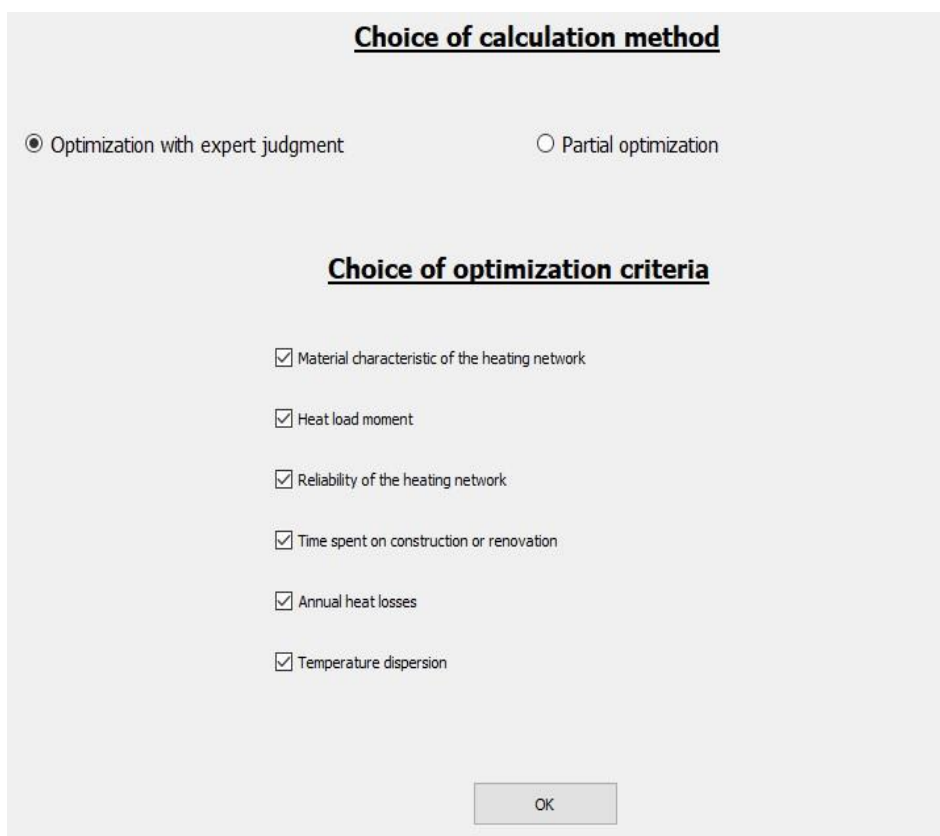


Рис. 1. Форма выбора характеристик и метода оптимизации

2) Класс *Input_Data()* взаимодействует с формой Input_data_form.ui и отвечает за прорисовку элементов ввода данных, необходимых для проведения расчетов по приведенным формулам; обработку ошибок пользовательского ввода; расчёт характеристик, выбранных ранее пользователем, а также генерацию диалогового окна для ввода пользователем термического сопротивления теплоотдачи для каждого диаметра, которое показано на рис. 2. Данная функциональность реализована методами *load_table()* и *load_inp_data()*.

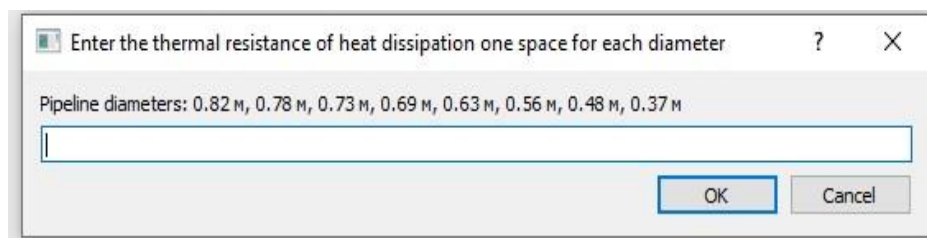


Рис. 2. Входная форма термического сопротивления теплопередачи

На начальном этапе после выбора критериев оптимизации (материальная характеристика, срок строительства, дисперсия температуры и т.д.) вводятся исходные данные согласно предложенной формы и выполняется проверка корректности данной информации. К исходным данным относятся: длины и количество участков теплосети, удельные потери давления, температура грунта, коэффициенты теплопроводности тепловой изоляции и трубопровода, расход теплоносителя и пр. Конфигурация сети отчасти определяется материальной характеристикой тепловой сети.

3) Класс *Temperature()* взаимодействует с формой *Temperature_form.ui* и отвечает за выбор пользователем температур потребителя, как показано на рис. 3.

Рис. 3. Форма выбора и просмотра температуры теплоносителя у потребителя

Распределение поля температур по сети происходит неравномерно. Данная форма позволяет выборочно проанализировать температуру теплоносителя в произвольной точке тепловой сети при исходных данных.

4) Класс *Result()* работает с формой *Result_form.ui* и необходим для вывода значений рассчитанных характеристик в зависимости от выбранного ранее метода оптимизации в трех представлениях, таких как:

- ✓ таблица критериев оптимизации;
- ✓ таблица оптимальных вариантов;
- ✓ графическое представление.

Таблица критериев оптимизации выводит в табличном представлении значения рассчитанных критериев с помощью метода *give_data()*. Таблица оптимальных вариантов позволяет сопоставлять схемы при укрупнении значений. Интерфейс таблицы оптимальных вариантов с использованием метода экспертных оценок представлен на рис. 4.

Рис. 4. Форма вывода результатов применения метода экспертных оценок

Задаются материальная характеристика тепловой сети M , момент тепловой нагрузки Z , надежности тепловой сети R и пр. Данный класс взаимодействует с интерфейсом Choose_form.ui, который представлен на рис. 1. При этом пользователь имеет возможность задать весовые коэффициенты критериев оптимизации (см. форму выбора характеристик, рис. 1).

Интерфейс таблицы оптимальных вариантов с использованием частичной оптимизации в произвольном виде представлен на рис. 5, где значения выбранных пользователем характеристик рассчитываются для каждой схемы в соответствии с алгоритмом программы на основе формул, представленных выше в статье. При этом возможно использование встроенной базы данных некоторых значений или их ручной ввод. В соответствии с полученными результатами пользователь может произвести сравнение схем.

Graphical representation						Optimization Criteria Table						Optimal options table					
M		Z		R(t)		T		M		Z		R(t)		T			
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.118		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.118		Scheme No 1	
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0238		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0238		Scheme No 2	
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		-	-	-	-	-	-	-		Scheme No 3	
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0475		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0475		Scheme No 4	

Рис. 5. Форма вывода результатов применения частичной оптимизации

Графическое представление позволяет задать пользователю номер схемы и посмотреть результат в виде лепестковой диаграммы благодаря реализованному методу plot_graph().

Лепестковая диаграмма является специфическим изображением, которое позволяет отображать данные каждой категории вдоль отдельной оси. Каждая ось начинается в центре рисунка и заканчивается на внешнем круге. Вид лепестковой диаграммы для одного параметра представлен на рис. 6.

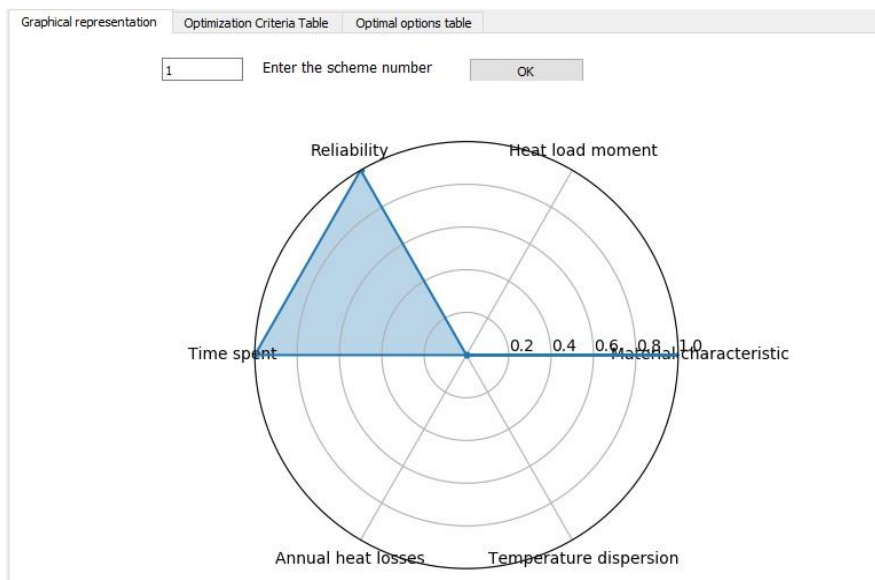


Рис. 6. Вид лепестковой диаграммы одного параметра

На рис. 7 представлены результаты расчета с выводом значений в виде лепестковой диаграммы по нескольким предварительно заданным параметрам. Исходя из интересующих критериев оптимизации или их совокупности можно визуальнo оценить заданные схемы трассировки.

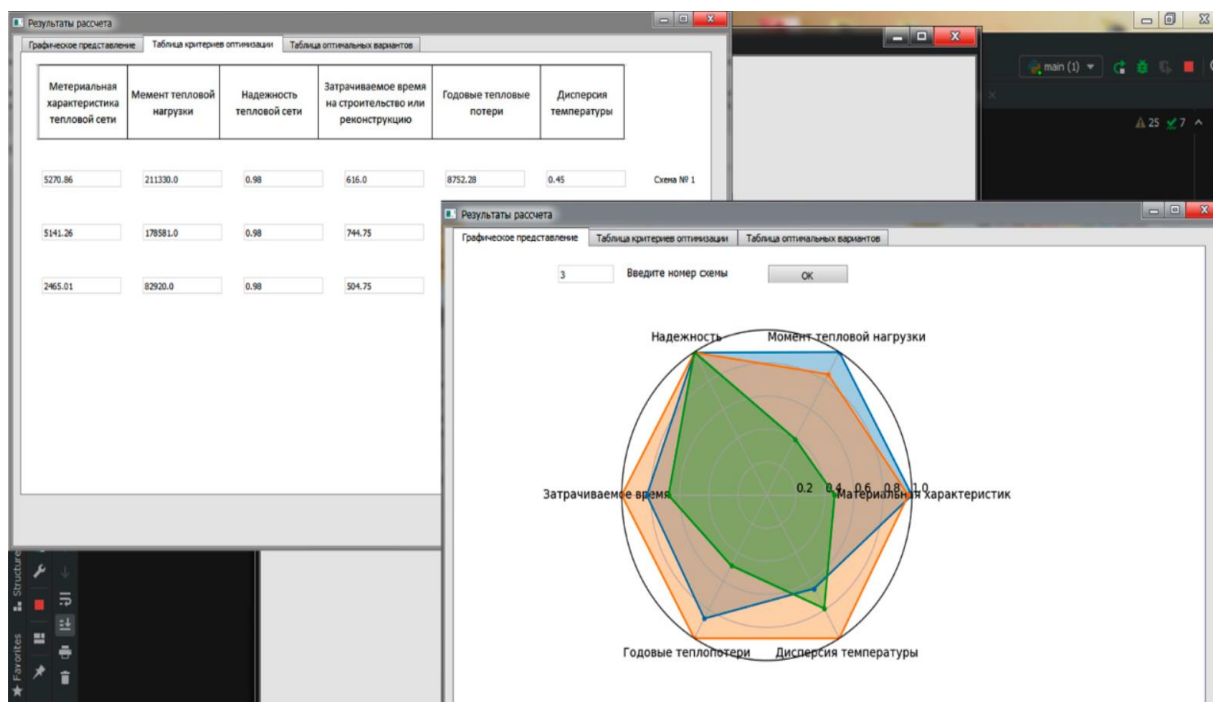


Рис. 7. Внешний вид окна программы с выводом значений в виде лепестковой диаграммы по нескольким предварительно заданным параметрам

У авторов [13, 14] также рассмотрены модели оптимальных систем трубопроводного транспорта методом компьютерного программирования. При этом используется линейное программирование и метод целенаправленного перебора деревьев. В данном случае интерфейс рассматриваемой программы является более простым и наглядным. Данная программа имеет рабочими английский и русский язык (рис. 8).

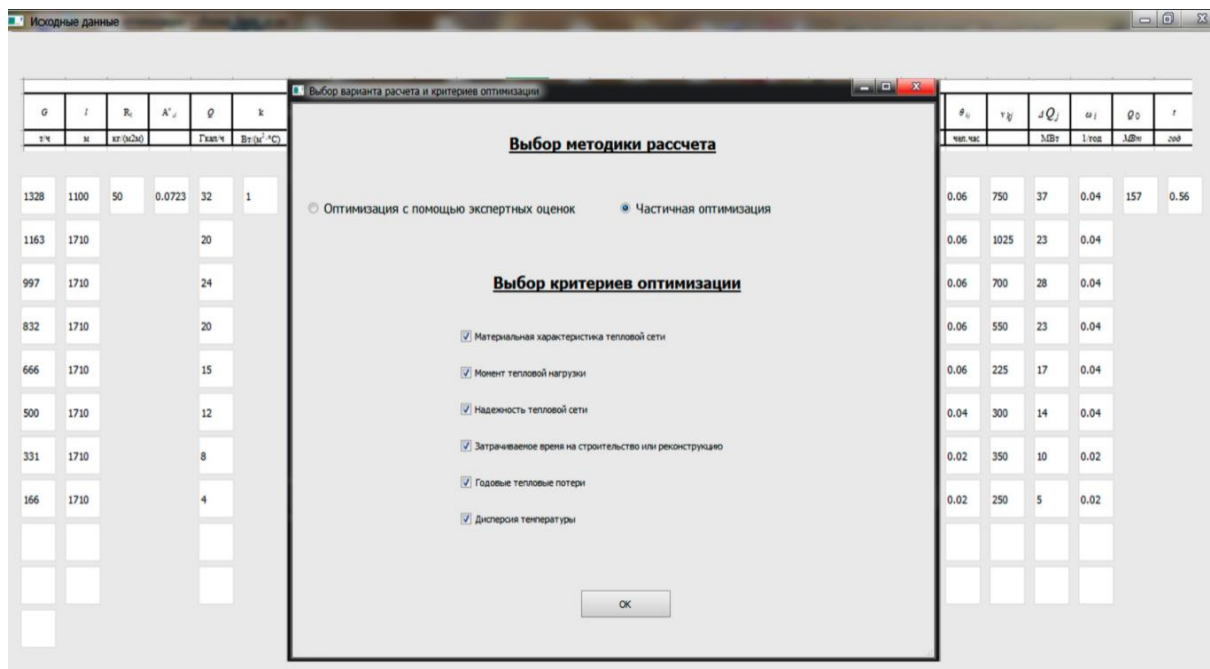


Рис. 8. Общий вид интерфейса программы на русском языке

В связи с особенностями применяемого метода определения весовых значений, наибольшую важность имеет критерий с минимальным значением относительной частоты преобразованных рангов. В итоге можно получить наиболее выгодный вариант трассировки тепловой сети, либо несколько вариантов, если этот метод без экспертных оценок.

Основным недостатком в приведенном методе оптимизации, является субъективный выбор экспертами веса критериев, при этом неверный выбор может привести к ошибочному решению. Этого можно избежать путем применения метода, ограничивающего заведомо невыгодные варианты трассировки, при этом выбирается не один оптимальный вариант, а группу вариантов. Таким образом, убираются те варианты трассы, которые будут невыгодными при любых значениях весов.

Заключение.

Реализация программной части работы выполнялась на высокоуровневом свободном объектно-ориентированном языке программирования Python и предназначена для выбора варианта трассировки тепловой сети методами экспертных оценок и частичной оптимизации.

Предложен интерфейс программы, представлен анализ основных модулей рабочего блока программы, показан пример ее работы в виде рабочих окон и построения лепестковой диаграммы. Это зрительно облегчает и упрощает работу и эксперта, и проектировщика при принятии оптимального решения. Использование разработанного программного продукта позволяет сократить временные и трудовые затраты при проектировании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Стенников, В. А.** Проблемы российского теплоснабжения и пути их решения / В. А. Стенников, А. В. Пеньковский // ЭКО. – 2019. – № 9(543). – С. 48-69.
2. **Мелькумов, В. Н.** Выбор математической модели трасс тепловых сетей / В. Н. Мелькумов, И. С. Кузнецов, В. Н. Кобелев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 2. – С. 31-36.
3. **Сачивка, В. Д.** Модели и методы выбора оптимального способа прокладки подземных инженерных коммуникаций в условиях городской застройки / В. Д. Сачивка // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 12. – С. 359-360.
4. **Каширин, М. А.** Выбор оптимальной трассы тепловых сетей промпредприятия / М. А. Каширин, Д. Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 2(11). – С. 9-12.
5. **Mel'kumov, V. N.** Modelling of structure of engineering networks in territorial planning of the city / V. N. Mel'kumov, S. V. Chujkin, A. M. Papshickij, K. A. Sklyarov // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2015. – № 4(28). – С. 33-40.
6. **Stennikov, V.** Optimization of the effective heat supply radius for the district heating systems / V. Stennikov, E. Mednikova, I. Postnikov, A. Penkovskii // Environmental and Climate Technologies. – 2019. – № 2. – С. 207-221.
7. **Стенников, В. А.** Разработка модифицированного метода многоконтурной оптимизации для определения оптимальных параметров трубопроводных систем / В. А. Стенников, Е. А. Барахтенко, Д. В. Соколов // Промышленная энергетика. – 2018. – № 1. – С. 28-35.
8. **Чуйкина, А. А.** Разработка методики и программы расчета оптимального маршрута трубопроводной трассы системы теплоснабжения / А. А. Чуйкина, О. А. Сотникова // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2021. – № 4(232). – С. 46-48.

9. **Копытина, Е. А., Чуйкина, А. А., Бохан, А. Р.** Трассировка тепловой сети методами многокритериальной оптимизации. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021617373, 13.05.2021. Заявка № 2021614072 от 24.03.2021.
10. **Petrikeeva, N. A.** Version of the Solution of the Problem of Optimization of Thickness of the Heat-Insulation Layer in Heat Supply / N. A. Petrikeeva, D. M. Chudinov, Ye. A. Kopytina, O. A. Sotnikova // Russian journal of building construction and architecture. – 2018. – № 4 (40) – С. 40-49.
11. **Melkumov, V. N.** Solving the multi-criteria optimization problem of heat energy transport / V. N. Melkumov, S. G. Tulskeya, A. A. Chuykina, V. Yu. Dubanin // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – С. 3-10.
12. **Кольцов, Ю. В.** Сравнительный анализ методов оптимизации для решения задачи интервальной оценки потерь электроэнергии / Ю. В. Кольцов, Е. В. Бобошко // Компьютерные исследования и моделирование. – 2013. – № 2. – С. 231-239.
13. **Новицкий, Н. Н.** Трубопроводные системы энергетики: математическое и компьютерное моделирование / Н. Н. Новицкий, М. Г. Сухарев, С. А. Сарданашвили и др. // Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. – Новосибирск, 2014. – С. 48-58.
14. **Стенников, В. А.** Выбор оптимальной схемы тепловой сети методом линейного программирования и целенаправленного перебора деревьев / В. А. Стенников, Е. А. Барахтенко, М. С. Пугачев // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2020. – С. 172-177.

Поступила в редакцию 24 февраля 2022

IMPLEMENTATION OF THE CALCULATION PROGRAM TO OPTIMIZE HEAT NETWORKS ROUTING

E. A. Kopytina, N. A. Petrikeva, D. M. Chudinov

Ekaterina Aleksandrovna Kopytina, Senior Lecturer at the Department of Information Technologies of Management, Voronezh State University, Voronezh, Russia, phone: +7(952)101-72-96; e-mail: zhemkaterina@yandex.ru
Natalya Aleksandrovna Petrikeva, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(952)101-72-96; e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru
Dmitry Mikhailovich Chudinov, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(951)549-19-57; e-mail: dmch_@mail.ru

For optimal tracing of heat networks during reconstruction and new construction, various methods and main optimization criteria are offered. It is possible to significantly reduce labor-intensive calculations at the design stage through the use of various software and computer systems. We consider the interface of the calculation program for optimizing the route of heating networks. The program is designed to select an option or options for routing a heat network using expert assessments and partial optimization. The program has the following functionality: selection of the method for heat network routing option; choice of optimization criteria; input of initial data; input of heat transfer thermal resistance for each pipe diameter; choice of end consumer temperatures; viewing selected calculated optimization criteria for each scheme; performing comparison of schemes according to the aggregated values of the optimization criteria with the selected partial optimization; performing comparison of schemes according to the aggregated values of the optimization criteria after entering the weights of the criteria with the selected method of expert assessments; constructing a radar diagram. The implementation of the software part of the work was carried out in the high-level free object-oriented programming language Python.

Keywords: heat networks; routing; optimization; method of expert assessments; application program.

REFERENCES

1. **Stennikov V. A., Penkovsky A. V.** *Problems of Russian heat supply and ways to solve them*. EKO. 2019. Vol. 9(543). Pp. 48-69. (in Russian)
2. **Melkumov V. N., Kuznetsov I. S., Kobelev V. N.** *Choice of a mathematical model of heating networks routes*. Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture. 2011. Vol. 2. Pp.31-36. (in Russian)
3. **Sachivka V. D.** *Models and methods for choosing the optimal method for laying underground utilities in urban areas*. Mining Information and Analytical Bulletin. 2011. Vol. 12. Pp. 359-360. (in Russian)
4. **Kashirin M. A., Kitaev D. N.** *Selection of the optimal route for industrial enterprise heat networks*. Urban planning. Infrastructure. Communications. 2018. Vol. 2(11). Pp. 9-12. (in Russian)
5. **Mel'kumov V. N., Chujkin S. V., Papshickij A. M., Sklyarov K. A.** *Modeling of structure of engineering networks in territorial planning of the city*. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2015. Vol. 4(28). Pp. 33-40.
6. **Stennikov V., Mednikova E., Postnikov I., Penkovsky A.** *Optimization of the effective heat supply radius for the district heating systems*. Environmental and Climate Technologies. 2019. Vol. 2. Pp. 207-221. (in Russian)
7. **Stennikov V. A., Barakhtenko E. A., Sokolov D. V.** *Development of a modified multi-loop optimization method for determining the optimal parameters of pipeline systems*. Industrial energy. 2018. Vol. 1. Pp. 28-35. (in Russian)
8. **Chuikina A. A., Sotnikova O. A.** *Development of a methodology and program for calculating the optimal route of the pipeline route of the heat supply system*. Sanitary engineering, heating, air conditioning. 2021. Vol. 4(232). Pp. 46-48. (in Russian)
9. **Kopytina E. A., Chuikina A. A., Bokhan A. R.** *Tracing of a heat network using multicriteria optimization methods*. Certificate of registration of the computer program 2021617373, 05/13/2021. Application No. 2021614072. dated 03/24/2021. (in Russian)
10. **Petrikeeveva N. A., Chudinov D. M., Kopytina Ye. A., Sotnikova O. A.** *Version of the solution of the problem of optimization of thickness of the heat-insulation layer in heat supply*. Russian journal of building construction and architecture. 2018. Vol. 4(40) Pp. 40-49.
11. **Melkumov V. N., Tulskeya S. G., Chuykina A. A., Dubanin V. Yu.** *Solving the multi-criteria optimization problem of heat energy transport*. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. Pp. 3-10.
12. **Koltsov Yu. V., Boboshko E. V.** *Comparative analysis of optimization methods for solving the problem of interval estimation of power losses*. Computer Research and Modeling. 2013. Vol. 2. Pp.231-239. (in Russian)
13. **Novitsky N. N., Sukharev M. G., Sardanashvili S. A. et al.** *Pipeline power systems: mathematical and computer modeling*. Institute of Energy Systems. L.A. Melentiev SB RAS. Novosibirsk. 2014. Pp. 48-58. (in Russian)
14. **Stennikov V. A., Barakhtenko E. A., Pugachev M. S.** *Selection of the optimal heat network scheme by linear programming and targeted tree enumeration*. Improving the efficiency of production and energy use in Siberia: materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. 2020. Pp. 172-177. (in Russian)

Received 24 February 2022

Для цитирования:

Копытина, Е. А. Реализация программы расчета для оптимизации трассировки тепловых сетей / Е. А. Копытина, Н. А. Петрикеева, Д. М. Чудинов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 63-73. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.007.

FOR CITATION:

Kopytina E. A., Petrikeva N. A., Chudinov D. M. *Implementation of the calculation program to optimize heat networks routing.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 63-73. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.007. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.008

УДК 504.4.054

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ РОДНИКОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

А. Г. Баскакова, Е. Ю. Иванова

Баскакова Анна Геннадьевна, преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(930)404-66-68, e-mail: geoeecolog@mail.ru

Иванова Екатерина Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(905)657-95-98; e-mail: ivanova.vsu@gmail.com

Представлены результаты лабораторных исследований проб природной воды родников Воронежской области. Исследование базируется на проведении натурных измерений, проведенных осенью 2021 года. Предметом исследования являлось выявление загрязнения взятых проб воды различными поллютантами. Применены методы химического и микробиологического анализа качества воды, в том числе определение общей жесткости, минерализации, общего железа и нитратов, а также микробного числа и коли-индекса. Установлено, что основным химическим загрязнителем природной воды в исследуемых образцах являются нитраты. Большая часть опытов на содержание кишечной палочки (*Escherichia Coli*) характеризует исследуемые источники, как сильнозагрязненные. Установлено превышение общего микробного числа в большинстве проб по нормативам для поверхностных непитьевых вод. Выявлены наиболее загрязненные родники, установлена связь с антропогенными источниками загрязнения. Исследование показало, что 80 % родников не соответствуют требованиям микробной безопасности.

Ключевые слова: качество природной воды; микробиологические показатели; родники; кишечная палочка.

Источники пресной воды в современных условиях подвержены угрозе загрязнения как химическими, так и биологическими компонентами. Родниковые воды не являются исключением, особенно если они находятся вблизи населенных пунктов или объектов сельскохозяйственного назначения. Традиционно считается, что родниковая вода является чистой и пригодной для использования в питьевых целях. Однако многие родники расположены в понижениях местности, куда собираются дождевые воды. В результате воды оказываются значительно загрязнены как химическими соединениями, так и микроорганизмами.

Важным мероприятием, направленным на обеспечение требуемого качества воды, является мониторинг состояния природных источников водоснабжения. Проведение микробиологических исследований позволяет количественно оценить уровень загрязнения природных вод различными поллютантами.

Осенью 2021 года было проведено исследование химических и микробиологических показателей воды родников, расположенных в разных районах Воронежской области.

Цель исследования заключалась в оценке экологического состояния родников на территории Воронежской области по результатам химического и микробиологического анализа воды.

В качестве объекта полевых исследований были выбраны 20 родников, расположенные на территории 9 муниципальных районов Воронежской области (Панинский, Эртильский, Аннинский, Острогожский, Нижнедевицкий, Богучарский, Лискинский, Новохоперский, Таловский). В отобранных пробах определяли санитарно-химические и микробиологические показатели.

Для химического анализа родниковых вод применялись следующие методы: титриметрический (общая жесткость); потенциометрический (pH); кондуктометрический (минерализация); колориметрический (NO_3^- , $\text{Fe}_{\text{общ}}$). Микробиологический анализ проводили с помощью оценки общего микробного числа и определения коли-индекса.

Зачастую выполненный современными средствами химический анализ не показывает наличия токсикантов, однако при использовании биологических тест-объектов в исследуемой среде обнаруживается присутствие этих веществ. Под токсичностью воды в водной токсикологии понимают свойство воды оказывать вредное, патологическое, вплоть до гибели, воздействие на организм [1, 2]. В табл. 1 приведены результаты определения химического состава родников.

Таблица 1

Показатели химического состава воды из родников Воронежской области
по данным исследований, проведенных осенью 2021 г.

№ пробы	Название родника	Место нахождения родника	pH	Минерализация, мг/л	Общая жесткость, мг-экв/л	Железо общее, мг/л	Нитраты, мг/л
1.	Святой источник у с. Красные Холмы	Панинский район, с. Красные Холмы, в 400 м к северу от села	6,88	647	15,39	Отс.	19,88
2.	Святой источник у с. Чернавка	Панинский район, с. Чернавка, в 100 м к востоку от села	6,81	520	10,25	Отс.	45,5
3.	Родник у с. Большой Самовец	Эртильский район, с. Большой Самовец, в 2-5 км к северу от села	7,29	390	5,1	3,33	145,5
4.	Святой источник у с. Моховое	Аннинский район, с. Моховое, в 1-2 км к востоку от села	7,06	794	8,39	Отс.	36,13
5.	Родник у с. Мосоловка	Аннинский район, с. Мосоловка, в 0,5...1 км к северу от села	6,8	567	10,49	Отс.	2,38
6.	Святой источник у с. Васильевка	Аннинский район, с. Васильевка, в 1...2 км к юго-западу от села	7,03	326	7,05	Отс.	26,75
7.	Родник «Живородная лоза»	Острогожский район, г. Острогожск, южная окраина города	6,62	471	10,34	Отс.	119,88
8.	Родник в центре г. Острогожск	Острогожский район, г. Острогожск, в центре города	6,66	577	11,01	Отс.	153,0
9.	Источник Святого Сергея Радонежского	Нижнедевицкий район, у с. Избище, в 1...1,5 км к северо-западу от села	6,57	282	4,80	0,14	Отс.
10.	Источник Святой Казанской Божьей матери	Нижнедевицкий район, с. Турово, в центре села	6,65	352	5,85	0,95	58,0
11.	Родник сан. Белая горка 1	Богучарский район, сан. Белая горка 1	6,59	445	51,5	3,05	1,75
12.	Родник №1 у с. Белая горка 1	Богучарский район, ниже на 400 м с. Белая горка 1 (восточная часть)	6,94	104	12,15	0,08	25,5
13.	Родник № 2 у с. Белая горка 1	Богучарский район, выше 150 м с. Белая горка 1	6,94	723	10,08	0,01	31,13
14.	Родник у с. Давыдовка	Лискинский район, с. Давыдовка (в северной части)	6,66	578	10,50	0,06	180,5
15.	Родник у с. Залужное	Лискинский район, с. Залужное	7,28	293	4,58	0,01	Отс.
16.	Родник у с. Ермоловка	Лискинский район, с. Ермоловка	7,02	448	8,25	0,05	40,5

Окончание табл. 1

№ пробы	Название родника	Место нахождения родника	pH	Минерализация, мг/л	Общая жесткость, мг-экв/л	Железо общее, мг/л	Нитраты, мг/л
17.	Родник у с. Нижний Игорец	Лискинский район, с. Нижний Игорец	6,62	148	2,80	0,03	29,88
18.	Родник у с. Подосиновка	Новохоперский район, с. Подосиновка	7,20	329	7,18	Отс.	59,25
19.	Родник «Святого Николая»	Новохоперский район, с. Русаново	6,52	262	4,3	Отс.	8,0
20.	Родник у с. Нива	Таловский район, с. Нива	7,37	170	17,85	Отс.	17,38

Важным свойством, имеющим большое значение при водопотреблении, является общая жесткость воды. В соответствии с санитарными нормами¹, величина общей жесткости для питьевых вод из источников нецентрализованного водоснабжения, должна быть не более 7,0 ммоль/л. Согласно результатам анализа, больше половины всех отобранных проб 70 % (14 родников) относятся к водам категории «жесткие» и «очень жесткие». Фактическое содержание солей жесткости зафиксировано в интервале от 2,8 до 51,5 ммоль/л. Повышенные значения общей жесткости объясняются фактом природного происхождения [6].

Еще одним показателем антропогенного загрязнения является нитраты. Химический анализ выявил присутствие нитратов в 7 пробах воды, значительное содержание нитратного азота от 45,5 до 180,5 мг/л, которое превышает гигиенические нормативы (ПДК ≤ 45 мг/л) от 1,1 до 4 раз.

В ходе дальнейшего изучения качества родниковой воды было проведено исследование методами микробиологического анализа. Вода является естественной средой обитания многих микроорганизмов, основная масса которых поступает из почвы [3]. Количество микроорганизмов в воде напрямую зависит от наличия в ней питательных веществ. Основным количественным показателем, отражающим общее содержание микроорганизмов в одном литре, является общее микробное число. Оно показывает содержание мезофильных аэробных и, факультативно, анаэробных микроорганизмов [4].

Для оценки общего микробного числа были проведены опыты по посеву колоний микроорганизмов из взятых проб, которые выдерживались на питательной среде при температуре 37 °C [5]. Данный тест является важным интегральным санитарным показателем, который позволяет оценить общую микробную обсемененность водного объекта (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид опытных образцов по определению общего микробного числа (проба №4, Святой источник у с. Моховое)

¹СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Существующие нормативы микробного числа регламентируют общее содержание микроорганизмов в продуктах питания и питьевых водах, однако четких санитарно-гигиенических норм для объектов окружающей среды не разработано. Показатель микробного числа сильно варьирует в зависимости от типа объекта, его химического состава и других факторов. В природных водах микробное число может достигать 1 000 000 на 1 л, приемлемым уровнем считается значение микробного числа от 10 до 1000 на 1л для пресных вод [6].

В проведенном исследовании показатели микробного числа значительно выше допустимых значений даже для поверхностных вод, которые не используются для питьевого водоснабжения (табл. 2). Значения общего микробного числа превышают допустимые значения от 5 до 110 раз для поверхностных непитьевых вод. Особенно высокие значения характерны для проб 2, 4, 14, 16, 17, 18.

Таблица 2

Результаты микробиологического анализа воды из родников
Воронежской области по данным исследований, проведенных осенью 2021 г.

№ пробы	Название родника	Место нахождения родника	Общее микробное число (ОМЧ), КОЕ/100мл	Коли-индекс БГКП (КОЕ/1000мл)
1.	Святой источник у с. Красные Холмы	Панинский район, с. Красные Холмы, в 400 м к северу от села	700	9000
2.	Святой источник у с. Чернавка	Панинский район, с. Чернавка, в 100 м к востоку от села	9600	0
3.	Родник у с. Большой Самовец	Эртильский район, с. Большой Самовец, в 2-5 км к северу от села	9300	3000
4.	Святой источник у с. Моховое	Аннинский район, с. Моховое, в 1...2 км к востоку от села	2100	2000
5.	Родник у с. Мосоловка	Аннинский район, с. Мосоловка, в 0,5...1 км к северу от села	900	0
6.	Святой источник у с. Васильевка	Аннинский район, с. Васильевка, в 1...2 км к юго-западу от села	7900	500
7.	Родник «Живоносная лоза»	Острогожский район, г. Острогожск, южная окраина города	1900	1000
8.	Родник в центре г. Острогожск	Острогожский район, г. Острогожск, в центре города	6800	1000
9.	Источник Святого Сергея Радонежского	Нижедевицкий район, у с. Избище, в 1...1,5 км к северо-западу от села	5300	0
10.	Источник Святой Казанской Божьей матери	Нижедевицкий район, с. Турово, в центре села	8900	1000
11.	Родник сан. Белая горка 1	Богучарский район, сан. Белая горка 1	1000	0
12.	Родник №1 у с. Белая горка 1	Богучарский район, ниже на 400 м с. Белая горка 1 (восточная часть)	8500	500
13.	Родник №2 у с. Белая горка 1	Богучарский район, выше 150 м с. Белая горка 1	17700	2500
14.	Родник у с. Давыдовка	Лискинский район, с. Давыдовка (в северной части)	13900	7500
15.	Родник у с. Залужное	Лискинский район, с. Залужное	19600	20500
16.	Родник у с. Ермоловка	Лискинский район, с. Ермоловка	2300	1500
17.	Родник у с. Нижний Икорец	Лискинский район, с. Нижний Икорец	6500	0
18.	Родник у с. Подосиновка	Новохоперский район, с. Подосиновка	4800	1000
19.	Родник «Святого Николая»	Новохоперский район, с. Русаново	17100	2500
20.	Родник у с. Нива	Таловский район, с. Нива	1300	1000

Следует отметить, что в природных водах присутствует большое разнообразие микроорганизмов, многие из которых являются нейтральными по воздействию на организм человека. Поэтому показатель микробного числа не дает точной информации о степени вредности взятых проб.

Более объективными и актуальными являются показатели, позволяющие количественно оценить содержание патогенных микроорганизмов, к числу которых относят группу бактерий кишечной палочки (*Escherichia Coli*) [7].

Штаммы кишечной палочки в разных группах демонстрируют некоторые различия в своих физических и биологических свойствах (например, в их способности утилизировать различные питательные вещества), в фекальных и экологических средах обитания, в которых они встречались, и в их предрасположенности к возникновению болезней [8].

Основная роль *Escherichia Coli* заключается в том, что она выступает в качестве индикатора фекального загрязнения во время мониторинга для проверки микробиологического качества питьевой воды. Проверка качества питьевой воды является фундаментальным аспектом плана обеспечения безопасности питьевой воды от источника до водопроводной воды, который включает в себя мониторинг для подтверждения того, что система в целом соответствует предъявляемым к ней требованиям. *Escherichia Coli* также можно использовать в качестве параметра при оценке исходной воды и во время исследований систем питьевой воды в ответ на корректирующие действия [9].

Присутствие кишечной палочки в воде указывает на фекальное загрязнение и, таким образом, на сильный потенциальный риск для здоровья, независимо от того, наблюдаются ли конкретные патогены (рис. 2).

Коли-индекс – количество кишечных палочек, обнаруживаемое в единице жидкости, почве или твердого вещества [10]. Для определения коли-индекса использовался непосредственный прямой посев исследуемого материала на питательную среду Эндо. После чего чашки Петри инкубировались в термостате при температуре 37 °C на 24 часа. После этого определялось наличие или отсутствие изменений в питательной среде под влиянием роста кишечной палочки и минимальное количество внесенной в среду воды, в котором были обнаружены эти микроорганизмы.

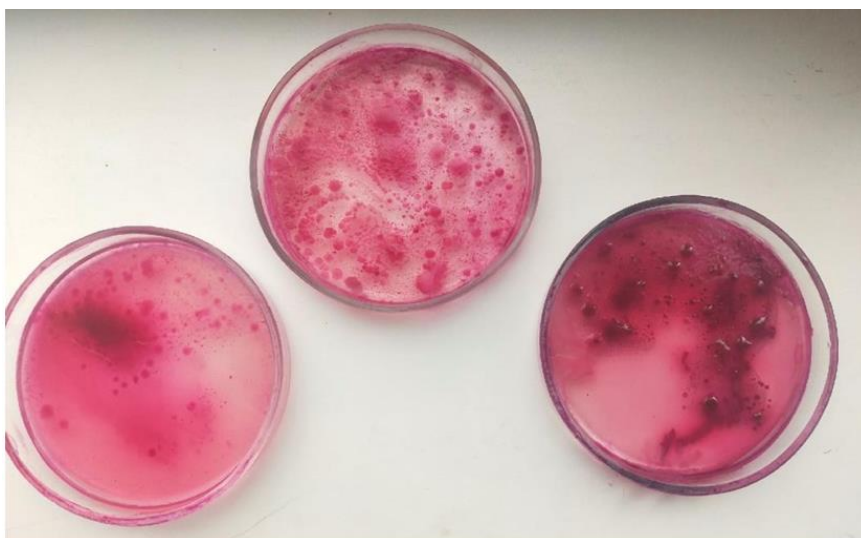


Рис. 2. Внешний вид колоний кишечных палочек (пробы № 7 и № 8 родников Острогожского района)

Вода для купания считается чистой, если коли-индекс находится в пределах от 0 до 10, слабо-загрязненной – от 11 до 100, загрязненной — от 101 до 1000, сильнозагрязненной – от 1001 до 10 000.

В проведенном исследовании все пробы относят к сильнозагрязненным, кроме родника у с. Устье, который можно отнести к загрязненной. Эти значения характерны для вод,

используемых для рекреационных целей, а не для питьевых нужд.

Заключение.

Проведение санитарно-химической и микробиологической оценки качества воды родников Воронежской области позволило установить, что по комплексу показателей лабораторно-аналитических исследований большая часть обследованных родников не соответствует требованиям к качеству питьевой воды нецентрализованного водоснабжения.

Основным химическим загрязнителем питьевой воды являются нитраты, что объясняется наличием рядом с родниками несанкционированных свалок, отходов, утечек канализационных вод.

Выявлены наиболее загрязненные родники, местоположение которых позволяет предположить связь с антропогенными источниками загрязнения. Значения общего микробного числа превышают допустимые значения от 5 до 110 раз по сравнению с допустимыми значениями для поверхностных непитьевых вод.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ-а,
проект № 20-05-00779.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Механтьев, И. И.** Риск здоровью населения Воронежской области, обусловленный качеством питьевой воды / И. И. Механтьев // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2020. – № 4(325). – С. 37-42.
2. **Моисеенко, Т. И.** Водная экотоксикология: теоретические принципы и практическое приложение / Т. И. Моисеенко // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. – № 5. – С. 554-565.
3. **Боева, А. С.** Оценка экологических рисков для здоровья населения Воронежской области вследствие загрязнения источников питьевого водоснабжения / А. С. Боева, Т. И. Прожорина, А. Г. Баскакова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 5. – С. 62-74.
4. **Биотестирование и водная токсикология:** методические указания / сост. Е. В. Рябухина, Е. М. Фомичева; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2012. – 56 с.
5. **Алешня, В. В.** Оценка качества воды водохранилищ по микробиологическим показателям / В. В. Алешня и др. // Региональные проблемы гигиены окружающей среды и здоровья населения: науч. тр. федер. науч. центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана. – Ростов-н/Д., 2002. – Вып. 17. – С. 37-39.
6. **Rose, J. B.** Microbial quality and persistence of enteric pathogens in gray water from various household sources / J.B. Rose, G.-S. Sun, C.P. Gerba, N.A. Sinclair // Water Res. – 1991. – Vol. 35. – P. 37-42.
7. **Савилов, Е. Д.** Условно-патогенные микроорганизмы в водных экосистемах Восточной Сибири и их роль в оценке качества вод / Е. Д. Савилов, Л. М. Мамонтова, Е. В. Анганова, В. А. Астафьев // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2008. – Т. 28. – №1. – С. 47-51.
8. **Gerba, C. P.** Assessment of Enteric Pathogen Shedding by Bathers during Recreational Activity and its Impact on Water Quality / C.P. Gerba // Quantitative Micro-biology. – 2000. – Vol. 2 – Pp. 55-68.
9. **Butler G. C.** Development in Ecotoxicology // Ecological Bull. – 1984. – Vol. 36. – Pp. 9-2.
10. **Маслова, М. О.** Оценка уровня микробного загрязнения поверхностных природных вод рекреационных зон Воронежской агломерации / М. О. Маслова, Е. Ю. Иванова //

Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2016. – № 4. – С. 97-101.

Поступила в редакцию 11 апреля 2022

STUDY OF SOME CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WATER SPRINGS IN THE VORONEZH REGION

A. G. Baskakova, E. Yu. Ivanova

Anna Gennadiyevna Baskakova, Lecturer at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: 89304046668; e-mail: geoecolog@mail.ru

Ekaterina Yurievna Ivanova, Cand. Sc. (Biology), Associate Professor at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: 89056579598, e-mail: ivanova.vsu@gmail.com

We present the results of laboratory studies of samples of natural water from springs in the Voronezh region. The study is based on field measurements in autumn 2021. The article presents the results of laboratory studies based on data on pollution of springs in the Voronezh region with various pollutants. We applied methods of chemical and microbiological analysis of water quality, including the determination of general hardness, mineralization, total iron and nitrates, as well as microbial count and coli index. The main chemical pollutant of drinking water is nitrates. Most of the samples in the study on the content of *E. coli* (*Escherichia Coli*) are classified as highly contaminated. We established an excess of the total microbial number in most samples according to the standards for surface non-potable waters. We identified the most polluted springs, as well as the connection with anthropogenic sources of pollution. The study showed that 80% of springs do not meet microbial safety requirements.

Keywords: natural water quality; microbiological indicators; springs; *Escherichia Coli*.

REFERENCES

1. **Mekhantiev I. I.** *The risk to the health of the population of the Voronezh region, due to the quality of drinking water.* Population health and habitat. 2020. No. 4(325). Pp. 37-42. (in Russian)
2. **Moiseenko T. I.** *Water ecotoxicology: theoretical principles and practical applications.* Water resources. 2008. T. 35. No. 5. Pp. 554-565 (in Russian)
3. **Boeva A. S., Prozhorina T. I., Baskakova A. G.** *Assessment of environmental risks for the health of the population of the Voronezh region due to pollution of drinking water sources.* Water management in Russia: problems, technologies, management. 2021. No. 5. Pp. 62-74. (in Russian)
4. **Ryabukhina E. V., Fomicheva E. M.** *Biotesting and water toxicology: guidelines* Yaroslavl, YarSU. 2012. 56 p. (in Russian)
5. **Aleshnya V.V.** *Assessment of water quality in reservoirs by microbiological indicators.* Regional problems of environmental hygiene and public health: scientific. tr. feder. scientific hygiene center. F.F. Erisman. Rostov-na- D. 2002. Issue. 17. Pp. 37-39. (in Russian)
6. **Rose J. B., Sun G. S., Gerba C. P., Sinclair N. A.** *Microbial quality and persistence of enteric pathogens in graywater from various household sources.* Water Res. 1991. Vol. 35. Pp. 37-42.
7. **Savilov E. D.** *Conditionally pathogenic microorganisms in the water ecosystems of Eastern Siberia and their role in assessing the quality of water.* Bulletin of SO RAMS. 2008. 129(1). Pp 47-51. (in Russian)

8. **Gerba C. P.** Assessment of Enteric Pathogen Shedding by Bathers during Recreational Activity and its Impact on Water Quality. *Quantitative Microbiology*. 2000. Vol. 2. Pp. 55-68.
9. **Butler G. C.** *Development in Ecotoxicology*. *Ecological Bull.* 1984. Vol. 36. Pp. 9-2.
10. **Maslova M. O., Ivanova E. Yu.** *Assessment of the level of microbial pollution of surface natural waters of recreational areas of the Voronezh agglomeration*. *Bulletin of the Voronezh State University. Series Geography. Geoecology*. 2016. No. 4. Pp. 97-101. (in Russian)

Received 11 April 2022

Для цитирования:

Баскакова, А. Г. Исследование некоторых химических и микробиологических характеристик воды родников Воронежской области / А. Г. Баскакова, Е. Ю. Иванова // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. – 2022. – № 2(21). – С. 74-81. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.008.

FOR CITATION:

Baskakova A. G., Ivanova E. Yu. *Study of some chemical and microbiological characteristics of water springs in the Voronezh region*. *Housing and utilities infrastructure*. 2022. No. 2(21). Pp. 74-81. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.008. (in Russian)

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

CITY. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.009

УДК 711.5: 528.8.04

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ГРАНИЦ ГОРОДА ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Б. А. Попов, Н. Б. Хахулина, Н. А. Драпалюк

Попов Борис Алексеевич, канд. с-х. наук, доцент кафедры кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(915)547-27-94; e-mail: b.p.geo@yandex.ru

Хахулина Надежда Борисовна, канд. техн. наук, доцент кафедры кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(905)654-09-93; e-mail: hahulina@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

В статье рассматривается комплексный подход к анализу и оценке городской территории с точки зрения функционального зонирования городов с использованием методов дистанционного зондирования. Определены принципы ведения мониторинга городских территорий. Обозначены задачи, которые необходимо решить для сбора комплексной дистанционной информации о городских территориях. Выявлены наиболее перспективные методы сбора комплексной информации о городской среде. Приведены примеры результатов сбора информации современными методами дистанционного зондирования. Обозначены преимущества использования представленных технологий для комплексного анализа и оценки застроенных территорий. Внесены предложения по разработке методики комплексного районирования городских территорий по совместным материалам наземного и дистанционного зондирования. Перечислены условия, которые необходимо обеспечить для эффективного использования комплексной информации, полученной с использованием средств дистанционного зондирования. Обосновывается необходимость комплексного подхода к сбору и анализу информации при принятии ряда градоуправленческих и градостроительных решений

Ключевые слова: городская среда; функциональное зонирование; дистанционное зондирование; космические съемочные системы; инфракрасная съемка; лазерное сканирование; георадарная съемка.

Современный город представляет собой целостную, сложно устроенную систему, которая функционирует в тесном взаимодействии с отдельными подсистемами города, разнообразными по архитектуре, хозяйственному использованию и тесно взаимосвязанными между собой. Все подсистемы города постоянно обмениваются между собой и окружающей средой энергией, веществом, информацией. Любые изменения в этой динамичной среде вызывают трансформацию количественных и качественных характеристик других компонентов и земельных ресурсов города. В связи с этим, одним из главных направлений градостроительной деятельности является грамотное функциональное зонирование городских территорий, которое позволяет определить особенности использования земли, ее экологическое состояние и реальную рыночную стоимость, также позволяет эффективно управлять городом и создавать прогноз развития городских территорий.

Очевидно, что к вопросам зонирования городских территорий города нужно подхо-

дить комплексно, как к симбиозу подземных, наземных и надземных составляющих с учетом их многочисленных взаимосвязей. При этом основными принципами ведения мониторинга городских территорий должны быть комплексность, достоверность, точность, оперативность и наглядность получаемой информации, доступность и сопоставимость разнородных данных, а также возможность их автоматизированной обработки.

Традиционные методы сбора информации о городской среде, к сожалению, пока далеки от предъявляемых к ним требований, что связано с динамичностью происходящих процессов и низкой информативностью точечных разновременных натурных измерений, к тому же они почти не учитывают энергетические взаимосвязи отдельных компонентов городской среды. Основной причиной этого является невозможность предоставления комплексной информации о состоянии городской среды на основании только традиционных наземных методов сбора информации, которые не дают полной и однотипной картины всего происходящего в городе. Такая единая картина может быть выявлена только при детальном анализе всего комплекса существующих физических, энергетических, административных и прочих закономерностей и динамики их развития. Исследование состояния городской среды должно включать различные способы фиксации и отображения специфичных явлений города [1...4].

Предлагаемый подход к решению проблемы

Авторы предлагают решить данную проблему путем создания комплексной дистанционной пространственно-информационной системы, которая будет включать комплекс самых современных методов дистанционного сбора и обработки разнообразной информации о городских территориях с возможностью ее реализации в единой цифровой среде.

Возможность дистанционного изучения городской среды основывается на объективно существующих связях между характеристиками (параметрами) городской среды и полем ее отраженного и собственного излучения.

Для сбора комплексной дистанционной информации о городской среде потребуется решить следующие задачи:

- ✓ выявить комплексные факторы внутри- и межландшафтных взаимосвязей городской среды и оценить их взаимное влияние;
- ✓ разработать единую методику автоматизированного контроля динамики природных и антропогенных процессов, происходящих на территории городов;
- ✓ разработать оптимальную форму предоставления комплексной информации, понятную специалистам различных областей;
- ✓ разработать методику прогноза развития городской среды на основе полученной информации.

Прежде всего, для эффективного проектирования и управления городской средой необходимо зонировать территорию города по ее функциональному использованию с учетом энергетических и физических границ, в том числе по степени экологической опасности. При этом одной из неизбежных составляющих оптимального развития городской среды становится геодезическое сопровождение проектирования и управления городом. Необходимо интегрировать геодезическую информацию и многочисленные данные дистанционного зондирования в общее городское информационное пространство, построенное в единой координатно-временной системе и удовлетворяющее единым требованиям.

Результатом зонирования территории города на основе подобной информации станет комплексная карта градостроительной деятельности, отражающая взаимодействие городских структур с характеристиками окружающей среды, обеспечивающей компьютерный анализ и геоинформационную обработку, прогноз развития города и предложения по оптимизации его развития [5, 6].

Наиболее перспективными методами сбора такой комплексной информации являются современные методы дистанционного зондирования.

Современные дистанционные методы сбора информации могут быть использованы для получения новых, уникальных сведений, необходимых для планирования городов и их гармоничного развития с окружающей средой. Подобная информация дает возможность выявить ранее неизвестные стороны взаимодействия городов и промышленных центров с окружающей средой. При этом выявляются разнообразные признаки и особенности окружающей среды, почти не учитываемые в ранее известных классификациях [2...4].

Для решения задачи распознавания признаков и явлений городской среды требуется либо информация о спектральных характеристиках элементов городского ландшафта, либо информация о характерных «тестовых» участках города. Для целого ряда городских территорий связи спектральных характеристики параметров среды достаточно устойчивы и зависят от небольшого числа факторов. Они хорошо изучены. Тем не менее, наблюдаются и многофакторные зависимости, которые могут затруднить выявление и оценку таких взаимосвязей. В этом случае исследование должно проводиться с учетом специально поставленных экспериментов на тестовых (эталонных) участках. Физической основой для них должна стать теория взаимодействия излучения со случайно неоднородными средами.

Современные дистанционные системы зондирования городов

Аэросъемка

Аэросъемка городских территорий может быть выполнена с помощью специальной аппаратуры, установленной на борту летательного аппарата (самолета, вертолета, беспилотного летательного аппарата). Авиационные средства сбора информации обладают высокой информативностью, достоверностью, точностью и оперативностью [7, 8]. Высота зондирования может колебаться от нескольких десятков метров (съемка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)) до десятков километров.

Наиболее распространенным видом аэросъемки является фотосъемка. Это регистрация объектов местности в видимой и ближней инфракрасной зоне спектра в диапазоне 0,4...1,1 мкм (рис. 1).



Рис. 1. Цветной аэрофотоснимок города
[Источник: URL: <https://pxhere.com/ru/photo/1364802>]

Аппаратура для аэрофотосъемки может включать в себя традиционные аналоговые и цифровые фотокамеры. Для фиксации процессов и явлений, происходящих в городской среде, может быть использовано оборудование для выполнения многозональной, спектрметрической, ультрафиолетовой, инфракрасной (тепловой), радиолокационной, телевизионной съемки и лазерного сканирования.

В связи с необходимостью отражения большого числа показателей и стремлением отразить их в наиболее наглядном виде и взаимосвязи друг с другом, решающее значение приобретают аэросъемка городских природно-территориальных комплексов в разных зонах спектра. Это могут быть съемки в видимой и невидимой зонах электромагнитного спектра, включающие инфракрасную, телевизионную, сканерную, радиолокационную и другие виды съемок.

Обработка многозональной космической информации проходит в два этапа. На первом этапе происходит распознавание объекта, на втором – оцениваются его многочисленные характеристики.

Полученные таким образом материалы объективно отражают все происходящие процессы и явления в конкретный момент времени на всей территории города, а периодически повторяемая съемка наглядно показывает динамику происходящих процессов. Аэросъемка города в различных зонах спектра позволяет изучить практически все аспекты воздействия человека на городскую среду и природу и оценить его позитивные и негативные стороны (рис. 2).



Рис. 2. Спектрональные снимки одного участка местности, несущие различную информацию:
а – видимый диапазон; б – ближний инфракрасный спектр; в – в формате NDVI
[Источник: URL: <http://www.fly-photo.ru/giperspektralnaya.html>]

Переход от обычного видимого спектра к инфракрасному позволяет увеличить количество получаемой информации, провести анализ характеристик и происходящих физических процессов в удобной цветовой гамме. Индекс NDVI – это количественный показатель плотности и состояния растительности и является разностью значений отражения в ближнем инфракрасном и красном спектрах, деленной на их сумму. В результате индекс меняется в значениях от -1 до +1, где +1 – это наибольшее значение биомассы, т.е. хорошее состояние, а -1 – угнетенное состояние или отсутствие растительности [Источник: URL: <http://www.fly-photo.ru/giperspektralnaya.html>].

Многозональная аэросъемка позволяет создавать банк данных обо всех спектральных характеристиках городских объектов и территорий, фиксировать их спектральные и энергетические взаимосвязи, регистрировать концентрацию химических примесей в грунте, воздухе и водоемах города.

При необходимости отдельные снимки могут быть смонтированы в фотокарты и фотосхемы с топографической привязкой к опорным точкам с точностью 2...3 мм и точнее.

Воздушное лазерное сканирование

Сканерные изображения создаются на цифровых носителях в результате сканирования местности лазерным лучом, излучаемым специальным авиационным сканером.

Воздушные лазерные сканеры с успехом применяются для крупномасштабного картографирования городских территорий, создания (М 1:500...1:200) и линейных объектов, построения цифровых моделей местности, сложных архитектурных сооружений, мониторинга их состояния, мониторинга объектов сетевого хозяйства города, объектов гидрогра-

фии, растительности; инвентаризации постановки на учет объектов земельно-имущественного комплекса; создания ГИС; технико-экономической экспертизы проектов, кадастра; проектирования и строительства автомобильных и железных дорог.

Одним из современных и высокотехнологичных сканеров для воздушного сканирования городов является сканергиперспектрального типа, предназначенный для дистанционного мониторинга территорий [9]. Сканер работает на основе измерения интенсивности отраженного излучения в заданных видимом или ИК спектральных диапазонах. Полученное изображение содержит информацию и о пространственном положении объекта, и о его многочисленных физико-химических характеристиках, отраженных в спектральных особенностях (рис. 3). Спектрометрия позволяет получить информацию о видах землепользования, состоянии растительности, химическом загрязнении грунтов и водоемов. Спектральная информация, полученная лазерным сканированием, будет иметь решающее значение для автоматической интерпретации данных [9].



Рис. 3. Воздушное лазерное изображение города
[Источник: URL: <https://sovzond.ru/press-center/articles/gis-mapping/5651>]

Тепловая инфракрасная (ИК) съемка

Воздушная ИК съемка основана на выявлении тепловых полей объектов и территорий путем фиксации их теплового излучения с последующим преобразованием в видимое изображение и градацией по излучаемой объектами температуре. Для удобства восприятия информации, светлым тоном на ИК изображении выделяются участки с более высокими температурами, темным тоном – с более низкими, но это условная градация и нет категорического правила, как все будет выглядеть в инфракрасном диапазоне. ИК съемка может проводиться как в дневное, так и в ночное время. Съемка выполняется с помощью тепловизоров, которые преобразуют невидимое ИК-излучение в видимое изображение с помощью электроннолучевых трубок.

Одним из преимуществ ИК изображений заключается в том, что тепловое излучение городских объектов представляется в привычном для человека виде и с высокой точностью.

Второе преимущество ИК изображений заключается в том, что оно создает принципиально новые возможности получения дополнительной информации о городских объектах и территориях, в том числе подземных.

Третьим преимуществом является возможность фиксирования тепловых аномалий города в полной темноте. Так, результаты совместного дешифрирования тепловых и фотографических изображений часто показывают, что контуры объектов на них не совпадают, т.к. ИК изображение несет дополнительную информацию, отраженную в невидимой зоне спектра (рис. 4). На ИК снимке видны тепловые аномалии, не видимые на цветном снимке.

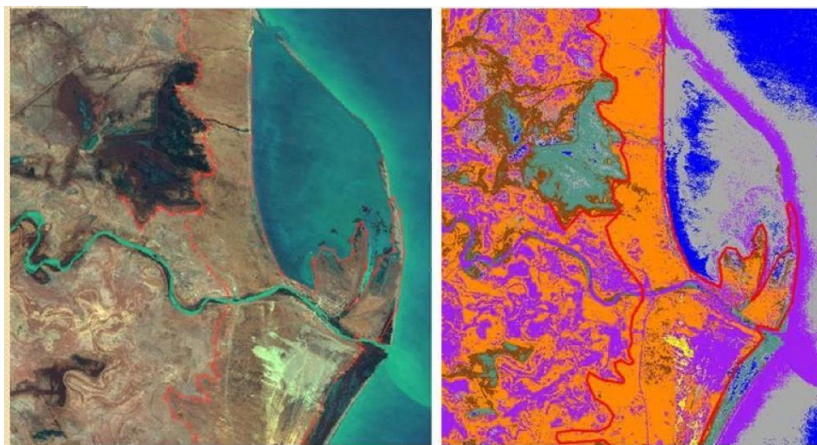


Рис. 4. Цветное и инфракрасное изображение одного участка местности
[Источник: URL: <http://www.myshared.ru/slide/1352847/>]

Четвертое преимущество – это возможность регистрации динамических тепловых процессов, происходящих как с течением времени, так и между отдельными средами.

Важными направлениями использования ИК съемки является изучение снежного покрова в городах, утечек тепла в наземных и подземных трубопроводах и зданиях, оценка качества проектирования схем трубопроводов (рис. 5), анализ состояния сложных инженерных сооружений (гидроэлектростанций, мостов), анализ климатических параметров города и теплового загрязнения водоемов. В традиционных материалах инженерных изысканий подобная информация, как правило, не принимается в расчет, тогда как она может иметь решающее значение при принятии ряда градостроительных решений, например, позволит эффективно использовать финансовые ресурсы на ремонт и замену городских теплосетей.

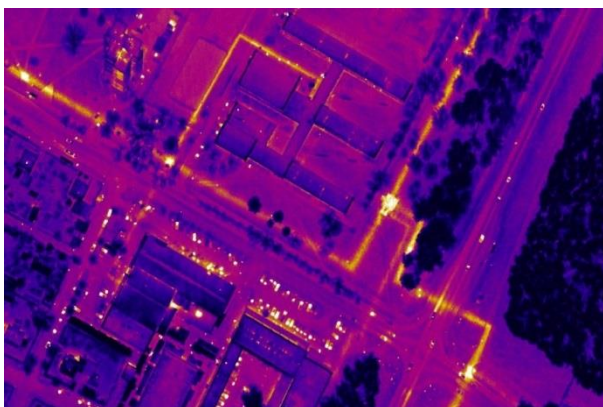


Рис. 5. Пример снимка в инфракрасном диапазоне для обнаружения мест повышенных теплопотерь на тепловой сети

[Источник: URL: <https://chita.bezformata.com/listnews/teplovuyu-aerosyomku-setey-proveli/92940158/?amp=1>]

Важным является тот факт, что тепловизионное обследование городских трубопроводов производится без демонтажа или отключения теплосети. Для мониторинга тепловых аномалий города рекомендуется применять воздушные ИК снимки в спектральных диапазонах: 3...5 мкм и 8...14 мкм.

Воздушные радарные съемки

Радиолокационная съемка очень информативна (рис. 6). Она фиксирует естественное радиоизлучение объектов и искусственный радиосигнал от объектов в диапазоне спектра 0,3...100 см [10].



Рис. 6. Радарный снимок, со спутника TerraSAR-X
[Источник: URL:<https://innoter.com/sputniki/keyhole/>]

Радарные съемки – это всепогодный, эффективный, экономичный и точный способ получения информации о состоянии земной поверхности городов. Пространственное разрешение радарных снимков на сегодняшний день составляет 25см. Радарные съемки позволяют зафиксировать самые незначительные подвижки и деформации грунта, как на небольшом участке местности, так и на территории целого города. Подобная информация может быть полезна при оценке сейсмоопасности территории, контроле состояния трубопроводов, влиянии строящихся объектов на соседние здания и т.п.

С помощью материалов космической и воздушной радарной съемки могут быть решены следующие задачи управления городской средой:

- ✓ высокоточный контроль состояния инфраструктуры города (автомобильных дорог, инженерных коммуникаций);
- ✓ планирование и картографирование городского и транспортного строительства;
- ✓ контроль движения земной поверхности на территории городов;
- ✓ прогнозирование землетрясений и оценка сейсмоопасности территорий;
- ✓ картографирование состояния городской растительности;
- ✓ ликвидация последствий стихийных бедствий;
- ✓ контроль состояния водохранилищ и береговой зоны водоемов;
- ✓ создание высокоточных цифровых моделей рельефа и местности.

Космические съемочные системы

Космические средства дистанционного зондирования по спектру и принципу работы аналогичны авиационным, только съемки выполняются с высот более 150 км. При этом спутник в соответствии с законами небесной механики перемещается по строго фиксированной орбите.

Материалы космических съемок передаются на Землю в виде фотографических материалов, либо по радиоканалам в виде электрических сигналов.

Обычно космическое зондирование земной поверхности выполняется в видимой и ближней инфракрасной зонах спектра. Оно давно и успешно используется для контроля развития городов, целей экологии, фиксации качественного и количественного излучения объектов, процессов и явлений. Основным продуктом космических съемок является фотоснимок или многозональное изображение.

Для выполнения космических съемок в черно-белом и многоспектральном режимах в настоящее время активно используются более 40 оптико-электронных космических аппаратов. Большинство из них фиксируют множество отраженных спектральных зон. Каждая узкая спектральная зона несет большой объем специфичной информации. [11]

Особенно много информации о комплексных характеристиках города может дать использование снимков с комбинаций различных зон электромагнитного спектра.

Однако, необходимо учитывать, что космическим съемкам в видимом, ультрафиолетовом и ИК диапазонах могут мешать рассеивающие и поглощающие свойства атмосферы. Поэтому для космического мониторинга городов практический интерес представляют длины волн от 300 нм до 30 м. Эти материалы могут с успехом применяться для анализа целевого и кадастрового использования земель (рис. 7), градостроительных объектов, определении рыночной стоимости земельных участков, величины налогообложения и арендной платы.



Рис. 7. Космический снимок местности с нанесенными кадастровыми границами земельных участков
[Источник: URL: <https://альянс-гео.рф/dop.-informacziya/poleznaya-informacziya/sluchai-v-kotoryix-neobxodima-sxema-raspolozheniya-zemelnogo-uchastka-na-kadastrovom-plane-territorii>]

Некоторые спутники, например, «Ресурс – П» № 2 позволяют получить материалы с разрешением всего в 1 м (рис. 8).

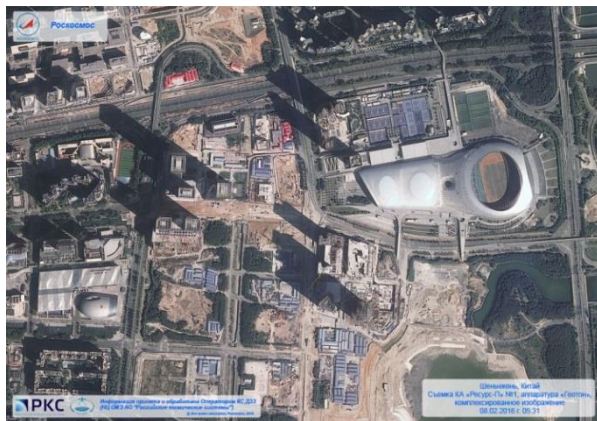


Рис. 8. Космические снимки городов со спутника «Ресурс-П» № 2
[Источник: URL: http://www.ntsomz.ru/news/news_center/resurs-p_images_gallery_201602_nvrp1]

В настоящее время, в зависимости от поставленной цели, для мониторинга городов могут использоваться спутниковые изображения различного разрешения (рис. 9) – от сверхвысокого разрешения (0,3...1м), до низкого (15...100м).

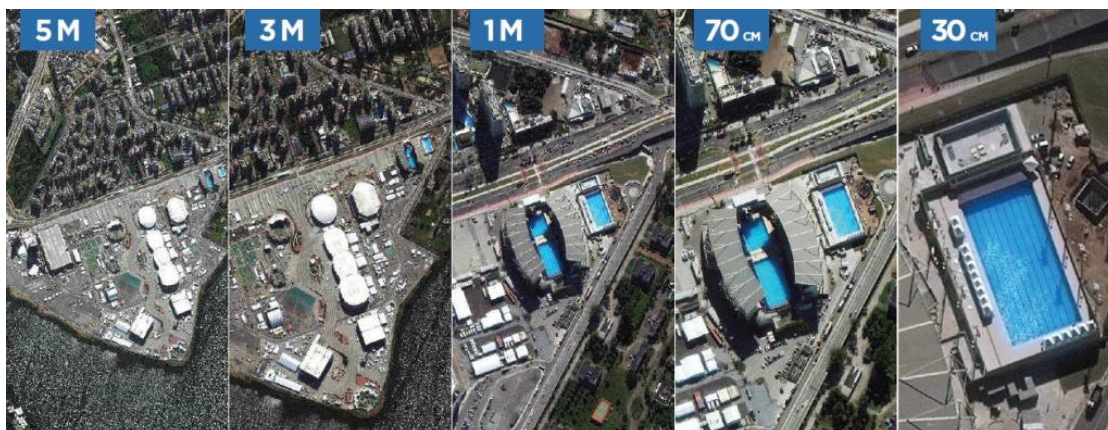


Рис. 9. Космические снимки различного пространственного разрешения
[Источник: URL: <https://innoter.com/articles/vidy-kosmicheskoy-semki/>]

Спутниковые изображения низкого пространственного разрешения могут использоваться для решения экологических и проектных градостроительных задач, изучения климата города, мониторинга снежного покрова, наводнений и пр. Изображения низкого пространственного разрешения получают со спутников «Метеор-М», UK-DMC2, GaoFen-4, Deimos-1.

Наиболее информативными для целей градостроительства могут стать снимки среднего разрешения. Эти снимки являются основой рынка изображений. Они предоставляются бесплатно, имеют множество спектральных каналов с разрешением до 10м и позволяют решать самые разнообразные задачи [12, 13].

К спутникам, поставляющим снимки среднего разрешения, относятся SPOT-2, -4, -5, Landsat-7, IRS-1C/D, -P6 и др.

Космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения могут быть использованы для оперативного мониторинга локальных городских процессов и явлений, корректировки градостроительной документации, производства кадастровых и тематических планов городов, построения цифровых моделей, определения точных границ и площадей парков, водных объектов, застроенных территорий. С их помощью возможно определять положение инженерных коммуникаций, санитарно-защитных зон, создавать планы землепользования, проводить экологические исследования и мониторинг транспортных инфраструктур, оценивать пропускную способность городских дорог.

К спутникам с высоким пространственным разрешением снимков относятся, например, KOMPSAT-2, LandViewer, Cartosat-1, GeoEye-1и др. Указанные спутники фиксируют информацию в широком диапазоне электромагнитного спектра с пространственным разрешением от 0,5 м до 4 м.

Наземные системы дистанционного зондирования

Современная геодезическая пространственно-информационная система обеспечивает получение, анализ, моделирование, визуализацию, хранение, предоставление разнообразных пространственных данных о городской среде.

Наземное и мобильное лазерное сканирование

К числу наиболее эффективных технологий для этих целей можно отнести технологию наземного и мобильного лазерного сканирования. Они характеризуются высокой скоростью, детализацией получаемой информации и полной автоматизацией процесса сбора данных. Метод основан на определении пространственных координат объектов посред-

ством измерения расстояний и направлений лазерного луча, излучаемого сканером. Материалы лазерного сканирования представляют собой массив (облако) точек, с высокой точностью описывающих совокупность геометрических, идентификационных характеристик местности, позволяющих изучать и моделировать пространственные характеристики города (рис. 10). Материалы наземного лазерного сканирования необходимо использовать при разработке методики современного зонирования городских территорий.

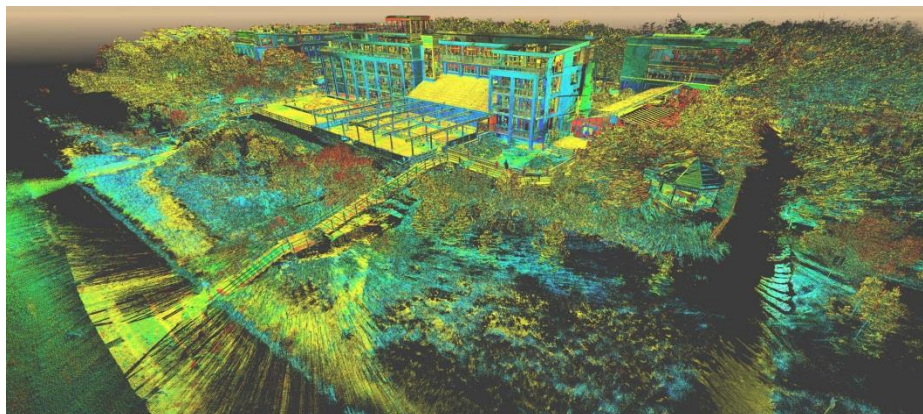


Рис. 10. Пример лазерного сканирования местности

[Источник: URL: <https://zsrf.ru/directway/2020/09/15/trid-skanirovanie-na-sluzhbe-rosreestra>]

Наземная георадарная съемка

Георадар – это универсальный прибор неразрушающего контроля для подповерхностного радиозондирования территорий и объектов.

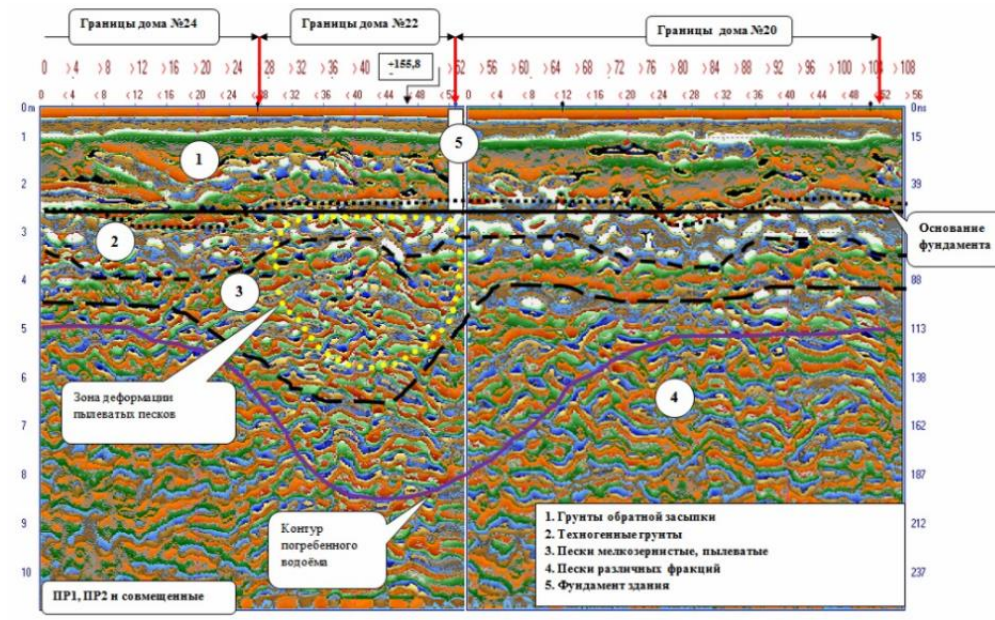


Рис. 11. Результаты георадарного обследования участка местности

[Источник: URL: <http://kit34.ru/page-4.html>]

Он успешно используется для съемки подземных сооружений, определения уровня грунтовых вод, карстовых образований без нарушения целостности грунта, рекультивации земель, экологических исследованиях, обнаружении скрытых мусорных свалок, утечке нефтепродуктов (рис. 11).

С их помощью уже определяют влияние подземных объектов на городскую среду, состояние дна и уровень донных отложений водоемов. Наземное георадарное зондирование

характеризуется высокой скоростью работы на различных глубинах и на различных поверхностях. По данным, полученным при георадарном обследовании возможно построение 3D модели подземных сооружений.

Предложения по разработке методики комплексного районирования городов

Максимальную информацию о городской среде можно получить только при совместном использовании различных методов дистанционного зондирования. Это даст возможность оценить весь комплекс параметров, характеризующих расположение объектов, выявить уникальные данные о точных физических, энергетических и административных границах городских территорий, установить взаимосвязи объектов, процессов и явлений, происходящих в городской среде, обеспечит внедрение полноценных ГИС в управление городской средой.

Очевидно, что разнообразные компоненты городской среды находятся в определенной зависимости между собой. Отдельные замкнутые участки города обладают некоторой однородностью входящих в них компонентов и характеризуются специфическим рисунком изображения.

На основе такой объединенной информации и может происходить тематическое районирование городских территорий по совместным материалам наземного и дистанционного зондирования.

Чтобы эффективно использовать комплексную информацию, полученную дистанционными и наземными методами, необходимо обеспечить:

- ✓ метрологическое единство всех дистанционных и наземных видов измерений (для этого необходимо выполнять взаимную привязку спектральных каналов и энергетических шкал аппаратуры с использованием универсальных эталонов);
- ✓ синхронность по времени получения всех видов информации (особенно это важно при мониторинге динамичных процессов);
- ✓ оперативность доставки дистанционной информации в центры обработки данных.

Сбор и первичную обработку получаемых материалов целесообразно проводить на специально организованных автоматизированных информационно-измерительных центрах. После первичной обработки и процедуры тематически ориентированных преобразований (выделения полезной информации), итоговая информация может передаваться потребителю.

На первом этапе, необходимо выполнить предварительную обработку, синхронизацию и объединение наземных и дистанционных материалов зондирования городской среды и привести их к единому виду. Затем по полученным материалам выделить индикаторы и границы однородных пространственно-территориальных единиц на основании выявленных зависимостей физических, оптических, энергетических характеристик городской среды.

По полученным материалам могут быть составлены обзорные природно-территориальные карты города с указанием освоенных, используемых, преобразованных земель, с оценкой их состояния, рациональности и эффективности использования.

Очевидно, что комплексная информация о городской среде должна быть представлена в едином цифровом виде и удовлетворять требованиям различных организаций. Предлагаемые средства сбора комплексной информации о городской среде позволят всем значимым городским объектам и характеристикам городской среды присвоить цифровые коды, которые послужат основой для объединения административных, географических, физических, энергетических характеристик города в единое геоинформационное пространство и создания комплексной цифровой, многоцелевой топографо-геодезической модели города, доступной и понятной специалистам различных областей.

В противном случае архитекторы, строители, коммунальные и кадастровые службы города по-прежнему будут решать свои ведомственные задачи, используя различные, не

сопоставимые друг с другом методы их решения. Подобная информация не может считаться комплексной и сопоставимой, т.к. всегда имеет разную точность, качество, степень наглядности и информативности, что приводит к отсутствию единого системного подхода в изучении городских территорий, неэффективному финансированию и управлению городской средой.

Заключение.

Проведен аналитический обзор методов дистанционного зондирования, в результате которого определены особенности и возможности применения рассматриваемых методов для выполнения задач функционального зонирования территорий города.

Показана необходимость использования комплекса различных методов, дополняющих друг друга. Сформулированы условия и разработана последовательность действий для создания методики комплексного районирования городов

Подобный подход позволит выполнять анализ особенностей кадастровых и экологических аспектов городов, а также исследовать влияние традиционных и новых видов загрязнений на экологическое состояние города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Попов, Б. А.** Современные проблемы комплексной экологической оценки территорий для целей градостроительства / Б. А. Попов, Н. Б. Хахулина, Т. Б. Харитоновна // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 3(14). – С. 61-70.
2. **Попов, Б. А.** О методике дистанционного мониторинга светового загрязнения городов / Б. А. Попов, Н. Б. Хахулина, Н. А. Драпалюк // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 66-75.
3. **Попов, Б. А.** Фотографическая регистрация звукового загрязнения окружающей среды / Б. А. Попов, О. В. Есенников // Геодезия, кадастр и землеустройство. – Воронеж: ВГАУ, 2001. – С. 42-46.
4. **Попов, Б. А.** Опыт обоснования и разработки использования фотоснимка как метода определения загрязненности атмосферы дымовыми выбросами предприятий / Б. А. Попов, М. Б. Реджепов, Н. Б. Хахулина, Ю. С. Нетребина, Н. И. Самбулов, Н. В. Яковенко // Экология урбанизированных территорий. – 2019. – № 3. – С. 56-64.
5. **Гордеева, К. С.** Источники данных для создания геоинформационных систем: их анализ и обработка / К. С. Гордеева, Н. Б. Хахулина // Студент и наука. – 2019. – № 3. – С. 38-46.
6. **Пузанов, В. В.** Особенности сбора геопространственных данных для создания геопортала с использованием БПЛА на примере г. Мичуринска / В. В. Пузанов, К.А. Марчук, Н. Б. Хахулина // Научная опора Воронежской области: сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. – Воронеж: ВГТУ, 2019. – С. 212-215.
7. **Харитоновна, Т. Б.** К выбору моделей и характеристик БПЛА в производстве геодезических и кадастровых задач / Т. Б. Харитоновна, Н. Б. Хахулина, К. А. Рыжков // Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства: сборник материалов международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2019. – С. 353-359.
8. **Спириденко, Е.** Анализ использования беспилотных летательных аппаратов и программного обеспечения для обработки аэрофотоснимков / Е. Спириденко, Н. Б. Хахулина // Инновационные технологии и технические средства для АПК: сборник материалов международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – Воронеж, 2018. – С. 170-173.

9. **Adão, T.** Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry / T. Adão, Jo. Hruška, L. Pádua, Jo. Bessa, E. Peres, R. Morais, Jo. Jo Sousa // *Remote Sens.* – 2017. – № 9. – DOI:10.3390/rs9111110
10. **Радиолокационные системы:** учебник / В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин [и др.]; под общ. ред. В. П. Бердышева. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – 400 с.
11. **Окатов, М. А.** Справочник технолога-оптика – 2-е изд. – СПб.: Политехника, 2004. – 679 с.
12. **Беленко, В. В.** Экспериментальные исследования типов и динамики застройки по космическим снимкам для картографирования застраиваемых территорий / В. В. Беленко // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка».* – 2018. – Т. 62. – № 1. – С. 52-62. – DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-1-52-62.
13. **Торсунова, О. Ф.** Исследование возможности применения космических снимков для определения границ зон с особыми условиями использования территорий / О. Ф. Торсунова // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий).* – Т. 22. – №. 3. – 2017. – С. 180-193.

Поступила в редакцию 14 марта 2022

FUNCTIONAL ZONING OF THE CITY PHYSICAL BOUNDARIES BASED ON REMOTE SENSING MATERIALS

B. A. Popov, N. B. Khakhulina, N. A. Drapalyuk

Boris A. Popov, Cand. Sc. (Agric.), Associate Professor at the Department of Real Estate Cadastre, Land Management and Geodesy, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(915)547-27-94; e-mail: b.p.geo@yandex.ru

Nadezhda B. Khakhulina, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Real Estate Cadastre, Land Management and Geodesy, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(905)654-09-93; e-mail: hahulina@mail.ru

Natalia A. Drapalyuk, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)241-01-35; e-mail: u00076@vgasu.vrn.ru

The article considers an integrated approach to the analysis and assessment of urban territory from the point of view of functional zoning of cities using remote sensing methods. We defined the principles of monitoring urban areas and outlined the tasks that need to be solved to collect complex remote information about urban areas. As well we have identified the most promising methods of collecting complex information about the urban environment. We give some examples of the results of data collection by modern remote sensing methods. The advantages of using the presented technologies for complex analysis and assessment of built-up areas are outlined. Also we have been made some proposals to develop a methodology for integrated zoning of urban areas based on joint ground and remote sensing materials. We listed the conditions that need to be provided for the effective use of complex information obtained using remote sensing tools. Finally we substantiated the necessity of an integrated approach to the collection and analysis of information when making a number of urban management and urban planning decisions.

Keywords: urban environment; functional zoning; remote sensing; space survey systems; infrared shooting; laser scanning; georadar shooting.

REFERENCES

1. **Popov B. A., Khakhulina N. B., Kharitonova T. B.** *Modern problems of integrated environmental assessment of territories for urban planning purposes.* Housing and communal infrastructure. 2020. No. 3(14). Pp. 61-70. (in Russian)

2. **Popov B. A., Khakhulina N. B., Drapalyuk N. A.** *On the methodology of remote monitoring of light pollution of cities.* Housing and communal infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 66-75. (in Russian)
3. **Popov B. A., Esennikov O. V.** *Photographic registration of sound pollution of the environment.* In the collection: Geodesy, cadastre and land management. Collection of scientific papers. Voronezh State Agrarian University named after K. D. Glinka. Voronezh. 2001. Pp. 42-46. (in Russian)
4. **Popov B. A., Rejepov M. B., Khakhulina N. B., Netrebina Yu. S., Sambulov N. I., Yakovenko N. V.** *Experience in substantiating and developing the use of a photograph as a method for determining atmospheric pollution by smoke emissions of enterprises.* Ecology of urbanized territories. 2019. No. 3. Pp. 56-64. (in Russian)
5. **Gordeeva K. S., Khakhulina N. B.** *Data sources for creating geoinformation systems: their analysis and processing.* Student and science. 2019. No. 3. Pp. 38-46. (in Russian)
6. **Puzanov V. V., Marchuk K. A., Khakhulina N. B.** *Features of geospatial data collection for creating a geoportal using UAVs on the example of Michurinsk.* Scientific support of the Voronezh region. Collection of works of the winners of the competition of research works of students and postgraduates of VSTU in priority areas of science and technology development. Voronezh. 2019. Pp. 212-215. (in Russian)
7. **Kharitonova T. B., Khakhulina N. B., Ryzhkov K. A.** *On the choice of models and characteristics of UAVs in the production of geodetic and cadastral tasks.* Actual problems of land management, cadastre and environmental management. Materials of the I International scientific and Practical conference of the Faculty of Land Management and Cadastre of VGU. 2019. Pp. 353-359. (in Russian)
8. **Spiridenko E., Khakhulina N. B.** *Analysis of the use of unmanned aerial vehicles and software for processing aerial photographs.* Innovative technologies and technical means for the agro-industrial complex. Materials of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists. 2018. Pp. 170-173. (in Russian)
9. **Adão T., Hruška Jo., Pádua L., Bessa Jo., Peres E., Morais R., Sousa Jo. Jo.** *Hyperspectral images: an overview of sensors for UAVs, data processing systems and applications for agriculture and forestry.* Remote Sens. 2017. No. 9. DOI:10.3390/rs9111110 (in Russian)
10. **Berdyshev V. P., Garin E. N., Fomin A. N.** *Radar systems.* Krasnoyarsk, Sib. feder. un-t. 2011. 400 p. (in Russian)
11. **Okatov M. A.** *Handbook of technologist optics.* St. Petersburg, Polytechnic. 2004. 679 p. (in Russian)
12. **Belenko V. V.** *Experimental studies of types and dynamics of buildings based on satellite images for mapping built-up areas.* Izv. universities Geodesy and aerial photography. 2018. Vol. 62. No. 1. Pp. 52-62. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-1-52-62. (in Russian)
13. **Torsunova O. F.** *Investigation of the possibility of using satellite images to determine the boundaries of zones with special conditions for the use of territories.* Bulletin of SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies), Vol. 22. No. 3. 2017. Pp. 180-193. (in Russian)

Received 14 March 2022

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Попов, Б. А. Функциональное зонирование физических границ города по материалам дистанционного зондирования / Б. А. Попов, Н. Б. Хахулина, Н. А. Драпалюк // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 82-95. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.009.

FOR CITATION:

Popov B. A., Khakhulina N. B., Drapalyuk N. A. *Functional zoning of the city physical boundaries based on remote sensing materials.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 82-95. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.009. (in Russian)

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

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.010

УДК 504.054

ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКИХ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

К. В. Гармонов, М. Н. Жерлыкина, А. Р. Макаров, А. С. Жерлицина

Гармонов Кирилл Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: garmonkir@mail.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: zherlykina@yandex.ru

Макаров Артем Русланович, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: am6729382@rambler.ru

Жерлицина Анна Сергеевна, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-52-49; e-mail: anzherl@mail.ru

Обоснована актуальность исследования влияния автозаправочных станций на окружающую среду в условиях городской застройки. Проанализирована нормативная литература, регламентирующая строительство, эксплуатацию АЗС и обеспечение экологической безопасности при выбросе вредных веществ. На основании теоретических, экспериментальных и численных исследований предложена методика оценки экологической безопасности городских АЗС, основанная на многокритериальном анализе факторов, влияющих на распространение вредных веществ от всех источников загрязнения атмосферы, расположенных на территории АЗС, с учетом прилегающей городской застройки. Разработаны мероприятия по повышению экологической безопасности, разделенные на группы: конструктивно-технические, организационно-правовые и планировочно-градостроительные. Выполнена стоимостная оценка реализации мероприятий. Проанализированы ежегодные затраты на плату за негативное воздействие на окружающую среду от АЗС. Выполнена сравнительная экономическая оценка обеспечения экологической безопасности и приведено обоснование необходимости применения мероприятий по снижению уровня негативного воздействия выбросов от АЗС.

Ключевые слова: экологическая безопасность; автозаправочные станции; окружающая среда; вредные вещества; ветровые потоки.

Автозаправочная станция (АЗС) – неотъемлемая часть современного мира, позволяющая использовать транспортное средство, как в городской, так и в сельской местности. АЗС является источником выделения вредных веществ и негативного воздействия на экологию и здоровье человека (рис. 1). Особенно это влияние проявляется от АЗС, расположенных в черте города, где с учетом установившейся застройки и продолжающегося «точечного строительства» не учитывается должным образом движение воздушных потоков, оказывающих основное влияние на распространение вредных веществ от источников загрязнения атмосферы. В современной практике строительства все меньше уделяется внимание движению ветровых потоков и законам аэродинамики, что приводит к образованию большего количества зон аэродинамической тени (застойных зон), в которых происходит накопление вред-

ные вещества, что приводит к превышению ПДК. Существующие автозаправочные станции часто не соответствуют нормам и требованиям по их эксплуатации [1...4].



Рис. 1. Основные источники загрязнения атмосферы на АЗС

Строительство новых автозаправочных станций и эксплуатацию старых должно соответствовать действующим нормам, техническим регламентам и государственным стандартам. Соблюдать экологические нормы необходимо задолго до строительства автозаправочной станции. При проектировании АЗС должны учитываться расстояния до жилых и общественных зданий, рельеф местности, вид грунта, наличие коммуникаций, естественное проветривание и другие факторы. Деятельность АЗС не должна приводить к загрязнению окружающей среды вредными веществами выше допустимых норм.

Выполнение задачи по повышению экологической безопасности АЗС ведет к разработке новых методов и методик по улучшению экологической ситуации и снижению негативного воздействия АЗС на окружающую среду.

На основании теоретических [4...7], экспериментальных [8] и численных исследований [9] предложена методика оценки экологической безопасности городских АЗС [10]. В основу разработанной методики лег многокритериальный анализ факторов, влияющих на распространение вредных веществ от всех источников загрязнения атмосферы, расположенных на территории АЗС, с учетом прилегающей городской застройки. Схема реализации методики представлена на рис. 2. Она включает в себя три блока (контроль, оценка, принятие решений) и состоит из пяти основных этапов, последовательная реализация которых позволяет оценить экологическую безопасность АЗС, разработать и внедрить определенный набор мероприятий и рекомендаций по снижению негативного воздействия АЗС на прилегающую застройку и жизнедеятельность людей. Для вновь строящихся АЗС, с учетом возможных планировок и прилегающей застройки, методика позволяет разработать универсальный проект экологически безопасной АЗС.

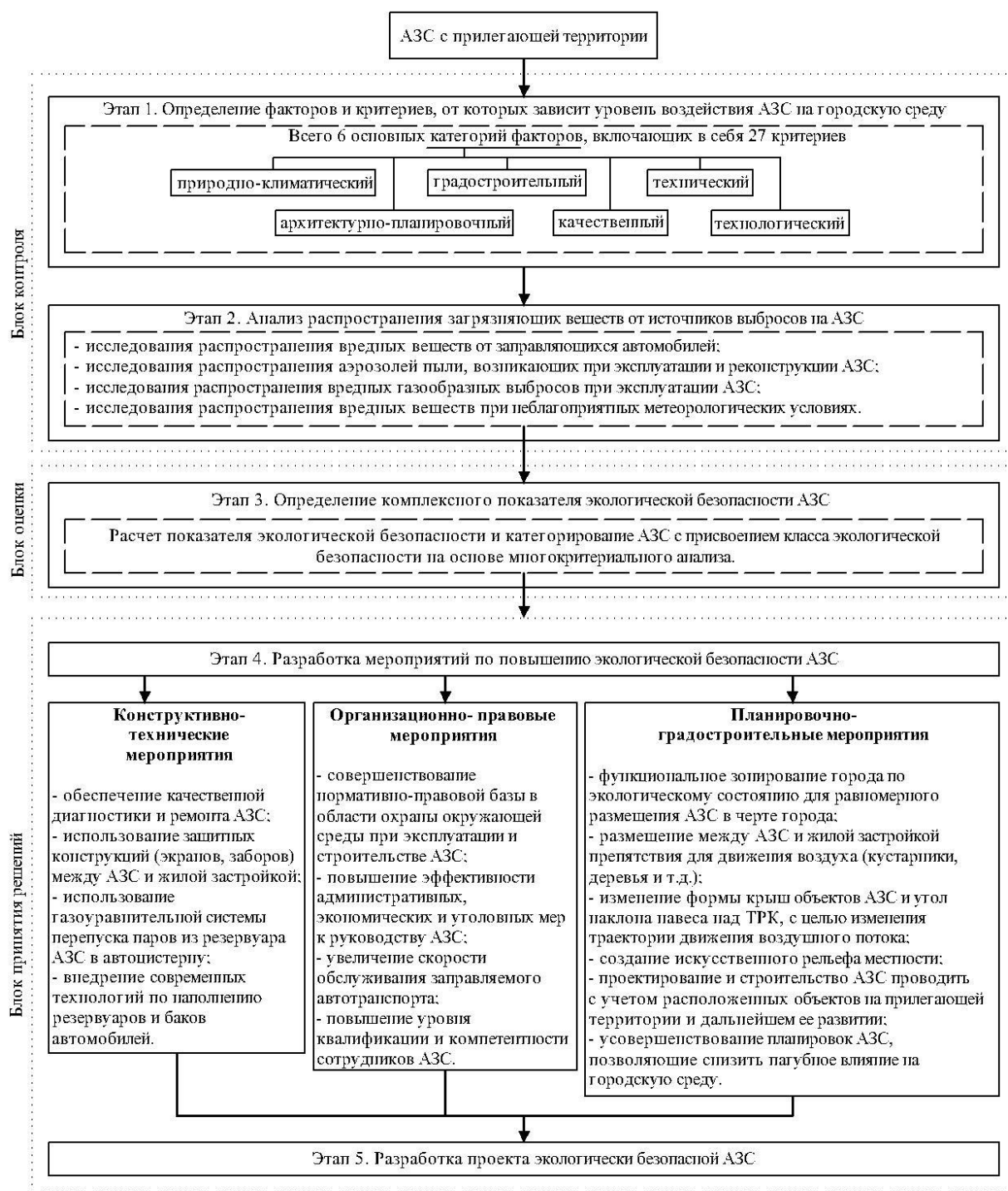


Рис. 2. Схема реализации методики повышения экологической безопасности городских А3С

Результатом реализации методики повышения экологической безопасности А3С является разработка мероприятий, которые условно разделены на три группы: конструктивно-технические, организационно-правовые и планировочно-градостроительные.

Для принятия рационального решения предложена таблица, позволяющая в зависимости от полученного класса экологической безопасности принимать систематизированный выбор мероприятий [11].

Мероприятия по повышению экологической безопасности существующих городских АЗС

Показатель экологической безопасности	Класс экологической безопасности АЗС	Рекомендуемые мероприятия
0-0,2	D (высокоопасный)	1. Озеленение деревьями высотой от 20 м шириной посадки не менее 25 м. 2. Постройка нежилых зданий и сооружений. 3. Установка защитных экранов. 4. Искусственное изменение рельефа местности. 5. Наполнение резервуаров осуществлять с применением газоуравнительной системы. 6. Замена технического оборудования на современное. 7. Сокращение резервуарного парка, а тем самым пропускную способность АЗС. 8. Оценка качества используемого топлива. 
0,21-0,5	C (опасный)	1. Озеленение деревьями высотой от 10 м шириной посадки не менее 15 м. 2. Постройка нежилых зданий и сооружений. 3. Установка защитных экранов. 4. Искусственное изменение рельефа местности. 5. Внедрение современных технологических подходов при эксплуатации АЗС. 6. Замена технического оборудования на современное. 
0,51-0,7	B (средней экологичности)	1. Озеленение деревьями и кустарниками. 2. Применение экологических инженерных сооружений, в том числе биопозитивных озеленяемых шумозащитных экранов. 3. Внедрение современных технологических подходов при эксплуатации АЗС. 
0,71-0,9	A (экологичный)	1. Озеленение в виде кустарников. 2. Установка защитных экранов. 
0,91-1	A+ (высокоэкологич.)	Мероприятия по повышению экологической безопасности АЗС не требуются.

Большое разнообразие возможных мероприятий позволяет повысить экологическую безопасность городских АЗС, однако, стоит отметить, что в настоящее время не наблюдается обширного их внедрения для существующих городских АЗС с низким классом экологической безопасности, и они продолжают оказывать негативное воздействие на здоровье людей. Рассмотрим возможную причину отказа от внедрения мероприятий с экономической точки зрения. Для этого проведем расчет стоимости внедрения некоторых мероприятий.

Мероприятие 1 – посадка зеленых насаждений свыше 10 м шириной посадки менее 15 м. Визуализация воздействия паров бензина на территории АЗС и близлежащего дома без преград (рис. 3) и с реализованным мероприятием (рис. 4) подтверждает позитивное влияние данного мероприятия по снижению вредного воздействия АЗС.

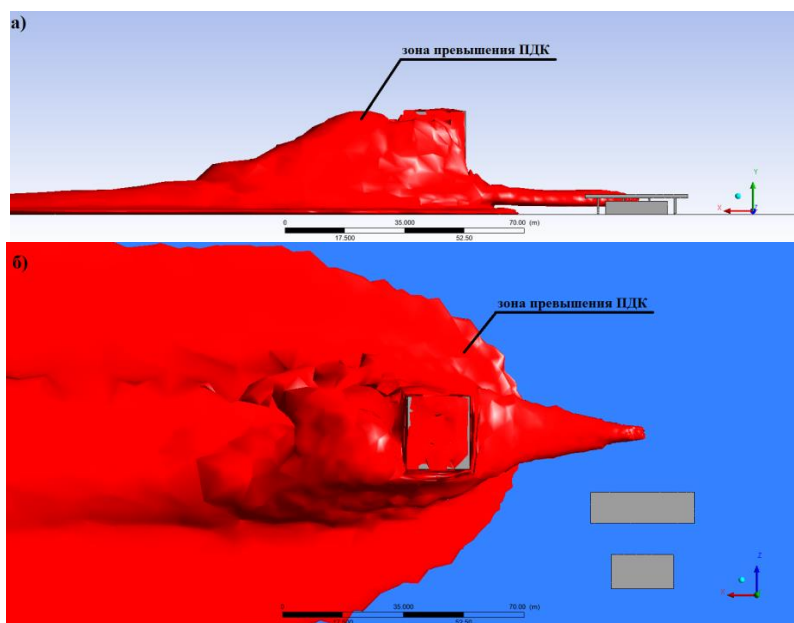


Рис. 3. Зоны превышения ПДК паров бензина на территории АЗС и близлежащего дома без преград
а – вид сбоку; б – вид сверху

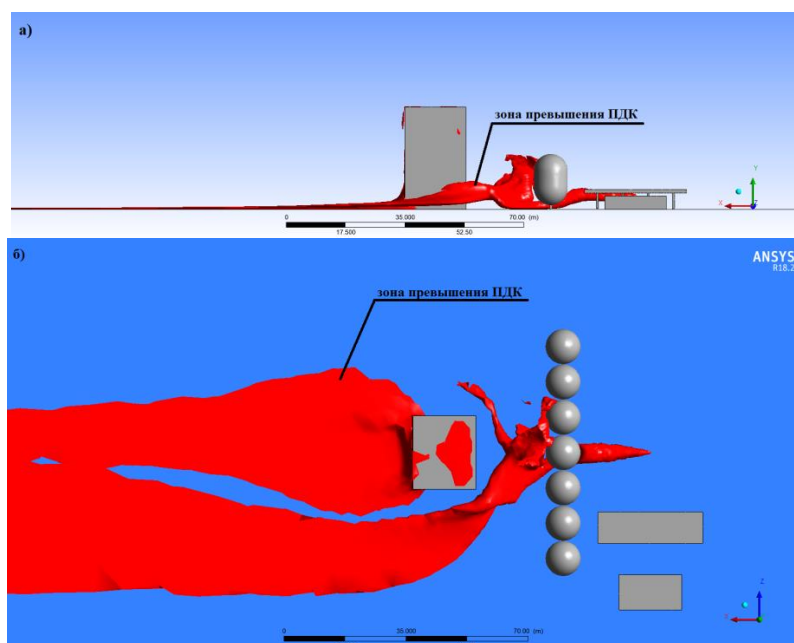


Рис. 4. Зоны превышения ПДК паров бензина на территории АЗС и близлежащего дома с деревьями
а – вид сбоку; б – вид сверху

Для посадки деревьев на территории АЗС выбрана ель. Саженьцы ели могут достаточно быстро вырастать до 30 метров. Они создают плотные лесные массивы и нередко соседствуют с пихтой, сосной и дубом. Крона елей имеет конусовидную форму, которая заостряется кверху. Раскидистые корни обеспечивают нетребовательность ели к уходу. Дерево великолепно переносит заморозки. Идеально обыкновенная ель подходит для больших солнечных участков. Выращивать ее можно и в затемненных частях парков.

Затраты на приобретение одного дерева ели высотой 10 м в текущем уровне цен составляют в среднем 58 000 рублей. Для создания естественной преграды для распространения вредных веществ от АЗС к жилому массиву необходимо посадить 10 деревьев, тогда стоимость данного защитного мероприятия составит 580 000 рублей.

Мероприятие 2 – повышение уровня компетентности и квалификации сотрудников АЗС.

В настоящее время практически в каждой отрасли наблюдается постоянное развитие и усовершенствование используемых технологий и оборудования, а также осуществляется глобальная компьютеризация промышленного производства. Для работы со сложной техникой необходимы квалифицированные специалисты. В этой ситуации существует только один рациональный выход – сотрудники, которые имеют отношение к новому оборудованию, должны пройти курсы повышения квалификации.

Для повышения профессионализма сотрудника работодатель может организовать обучение. Обычно для этого пользуются услугами образовательных учреждений по повышению квалификации. Повышение квалификации проводится по мере необходимости, но не реже одного раза в пять лет в течение всей трудовой деятельности работников.

Одна из ассоциаций профессионального образования занимается профессиональной подготовкой, переподготовкой и повышением квалификации рабочих по многим направлениям. Одним из таких является категория «Заправочные станции». Данная категория включает в себя следующие курсы, с указанием стоимости услуги в текущем году:

- ✓ мастер АЗС – 6 000 рублей;
- ✓ менеджер АЗС – 6 000 рублей;
- ✓ оператор заправочных станций (АГЗС) – 9 500 рублей;
- ✓ оператор заправочных станций (АГНКС, КриоАЗС) – 9 500 рублей;
- ✓ оператор автозаправочных станций (АЗС) – 5 900 рублей;
- ✓ оператор товарный (нефтебазы) – 6 000 рублей;
- ✓ приём, хранение и отгрузка нефти и нефтепродуктов – 16 000 рублей.

Общая стоимость курсов для всех сотрудников АЗС составляет около 100 000 рублей.

Мероприятие 3 – наполнение резервуаров осуществлять с применением газоуравнительной системы.

Газоуравнительная система предназначена для выравнивания давления в нескольких резервуарах для снижения размера выброса паров топлива в атмосферу при больших колебаниях давления в одной из емкостей резервуаров. Данная система предусматривается согласно требованиям заказчика. Система рекуперации паров бензина предназначена для отделения выделяющихся паров бензина при заправке автомобилей с помощью ТРК и возврат их обратно в резервуар с целью сокращения вредных выбросов в атмосферу, а также перепуска паров из резервуара АЗС в опорожняемую емкость автоцистерны (рис. 5).

Устройство комплексной системы возврата паров (рекуперации), совмещенной с газоуравнительной системой, которая позволит сократить выбросы паров нефтепродуктов в атмосферу на 95 %.

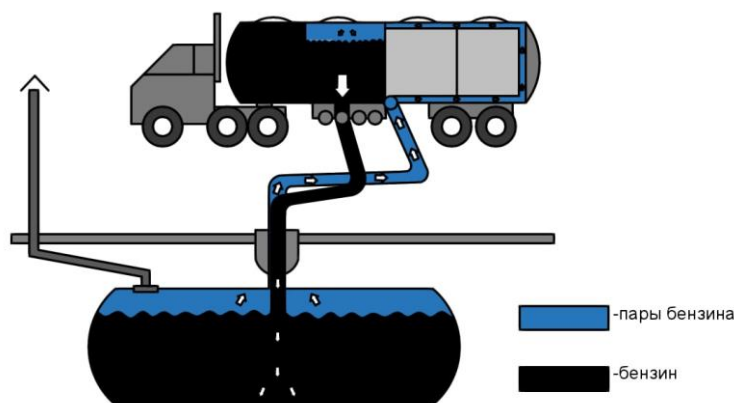


Рис. 5. Газоуравнительная система перепуска паров при наполнении резервуара автоцистерной

Для использования газоуравнительной системы необходимо предусматривать полноценную замену резервуарного парка с необходимым оборудованием. Стоимость одного резервуара объемом 50 м^3 с газоуравнительной системой составляет 1 800 000 рублей. Резервуарный парк АЗС составляет от 5 до 10 емкостей, таким образом, стоимость внедрения газоуравнительной системы на сегодняшний день составит от 9 до 18 млн. рублей.

Таким образом, стоимостная оценка реализации рассмотренных мероприятий показывает, что для повышения экологической безопасности АЗС владельцам необходимо вкладывать существенные денежные средства.

С другой стороны, АЗС, как источник загрязнения атмосферы, обязаны ежегодно производить плату за негативное воздействие на окружающую среду. Согласно Постановлению Правительства РФ от 1 марта 2022 г. № 174 «О применении в 2022 году ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду» стоимость за выброс 1 т паров бензина составляет $3,2 \text{ руб.} \times 1,19 = 3,81 \text{ руб.}$ (где 1,19 - поправочный коэффициент на 2022 год).

Проведем расчет платы за выброс паров бензина от АЗС при наполнении подземного резервуара автоцистерной объемом 50 м^3 . В работе [10] определено, что максимальный выброс паров при наполнении топливного резервуара автоцистерной составляет 20 г/с . Наполнение резервуара осуществляется самотеком, таким образом, время заполнения составляет около часа (3600 с). Получаем, что при наполнении одного резервуара выделяется $20 \text{ г/с} \times 3600 \text{ с} = 72\,000 \text{ г/ч} = 0,072 \text{ т/ч}$.

Примем, что резервуарный парк насчитывает 5 емкостей, которые наполняются раз в два дня. Получим, что величина выбросов паров бензина от наполнения резервуарного парка АЗС в год составит $0,072 \text{ т/ч} \times 5 \text{ емкостей} \times 365/2 \text{ дней} = 65,7 \text{ т/год}$. Стоимость платы за негативное воздействие АЗС на окружающую среду составит $65,7 \text{ т/год} \times 3,81 \text{ руб.} = 250,32 \text{ руб./год}$.

Очевидно, что величина платы (250,32 руб./год) не способствует к ужесточению деятельности АЗС и внедрению мероприятий, способствующих к снижению распространения вредных веществ.

Заключение.

Проведена оценка вредного воздействия АЗС на окружающую среду. Рассмотрена методика оценки экологической безопасности городских АЗС, а также возможные мероприятия по снижению вредного воздействия на прилегающую застройку и жизнедеятельность людей.

Проведен расчет стоимости внедрения экологических мероприятий, а также величины платы за негативное воздействие на окружающую среду.

Установлено, что затраты на плату за выбросы вредных веществ от АЗС в течении года несоизмеримо малы со стоимостью реализации мероприятий по снижению негатив-

ного воздействия на окружающую среду. Однако при этом уровень экологической опасности для объектов, расположенных в непосредственной близости, является высоким. Использование рекомендаций разработанной методики при планировании и застройки современных городских поселений позволит избежать вредного воздействия на здоровье человека и окружающую природную среду, а также накопления загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ахтямов, Р. Г.** Оценка и пути уменьшения экологической опасности объектов автотранспортной инфраструктуры урбанизированной территории: дис.... канд. тех. наук: 03.00.16 / Расул Гумерович Ахтямов; Казань, 2009. – 195 с.
2. **Сапожкова, Н. В.** Разработка метода комплексной оценки воздействия автотранспорта на экологическую безопасность городской среды для обоснования мониторинга и защитных мероприятий: дис.... канд. тех. наук: 05.23.19 / Наталья Васильевна Сапожкова; Волгоград, 2012. – 183 с.
3. **Аброськин, А. А.** Динамическая система экологического мониторинга атмосферного воздуха для обеспечения экологической безопасности строительных объектов: дис...канд. тех. наук: 05.23.19 / Алексей Андреевич Аброськин; Волгоград, 2018. – 142 с.
4. **Полосин, И. И.** Влияние автозаправочных станций в черте городской застройки на экологическое состояние окружающей среды / И. И. Полосин, К. В. Гармонов, А. В. Плотников // Экология промышленного производства. – 2014. – № 1(85). – С. 51-54.
5. **Полосин, И. И.** Моделирование загрязнения окружающей природной среды вредными газообразными выбросами / И. И. Полосин, К. В. Гармонов, А. В. Плотников // Экология урбанизированных территорий. – 2015. – № 1. – С. 12-14.
6. **Яременко, С. А.** Расчет концентраций вредных веществ в нижних слоях атмосферы с использованием теории вентиляционных струй / С. А. Яременко, К. В. Гармонов // Вестник МГСУ. – 2018. – Т.13. – № 2(113). – С. 222-230.
7. **Гармонов, К. В.** Распространение вредных веществ в нижнем слое атмосферы при неблагоприятных метеорологических условий / К. В. Гармонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – № 1-2(1). – С. 36-41.
8. **Бакаева, Н. В.** Экспериментальное моделирование распространения вредных веществ, выделяющихся от автозаправочных станций / Н. В. Бакаева, К. В. Гармонов, М. Н. Жерлыкина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 3(6). – С. 71-78.
9. **Бакаева, Н. В.** Численное моделирование распространения газовоздушных потоков на территории автозаправочных станций и анализ их влияния на застройку местности / Н. В. Бакаева, О. В. Пилипенко, К. В. Гармонов // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 5(79). – С. 79-87.
10. **Гармонов, К. В.** Методика оценки экологической безопасности городских автозаправочных станций дис... канд. тех. наук: 05.23.19 / Кирилл Валерьевич Гармонов; Курск, 2019. – 193 с.
11. **Бакаева, Н. В.** Практические рекомендации по повышению экологической безопасности автозаправочных станций в черте городской застройки / Н. В. Бакаева, О. В. Пилипенко, К. В. Гармонов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2018. – № 4(24). – С. 84-94.

Поступила в редакцию 27 апреля 2022

JUSTIFICATION OF MEASURES TO IMPROVE ENVIRONMENTAL SAFETY OF CITY GAS STATIONS

K. V. Garmonov, M. N. Zherlykina, A. R. Makarov, A. S. Zherlitsina

Kirill Valer'evich Garmonov, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of hydraulics, water supply and sanitation, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: garmon-kir@mail.ru

Mariya 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)271-28-92; e-mail: zherlykina@yandex.ru

Artem Ruslanovich Makarov, senior lecturer at the Department of heat and gas supply and oil and gas business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-53-21; e-mail: am6729382@rambler.ru

Anna Sergeevna Zherlitsina, master's student at the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: anzherl@mail.ru

In the article, we substantiate the relevance of the study of the gas stations influence on the environment in urban development. We analyzed the normative literature regulating gas stations construction and operation as well as ensuring environmental safety during the emission of harmful substances. Based on theoretical, experimental and numerical studies, we offer a methodology for assessing environmental safety of urban gas stations. This methodology is based on a multi-criteria analysis of factors affecting the harmful substances spread from all sources of atmospheric pollution located on the territory of the gas station, taking into account the adjacent urban development. We developed several measures to improve the environmental safety. The measures are divided into some groups: structural and technical, organizational and legal, and urban planning. We calculated the implementation of the measures. We analyzed the annual payment for the negative impact on the environment from the gas stations. We economically assessed the environmental safety provision and justified the need of applying measures for reducing the level of negative impact of gas stations emissions.

Keywords: environmental safety; gas stations; environment; harmful substances; wind flows.

REFERENCES

1. **Akhtyamov R. G.** *Assessment and ways of reducing the environmental hazard of objects of motor transport infrastructure in an urbanized area.* Kazan. 2009. 195 p. (in Russian)
2. **Sapozhkova N. V.** *Development of a method for a comprehensive assessment of the impact of vehicles on the environmental safety of the urban environment to justify monitoring and protective measures.* Volgograd. 2012. 183 p. (in Russian)
3. **Abroskin A. A.** *Dynamic system of environmental monitoring of atmospheric air to ensure the environmental safety of construction sites.* Volgograd. 2018. 142 p. (in Russian)
4. **Polosin I. I., Garmonov K. V., Plotnikov A. V.** *The influence of gas stations in urban development on the ecological state of the environment.* Ecology of industrial production. 2014. No. 1(85). Pp. 51-54. (in Russian)
5. **Polosin I. I., Garmonov K. V., Plotnikov A. V.** *Modeling of environmental pollution by harmful gaseous emissions.* Ecology of urbanized territories. 2015. No. 1. Pp. 12-14. (in Russian)
6. **Yaremenko S. A., Garmonov K. V.** *Calculation of concentrations of harmful substances in the lower layers of the atmosphere using the theory of ventilation jets.* Vestnik MGSU. 2018. V. 13. No. 2(113). Pp. 222-230. (in Russian)
7. **Garmonov K. V.** *The spread of harmful substances in the lower layer of the atmosphere under adverse meteorological conditions.* Housing and communal infrastructure. 2017. No. 1(1). Pp.36-41. (in Russian)

8. **Bakaeva N. V., Garmonov K. V., Zherlykina M. N.** *Experimental modeling of the spread of harmful substances emitted from gas stations.* Housing and communal infrastructure. 2018. No. 3(6). Pp.71-78. (in Russian)
9. **Bakaeva N. V., Pilipenko O. V., Garmonov K. V.** *Numerical modeling of the distribution of gas-air flows in the territory of gas stations and analysis of their influence on the development of the area.* Construction and reconstruction. 2018. No. 5(79). Pp. 79-87. (in Russian)
10. **Garmonov K. V.** *Methodology for assessing the environmental safety of city gas stations.* Kursk. 2019. 193 p. (in Russian)
11. **Bakaeva N. V., Pilipenko O. V., Garmonov K. V.** *Practical recommendations for improving the environmental safety of gas stations within urban development.* Biosphere compatibility: man, region, technology. 2018. No. 4(24). Pp. 84-94. (in Russian)

Received 27 April 2022

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Обоснование мероприятий по повышению экологической безопасности городских автозаправочных станций / К. В. Гармонов, М. Н. Жерлыкина, А. Р. Макаров, А. С. Жерлицина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 96-105. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.010.

FOR CITATION:

Garmonov K. V., Zherlykina M. N., Makarov A. R., Zherlitsina A. S. *Justification of measures to improve environmental safety of city gas stations.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 96-105. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.010. (in Russian)

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА **ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION**

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.011

УДК 332.02

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ В РАМКАХ ПРОВЕДЕНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

С. А. Яременко, Р. А. Шепс, С. С. Сохранов, Е. В. Силина

Яременко Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(920)464-23-99; e-mail: jaremenko83@mail.ru

Шепс Роман Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)131-66-01; e-mail: romansheps@yandex.ru

Сохранов Сергей Сергеевич, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(962)949-43-10; e-mail: longabrevis@gmail.com

Силина Елена Валерьевна, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(925)046-50-64; e-mail: silina-e@mail.ru

В работе рассмотрены основные проблемы, связанные с внедрением энергоэффективных технологий при выполнении работ по капитальному ремонту многоквартирных домов. Проанализированы особенности возникновения запроса собственников многоквартирных домов на повышение энергоэффективности. Описаны основные проблемы, с которыми сталкиваются собственники на этапе реализации капитальных ремонтов и предложены возможные варианты их решения. Базой для анализа являются результаты опроса, проведенного НП «Национальный центр общественного контроля в сфере жилищно-коммунального хозяйства «ЖКХ Контроль» в феврале 2022 года. Учитывались также исследования экспертов отрасли, принимавших участие в осуществлении проектов повышения энергетической эффективности многоквартирных домов в рамках проведения капитального ремонта общедомового имущества в регионах России на протяжении 2019...2022 гг. Предложены мероприятия по совершенствованию нормативно-законодательной базы, регулирующей проведение капитальных ремонтов.

Ключевые слова: капитальный ремонт; жилищно-коммунальное хозяйство; энергоэффективность.

Состояние в сфере жилищно-коммунального хозяйства можно охарактеризовать следующими тенденциями: тарифы на коммунальные услуги постоянно растут; жилой фонд постепенно стареет, и вместе с ним снижается комфортность проживания в многоквартирных домах (МКД). Эффективным инструментом, позволяющим решить указанные проблемы является капитальный ремонт. Использование энергоэффективных технологий при проведении ремонта позволяет не только продлить срок эксплуатации дома и повысить качество жизни в нем, но и снизить платежи за коммунальные ресурсы [1, 2].

Цель капитального ремонта – улучшение качества и комфорта проживания жильцов в доме. При этом грамотно организованный капитальный ремонт также позволяет уменьшить расход энергоресурсов за счет повышения энергоэффективности дома [3, 4].

Энергоэффективность – это комплекс организационных, экономических и технологических мер, направленных на повышение значения рационального использования энерго-

ресурсов в МКД. Особенность энергоэффективного ремонта в том, что он позволяет окупить вложенные средства за счет возникшей экономии энергоресурсов.

Следует уточнить, что перечень «обязательных» услуг и работ по капитальному ремонту, определенный Жилищным кодексом РФ, не включает базовые работы по повышению энергетической эффективности здания, такие как: утепление фасада; установку автоматизированных информационно-измерительных систем учета потребления коммунальных ресурсов и коммунальных услуг; установку коллективных (общедомовых) приборов учета потребления коммунальных ресурсов, установку узлов управления и регулирования потребления коммунальных ресурсов[5, 6].

ООО «Региональный центр капитального ремонта» (г. Пермь) в 2021 году проведена оценка эффективности технологий, применяемых при капитальном ремонте, а также обобщен опыт регионов России. В ходе исследования выявлено соотношение между прогнозируемым показателем энергосбережения и фактическим, представленное в таблице.

Сравнительный анализ прогнозируемого и фактического показателя экономии энергии при реализации энергосберегающих мероприятий

Наименование энергосберегающих мероприятий	Местонахождение объекта	Показатель энергосбережения	
		прогнозируемый	фактический
Повышение теплозащиты наружных стен, установка узлов управления и регулирования потребления тепловой энергии	г. Калининград, наб. Генерала Карбышева, д. 12	39,84 %	69,19 %
Установка узлов управления и регулирования потребления тепловой энергии	г. Пермь, ул. Уфимская, д. 14	13,2 %	15,6 %
Повышение теплозащиты окон мест общего пользования (МОП), установка узлов управления и регулирования потребления тепловой энергии, установка систем автоматического контроля и регулирования освещения МОП	г. Барнаул, ул. Анатолия, д. 224	25,29 %,	19,81 %
Повышение теплозащиты окон МОП, установка узлов управления и регулирования потребления тепловой энергии, установка систем автоматического контроля и регулирования освещения МОП	г. Воронеж, наб. Авиастроителей, д. 38	29,03 %	28,71 %

Из вышеуказанного исследования следует, что именно мероприятия, не включенные в «обязательные» работы из минимального перечня по капитальному ремонту, отвечают целям и задачам эффективного капитального ремонта (ЭКР) и позволяют повысить энергоэффективность многоквартирных зданий [7, 8].

В феврале 2022 г. НП «ЖКХ Контроль» провел опрос с целью выявления потребностей собственников в повышении энергоэффективности их МКД. Всего в опросе приняли участие представители 32 субъектов Российской Федерации. Участники опроса в процентном соотношении представлены на рис. 1.

В результате опроса выявлено, что 98,6 % респондентов высказали желание проводить капитальный ремонт с применением энергосберегающих технологий. Причем небольшой процент оставшихся участников опроса – это те, кто уже выполнил у себя в доме все возможные мероприятия и не видит, что еще можно было бы сделать.

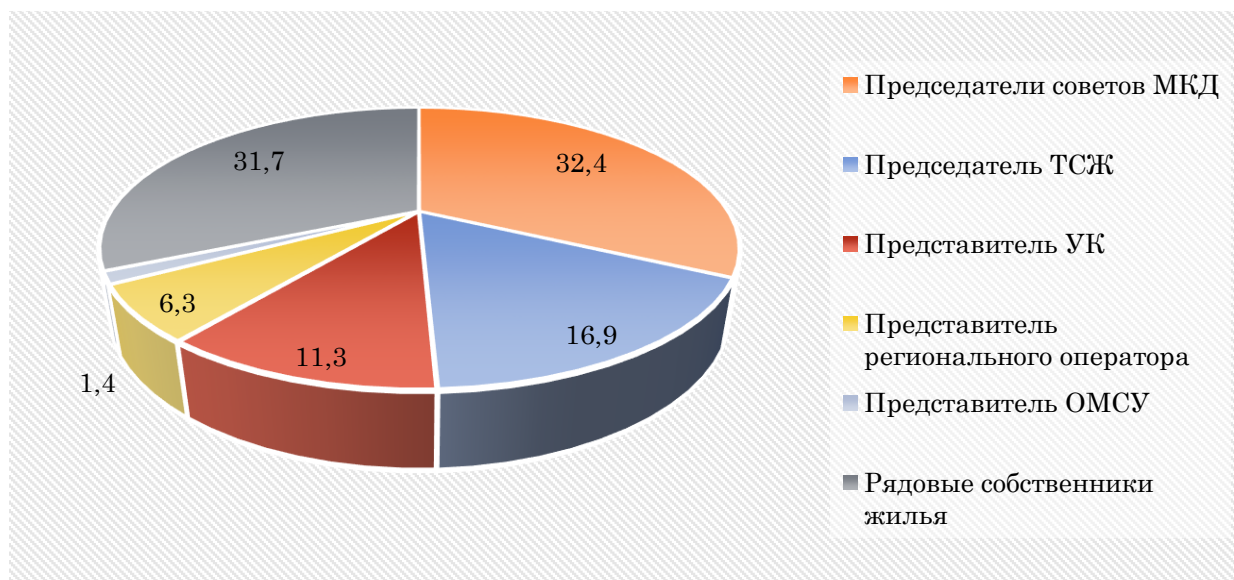


Рис. 1. Участники опроса НП «ЖКХ Контроль»

Результаты ответа на вопрос: «Какие энергосберегающие мероприятия и технологии, необходимо применить в Вашем доме и региональной программе в целом?», представлены, рис. 2.

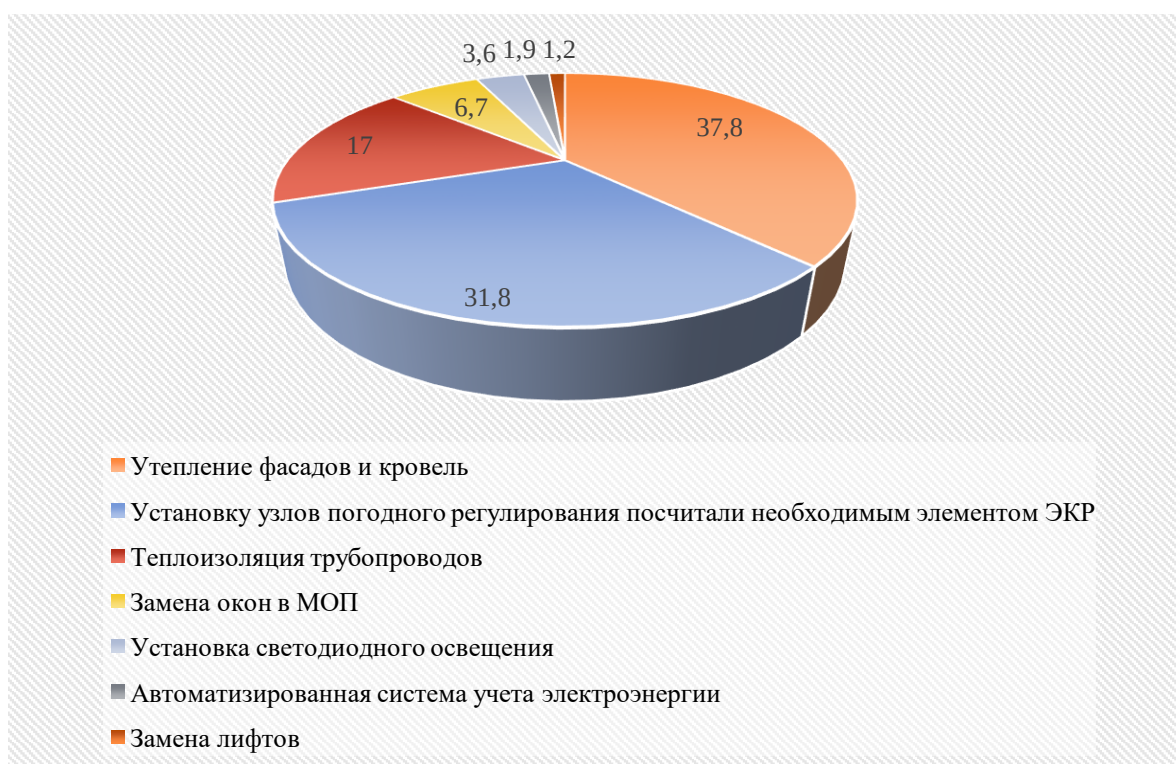


Рис. 2. Наиболее популярные виды энергосберегающих мероприятий по результатам опроса

В ходе опроса также был задан вопрос о том, какие работы, направленные на повышение энергоэффективности, необходимо включить в региональную программу капитального ремонта. Ответы выглядят следующим образом – рис. 3.

При сравнении законодательства, регламентирующего проведение капремонта МКД в исследуемых 32 регионах, было выявлено расхождение между запросом собственников МКД и составом работ в региональных программах.

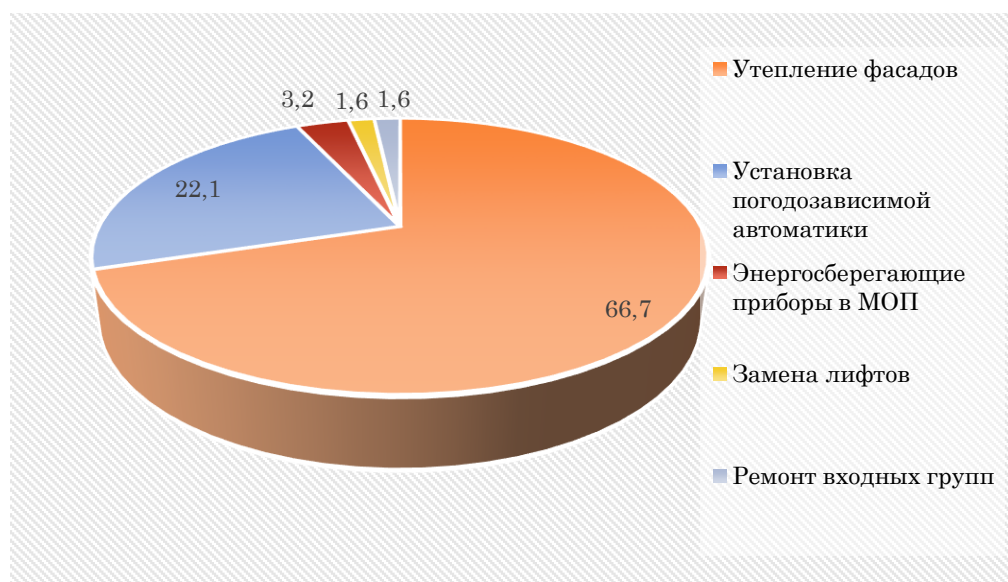


Рис. 3. Виды работ, рекомендованные к включению в региональную программу по результатам опроса

Самым часто упоминаемым видом работ такого характера является установка коллективных (общедомовых) приборов учета потребления ресурсов. Такой вид работ предусмотрен в 10 субъектах из 32, участвовавших в опросе. Также в региональную программу 10 субъектов включены мероприятия по установке узлов управления и регулирования потребления тепловой энергии, горячей и холодной воды, а также газа (Амурская, Воронежская, Курская, Ленинградская, Ульяновская, Тверская, Смоленская, Ярославская области, Чувашская республика и республика Бурятия). Утепление фасадов предусмотрено в 9 субъектах.

Очевидно, что лишь треть региональных программ в текущем виде позволяют повысить энергоэффективность МКД в соответствии с пожеланиями собственников.

Зачастую участники опроса предлагали добавить в региональную программу те виды работ, которые в ней уже предусмотрены. Это говорит о низком уровне информированности собственников о перечне мероприятий, реализуемых в ходе планирования и проведения капитального ремонта.

Не менее важными представляются проблемы финансирования работ по проведению капитального ремонта в целом и энергоэффективного капитального ремонта (ЭКР) в частности. Средства, сформированные за счет установленного минимального размера взноса на капитальный ремонт, могут расходоваться только на работы, определенные Жилищным кодексом и нормативным правовым актом субъекта РФ (ч. 1 и 2 ст. 166 ЖК РФ) [9...11].

Если на региональном уровне энергоэффективные работы (мероприятия) не включены в перечень, собственники не могут расходовать средства от минимальных взносов: на проведение энергоэффективных работ; на возврат кредитов (займов), привлеченных для проведения энергоэффективных работ (ч. 1 ст. 174 ЖК РФ).

Отсутствие на региональном уровне «разрешения» на энергоэффективные работы приводит к необходимости установления дополнительного взноса на капитальный ремонт на уровне отдельного МКД, даже если накоплений на специальном счете достаточно для проведения энергоэффективного капитального ремонта или если он возможен с привлечением заемных средств. Недостаток правового механизма, не разрешающего расходовать средства, собираемые в рамках уплаты минимального взноса, на «энергоэффективные мероприятия» - одна из основных проблем широкого распространения ЭКР в регионах России [12...14].

Дополнительный размер взноса на капитальный ремонт не учитывается в составе расходов собственников для получения субсидии на оплату ЖКУ, для получения компенсации

расходов на внесение взносов на капитальный ремонт (ч. 6 ст. 159, ч. 2.1 ст. 169 ЖК РФ). Собственники помещений – получатели субсидий, льгот и компенсаций могут противодействовать установлению дополнительного взноса на капитальный ремонт.

Размер взноса на капремонт в регионах, участвовавших в исследовании НП «ЖКХ Контроль» в среднем составляет от 5,5 до 12 рублей за 1 м² общей площади в месяц. Собираемых средств не хватает на проведение первоочередных задач по ремонту общего имущества МКД, не говоря о каких-то дополнительных работах.

Заниженный минимальный размер взноса на капитальный ремонт ограничивает возможность внедрения энергоэффективных мероприятий, в том числе из «обязательного» перечня. Привлечение заемных средств или введение дополнительного взноса на капитальный ремонт является необходимым условием для повышения энергетической эффективности.

Стоит оговориться, что повышение энергоэффективности МКД обеспечивает только комплексный капитальный ремонт, требующий значительных вложений, собрать которые зачастую позволяет только использование заемных средств. Жилищный кодекс предполагает, что кредитные и (или) иные заёмные средства на проведение капитального ремонта общего имущества в МКД «привлекаются собственниками помещений в МКД» и являются частью фонда капитального ремонта МКД (ч. 1 ст. 170 ЖК РФ).

Законодательство не определяет статус «коллектива» собственников помещений в МКД как заемщика кредита. Не регламентирована возможность заключения кредитного договора представителем собственников, уполномоченным решением общего собрания, а также не прописана ответственность собственников за возврат заемных средств. Таким образом, привлечение собственниками помещений в МКД кредитов на капитальный ремонт в настоящее время недоступно.

Возможность получения кредитов на капитальный ремонт во многом зависит от управляющих организаций и ТСЖ (ЖСК), которые не считаются банками надежными заемщиками.

Решение данной проблемы было бы возможно при внесении изменений в законодательство, которые определили бы статус собственника помещения в МКД как «коллективного заемщика» кредитных средств, действующего через уполномоченного собранием представителя, ответственность собственников по возврату заемных средств путем уплаты взносов на капитальный ремонт.

Описывая требуемые законодательные изменения, стоит также отметить следующее. Нормативное регулирование делает чрезвычайно сложным принятие решений о капитальном ремонте. Способ финансирования - компетенция общего собрания собственников помещений в МКД. Все решения о проведении капитального ремонта должны быть приняты большинством не менее 2/3 голосов от общего числа голосов собственников помещений в МКД (ч. 1 ст. 46 ЖК РФ). Требования к числу голосов для принятия решений о капитальном ремонте создают наибольшие проблемы для собственников помещений в МКД со специальными счетами, которые, главным образом, заинтересованы в энергоэффективном капитальном ремонте. Непринятие общим собранием решений о проведении капитального ремонта в связи с недостаточностью голосов грозит собственникам помещений потерей специального счета и переводом на счет регионального оператора.

Представляется целесообразным снижение требований к числу голосов для принятия решений о капитальном ремонте до 50 % от общего числа голосов всех собственников помещений в МКД, что позволило бы упростить для собственников принятие решений о капитальном ремонте.

Требования по внедрению энергосберегающих мероприятий в многоквартирных домах закреплены законодательно. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ возлагает на лицо, ответственное за

содержание многоквартирного дома, регулярно (не реже чем один раз в год) обязанность по разработке и доведения до сведения собственников помещений в многоквартирном доме предложения о мероприятиях по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, которые возможно проводить в многоквартирном доме, с указанием расходов на их проведение, объема ожидаемого снижения используемых энергетических ресурсов и сроков окупаемости предлагаемых мероприятий [15].

За невыполнение указанных требований действующим законодательством предусмотрен штраф (ст. 9.16 КоАП РФ)

Так, по сведениям ГИС ЖКХ за период с 14.02.2019 по 15.02.2022 уполномоченными органами рассмотрено 744 дела об административном правонарушении и привлечены к административной ответственности по ч. 5 ст. 9.16 КоАП РФ (нарушение законодательства об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности) организации, осуществляющие управление МКД в 36 субъектах РФ. То есть в большинстве субъектов ГЖИ вообще не штрафует за данное правонарушение.

Всего привлечено к административной ответственности 438 организаций, из которых 177, согласно данным из ГИС ЖКХ, повторно совершили правонарушение по вышеназванной статье. Средний размер административного штрафа составил 15 000 руб., также 115 организаций были освобождены от административного наказания в виде штрафа.

Стоит отметить, что причина здесь не столько в низком качестве работы госжилинспекции, сколько в незнании собственниками МКД своих прав и обязанностей. В частности, руководители органов госжилнадзора в Томской области, Красноярском крае и Удмуртской республике вообще не получали обращений от жителей по данной тематике.

Лидерами данного «антирейтинга» стали Москва (выписано 207 предписаний) и Московская область (302 предписания). Но в таких густонаселенных субъектах, как Санкт-Петербург – 2 предписания, Ленинградская область – 1. В Новосибирской, Свердловской, Самарской области, Пермском крае – ни одного.

Собственники помещений должны иметь возможности для осуществления действий по повышению энергоэффективности в процессе капитального ремонта дома, которые предполагают наличие знаний и информации, необходимых и достаточных для принятия решений.

Проведенные исследования доказывают целесообразность и эффективность разъяснительной работы по снижению энергопотребления МКД, возможных их вариантах, в том числе путем возможности установления повышенного взноса на капитальный ремонт. А также разъяснение необходимости включения дополнительных услуг и работ по капитальному ремонту в целях повышения энергоэффективности МКД.

Заключение.

На основе проведенного анализа особенностей организации и планирования капитальных ремонтов предлагаются следующие мероприятия по совершенствованию законодательства:

1) дифференцировать подход к составлению перечня работ, финансируемых за счет минимального размера взноса, в зависимости от способа формирования фонда капитального ремонта:

✓ для МКД со специальным счетом – разрешить все работы по повышению энергоэффективности МКД (с одновременным определением условий для перехода к региональному оператору),

✓ для МКД у регионального оператора – разрешить при принятии решения собственниками и установлении дополнительного взноса (при недостаточности минимального взноса).

2) установить минимальный и «экономически обоснованный» размер вноса на капитальный ремонт, который используется для адресной поддержки собственников помещений в МКД, в том числе для МКД, копящих средства на капитальный ремонт на специальном счете, в случае установления дополнительного размера вноса.

3) определить статус собственников помещений в МКД как «коллективного заемщика» кредитных средств, действующего через уполномоченного собранием представителя, ответственность собственников по возврату заемных средств путем уплаты взносов на капитальный ремонт.

4) снизить требования к числу голосов для принятия решений о капитальном ремонте до 50 % от общего числа голосов всех собственников помещений в МКД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сазонов, Э. В.** Прогнозирование экономии денежных средств при энергоэффективном капитальном ремонте многоквартирных домов / Э. В. Сазонов, Р. А. Шепс, А. В. Шашин, О. Е. Фролова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 3(14). – С. 87-93.

2. **Борисов, К. Б.** Классы энергетической эффективности и капитальный ремонт многоквартирных домов. Часть 2/ К. Б. Борисов// Энергосбережение. –2020. – № 3. – С. 58-63.

3. **Кононова, М. С.** Оценка снижения теплопотребления на отопление зданий при повышении сопротивления теплопередаче наружных ограждений / М. С. Кононова // Известия вузов. Строительство. – 2011. – № 8-9 – С. 78-83.

4. **Мищенко, В. Я.** Зарубежный и российский опыт проведения капитального ремонта жилищного фонда с учетом энергоэффективных мероприятий / В. Я. Мищенко, Е. П. Горбанева, К. С. Севрюкова // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2020. – № 1(57). – С. 62-73.

5. **Драпалюк, Н. А.** Влияние климатических условий на эффективность автоматического регулирования в системах централизованного теплоснабжения / Н. А. Драпалюк, М. С. Кононова, О. О. Андрияшкин, С. В. Божко // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 1(12). – С. 54-61.

6. **Савин, К. Н.** Правовые основы эксплуатации приборов учета / К. Н. Савин, Р. А. Шепс // Право: история и современность. – 2021. – № 3(16). – С. 118-123. – DOI 10.17277/pravo.2021.03. Pr.118-123.

7. **Кононова, М. С.** К вопросу оценки экономии теплоты при автоматическом регулировании температуры теплоносителя в системах централизованного теплоснабжения / М. С. Кононова //Изв. вузов. Строительство. – 2016. – № 7. – С. 46-52.

8. **Ильина, Е. В.** Управление энергоэффективностью при проведении капитального ремонта многоквартирных домов / Е. В. Ильина, С. Ф. Федорова, Д. Ш. Гафурова // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 3(128). – С. 1315-1318.

9. **Епифанова, Т. В.** Формирование фонда капитального ремонта на специальном счете как один из способов эффективной организации проведения капитального ремонта / Т. В. Епифанова, О. Н. Ковалева // Проблемы экономики и юридической практики. – 2019. – Т. 15. – № 6. – С. 127-129.

10. **Шлеенко, А. В.** Порядок проведения капитального ремонта в многоквартирном доме / А. В. Шлеенко, М. А. Егорова // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2022. – № 3(1051). – С. 44-46.

11. **Берман, В. В.** Нормативный порядок организации капитального ремонта строительных объектов жилого назначения / В. В. Берман // Экономика и социум. – 2021. – № 2-1 (81). – С. 534-538.

12. **Mishchenko, V. Ya.** The «rebound effect» of energy efficient actions to be performed as part of a major renovation of apartment buildings / V. Ya. Mishchenko, E. P. Gorbaneva, E. V. Ovchinnikova // *Real Estate: Economics, Management*. – 2021. – № 1. – С. 44-48.

13. **Чемерисова, В. Е.** Преимущества и недостатки способов формирования фондов капитального ремонта в многоквартирных домах / В. Е. Чемерисова, Л. В. Масленникова // *Молодой ученый*. – 2020. – № 50(340). – С. 346-348.

14. **Генцлер, И. В.** Финансовая устойчивость региональных операторов капитального ремонта: возможные индикаторы и требования / И. В. Генцлер, Е. П. Железова // *Имущественные отношения в Российской Федерации*. – 2021. – № 7(238). – С. 15-24.

15. **Лебега, К. А.** Особенности формирования, использования резервов на проведение капитального ремонта и их учет в ЖКХ / К. А. Лебега // *Инновационные научные исследования*. – 2021. – № 6-3(8). – С. 109-116.

Поступила в редакцию 18 апреля 2022

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF APARTMENT BUILDINGS DURING MAJOR REPAIRS

S. A. Yaremenko, R. A. Sheps, S. S. Sokhranov, E. V. Silina

Sergey Anatolyevich Yaremenko, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(920)464-23-99; e-mail: jaremenko83@mail.ru

Roman Alexandrovich Sheps, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, tel.: +7(960)131-66-01; e-mail: romansheps@yandex.ru

Sergey Sergeevich Sokhranov, master student of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(962)949-43-10; e-mail: longabrevis@gmail.com

Elena Valerievna Silina, master student of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel. +7(925)046-50-64; e-mail: silina-e@mail.ru

In this article we consider the main problems associated with the introduction of energy efficient technologies during major repairs of apartment buildings. We analyze reasons of the request of the apartment buildings owners to improve energy efficiency. As well we describe the main problems faced by the owners at the stage of major repairs and offer possible solutions. The conclusions are based on the results of a survey conducted by the National Center for Public Control in the Housing and Utilities Sector *Zh K KH Control* in February 2022. We also took into account the studies of industry experts who took part in the implementation of projects to improve the energy efficiency of apartment buildings as part of the major repairs of common property in the regions of Russia during 2019...2022. Finally we offer some measures to improve the regulatory and legislative framework governing the major repairs.

Keywords: major repairs; housing and communal services; energy efficiency.

REFERENCES

1. **Sazonov E. V., Sheps R. A., Shashin A. V., Frolova O. E.** *Forecasting savings in energy-efficient capital repairs of apartment buildings*. Housing and Communal infrastructure. 2020. No. 3(14). Pp. 87-93. (in Russian)

2. **Borisov K. B.** *Classes of energy efficiency and overhaul of apartment buildings. Part 2. Energy saving*. 2020. No. 3. Pp. 58-63. (in Russian)

3. **Kononova M. S.** *Estimation of lowering of consumption of heat on heating of buildings at a heightening of resistance to heat transfer of outside protections*. News of Higher Educational Institutions. Construction. 2011. No. 8-9. Pp. 78-83. (in Russian)

4. **Mishchenko, V. Ya., Gorbaneva E. P., Sevryukova K.S.** *Foreign and Russian experience in the overhaul of the housing stock, taking into account energy-efficient measures.* Scientific journal of construction and architecture. 2020. No. 1(57). Pp. 62-73. (in Russian)
5. **Drapalyuk N. A., Kononova M. S., Andriyashkin O. O., Bozhko S. V.** Influence of climatic conditions on the efficiency of automatic control in the systems of centralized heating. *Housing and utilities infrastructure.* 2020. No. 1(12). Pp. 54-61. (in Russian)
6. **Savin K. N., Sheps R. A.** *Legal basis for the operation of metering devices.* Law: history and modernity. 2021. No. 3(16). Pp. 118-123. – DOI 10.17277/pravo.2021.03.pp.118-123. (in Russian)
7. **Kononova M.S.** *To the problem of estimation of saving of heat at autocontrol of temperature of the heat transfer in systems of the centralized heat supply.* News of Higher Educational Institutions. Construction. 2016. No. 7. Pp. 46-52. (in Russian)
8. **Ilyina E. V., Fedorova S.F., Gafurova D. Sh.** *Energy efficiency management during capital repairs of apartment buildings.* Economy and entrepreneurship. 2021. No. 3(128). Pp. 1315-1318. (in Russian)
9. **Epifanova T. V., Kovaleva O. N.** *Formation of a capital repair fund on a special account as one of the ways to effectively organize a capital repair.* Problems of Economics and Legal Practice. 2019. Vol. 15. No. 6. Pp. 127-129. (in Russian)
10. **Shleenko A. V., Egorova M. A.** *The procedure for overhaul in an apartment building.* BST: Building Equipment Bulletin. 2022. No. 3(1051). Pp. 44-46. (in Russian)
11. **Berman V. V.** *Normative procedure for the organization of capital repairs of construction objects for residential purposes.* Economics and Society. 2021. No. 2-1(81). Pp. 534-538. (in Russian)
12. **Mishchenko V. Ya., Gorbaneva E. P., Ovchinnikova E. V.** *The «rebound effect» of energy efficient actions to be performed as part of a major renovation of apartment buildings.* Real Estate: Economics, Management. 2021. No. 1. Pp. 44-48.
13. **Chemerisova V. E., Maslennikova L. V.** *Advantages and disadvantages of methods for the formation of capital repair funds in apartment buildings.* Young scientist. 2020. No. 50(340). Pp. 346-348. (in Russian)
14. **Gentsler I. V., Zhelezova E. P.** *Financial Sustainability of Regional Overhaul Operators: Possible Indicators and Requirements.* Property relations in the Russian Federation. 2021. No. 7(238). Pp. 15-24. (in Russian)
15. **Lebesgue K. A.** *Features of the formation, use of reserves for the overhaul and their accounting in housing and communal services.* Innovative scientific research. 2021. No. 6-3(8). Pp. 109-116. (in Russian)

Received 18 April 2022

Для цитирования:

Повышение энергетической эффективности многоквартирных домов в рамках проведения капитального ремонта / С. А. Яременко, Р. А. Шепс, С. С. Сохранов, Е. В. Силина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 106-114. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.011.

FOR CITATION:

Yaremenko S. A., Sheps R. A., Sokhranov S. S., Silina E. V. *Improving energy efficiency of apartment buildings during major repairs.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 106-114. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.011. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.012

УДК: 338.1

ИССЛЕДОВАНИЕ РИСКОВ УЧАСТИЯ В ИННОВАЦИОННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

И. И. Переславцева

Переславцева Инна Игоревна, канд. экон. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-30-00; e-mail: u00105@vgasu.vrn.ru

Проведено исследование рисков, возникающих при участии компаний в инновационных экосистемах. Рассмотрены категории понятия риска, проработанные отечественными учеными. Проанализированы исследования, рассматривающие дополнительные риски при создании совместной инновационной среды. Выделены основные группы рисков коллаборативного участия в инновационной экосистеме: риски взаимозависимости, риски интеграции, инициативные риски, риски оппортунистического поведения, а также риски дисбаланса власти. Предложена трехслойная модель рисков коллаборативного участия в цифровой экосистеме, возникающих при совместном сотрудничестве. Рассмотрены особенности участия в инновационных экосистемах крупных и малых компаний. Сделан вывод о необходимости использования сетевых форм организации бизнеса для увеличения присутствия компаний на рынках в условиях глобальных масштабов конкуренции.

Ключевые слова: инновация; экосистема; риск; инновационная деятельность; цифровая экономика; инновационная среда.

Все инновации имеют различия по своему масштабу, характеру или степени новизны. Компании, приступая к реализации проекта, несут при этом риски, которые связаны с разработкой новых продуктов и технологий и их коммерциализацией. При реализации инновационной деятельности жизненно важным становится способность идентифицировать риски и контролировать возможное их наступление. Современная компания с целью обеспечения условий своей выживаемости должна путем нововведений повышать темпы развития относительно возможности конкурентов, а это влечет за собой рост уровня рисков.

Значительное внимание в исследованиях уделяется категории экономических рисков. Риск, в общем смысле, представляет собой вероятность возникновения указанного неопределенного события и его последствий [1].

Основные аспекты данного понятия достаточно широко проработаны отечественными исследователями. Большая часть современных публикаций, направлена на изучение управленческих аспектов по отношению к рискам, возникающим в цифровой экономике (таблица).

Исследование категорий понятия риска

Авторы, источник	Определение
Толковый словарь / В.И. Даль. М.: Художественная литература, 1935. Т. 4. 704 с.	Риск определяется, с одной стороны, как опасность чего-либо, а с другой — как действие на удачу, требующее смелости, решительности, предприимчивости в надежде на счастливый исход

Продолжение таблицы

Авторы, источник	Определение
Бернар И. Толковый экономический и финансовый словарь: фр., рус., англ., нем., исп. терминология: В 2-х т. / И. Бернар, Ж. Колли / Под общ.ред. Л.В. Степанова. – М.: Междунар. отношения, 1994. – Т. 1. – 783 с.; Т. 2. 719 с.	Риск — это элемент неопределенности, который может отразиться на деятельности того или иного хозяйствующего субъекта или на проведении какой-либо экономической операции
Большой экономический словарь / Под ред. А.Н. Азрилияна. – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Институт новой экономики, 1999. – 1248 с.	Риск — возможность наступления событий с отрицательными последствиями в результате определенных решений или действий; как вероятность понести убытки или упустить выгоду; как неуверенность в получении соответствующего дохода или убытка
Посталюк М.П., Посталюк Т.М. Системные риски инноватизации бизнеса, власти и социума и их факторы // Вестник ТИСБИ. – 2019. – № 1. – С. 114-132	Инновационным риском, или риском инновационной деятельности, является вероятность получения отрицательного результата или неопределенных результатов выбранного инновационного действия, при котором поставленная цель экономическим субъектом достигается частично или не достигается вообще
Гринева Н.В. Методологические основы управления рисками инвестиционно-инновационного проекта // Экономика и управление: теория и практика. – 2018. – Т. 4. – № 4-1. – С. 50-55	Риск представляет собой возможность наступления определенного неблагоприятного события, то есть возможность досрочного прекращения проекта вследствие возникновения обстоятельств, препятствующих его дальнейшему проведению, или неполучения заданных (запланированных) результатов после завершения проектирования
Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 511 с.	Риск — опасность возникновения непредвиденных потерь ожидаемой прибыли, дохода или имущества, денежных средств в связи со случайным изменением условий экономической деятельности, неблагоприятными обстоятельствами. Измеряется частотой, вероятностью возникновения того или иного уровня потерь; наиболее опасны риски с осязаемой вероятностью уровня потерь, превосходящих величину ожидаемой прибыли
Болдыревский П.Б., Игошев А.К., Кистанова Л.А. Оценка рисков инновационных процессов // Экономический анализ: теория и практика. 2018. – Т. 17. – № 8. – С. 1465-1475.	Риск – динамическая сущность, постоянно изменяющаяся во времени. По мере развития инновационного процесса меняется как количество, так и характер рисков. Отсутствие риска на ранних стадиях процесса еще не означает отсутствия данного риска в будущем. Поэтому процесс управления риском должен учитывать особенности этапа жизненного цикла инновации и проводиться на регулярной основе

Любой фактор, влияющий на реализацию деятельности компании, является одновременно и источником риска. Риск появляется при возникновении неопределенного и значительного влияния на эффективность деятельности организации.

Берем за основу, что компания, включаясь в экосистему в качестве партнера, способна уменьшать риски, которые связаны с осуществлением инновационной деятельности. Это следует из предпосылок, что существование в «здоровой» среде взаимного сотрудничества позволит компаниям работать с большей эффективностью в соотношении цены/времени/качества при реализации инновационных процессов, а значит иметь большую конкурентоспособность.

Участники инновационной сети, включаясь в цепочки создания стоимости, используют свои уникальные компетенции, знания и ресурсы [2], что помогает каждой компании

сфокусироваться на выполнении одной конкретной задачи с максимальной экономической отдачей.

Однако для значительного количества компаний процесс внедрения экосистемных решений оказалась неудачным. Связано это в первую очередь с тем, что с появлением новых возможностей, инновационные экосистемы несут и новый набор рисков, которые выражаются в необходимости учета взаимодействий участников системы. Даже при блестящем развитии компанией собственных инноваций, ее усилия для достижения конкурентоспособности могут сильно ограничиваться действиями партнеров в экосистеме [3, 4].

Таким образом, развитие инновационной деятельности в контексте создания совместной инновационной среды влечет и дополнительные риски, о чем ведется научная полемика.

Наиболее известные работы в данной области выполнены Аднером [5...7]. Так же риски упоминаются при описании инновационных экосистем такими авторами, как Nogueira A., Pierce L., Vaz L., de Souza Rodrigues M., de Souza Chimenti P. [8, 9]. Проанализировав данные исследования, можно выделить основные группы рисков коллаборативного участия в инновационной экосистеме: риски взаимозависимости, риски интеграции, инициативные риски, риски оппортунистического поведения, а также риски дисбаланса власти (рис. 1).



Рис. 1. Группы рисков участия в инновационной экосистеме

Риски взаимозависимости

Аднер трактует риск взаимозависимости как «неопределенность координации с дополнительными новаторами» [5]. Это риск, который возникает при участии нескольких компаний в одном проекте, а успешность реализуемого проекта зависит от точного и своевременного выполнения каждым участником своих обязательств.

При этом всегда существует риск невыполнения своих обязательств одним или несколькими участниками проекта. А значит наступление неблагоприятного события тем выше, чем большее количество участников вовлечено в проект.

Риски интеграции

Аднер характеризует риск интеграции как неопределенность, которая возникает в результате вступления участников в цепочку создания стоимости [5]. Риск интеграционный

напрямую зависит от вероятности и последствий того, что другой участник не захочет или не сможет принять решение. Один участник инновационной экосистемы может стать причиной сбоя у других участников при неадекватной расстановке целей.

Примером может служить компания Мишлен, которая в 1997 году стала разработчиком шины Run-Flat, которая позволяла водителю продолжить движение в случае прокола еще на 50 миль. Однако ни один из потребителей не смог приобрести данные шины. Причиной послужила неготовность автосервисов приобрести специальное оборудование и провести обучение сотрудников для того, чтобы конечный потребитель смог воспользоваться данным нововведением.

Этот факт подтверждает риск того, что успех отдельно взятой инновации часто напрямую зависит от успехов других сторонних фирм в инновационной сфере.

Инициативные риски

Инициативные риски связаны с решением необходимых задач, направленных на своевременную реализацию проекта. Данные виды рисков направлены на оценку возможностей при производстве инновационного продукта, его востребованность на рынке, формирование команды проекта, выстраивание логистической системы.

При достаточно большой изученности данной проблемы в различной научной литературе, стоит отметить особенность для компании-инноватора, которой необходимо принимать решение о том, какие инициативные риски она возьмет на себя, а какие может передать партнерам.

Риски оппортунистического поведения

Vaz L. совместно с соавторами характеризуют риск оппортунистического поведения как основной риск участников инновационной экосистемы [8]. При разработке глобального проекта оппортунизм становится преобладающим риском. Поставщики и клиенты могут вести себя оппортунистически с целью достижения собственной выгоды, что может повлечь за собой снижение эффективности отношений или к полному их разрыву.

Риски дисбаланса власти

Риск дисбаланса власти связан с опасностью для компании оказаться бессильной на фоне влиятельных компаний-партнеров.

Этот риск напрямую связан с риском оппортунистического поведения. Одна компания при внедрении сетевой интеграции несет вред для другой компании. Но при этом существует различие между дисбалансом власти и оппортунистическим поведением. При риске дисбаланса власти компания-участник, имеющая наибольшее влияние, может поменять начальные условия участия в сетевых взаимоотношениях, не учитывая интересы компаний-партнеров в экосистеме.

На основе изученной научной литературы, посвященной проблеме рисков, которые могут возникать при совместном сотрудничестве, предложена трехслойная модель рисков коллаборативном участии в цифровой экосистеме. На первом слое располагаются внешние риски, на втором – риски реализации проектной деятельности, на третьем – риски сотрудничества в рамках цифровой экосистемы (рис. 2).

Внешние риски связаны с воздействием на экосистему извне. Они характеризуют вероятность изменения условий внешней среды ведения бизнеса, которые могут поставить под угрозу существование в целом всей инновационной экосистемы.

Так как любой инновационный проект является уникальным, имеет собственные задачи, ресурсы, несет инвестиционные затраты, то вторая группа рисков – риски, связанные непосредственно с осуществлением проектной деятельности. Они характеризуют вероятность наступления событий, которые связаны с реализацией конкретного проекта.

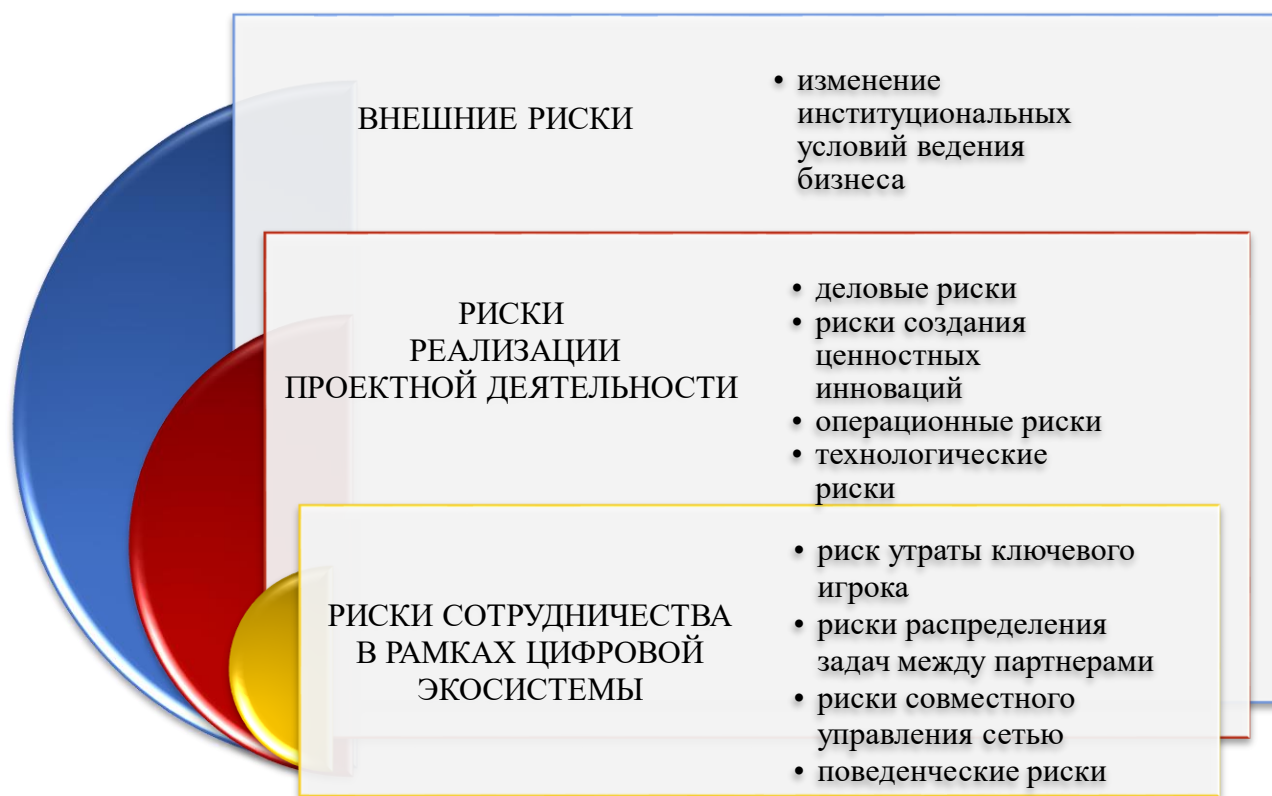


Рис. 2. Модель рисков коллаборативного участия в цифровой экосистеме

Рассматривая составляющие второго слоя проектных рисков, были выделены:

✓ деловые риски – это риски, которые связаны с невозможностью дальнейшего ведения бизнеса. Распознавание данного типа рисков включает следующие составляющие: возможность коммерциализации инновационных продуктов и технологий, их конкурентоспособность, оценка финансовой устойчивости и деловой активности, исследования конкурентов, кастомизация и др.;

✓ операционные риски – это риски, которые связаны с возможностью выполнять текущие задачи по управлению. Распознавание этих рисков включает аспекты по организации оперативного управления компанией и ее деятельностью;

✓ риски создания ценностных инноваций. Эти риски показывают возможность внедрения инновационной стратегии создания нового продукта, особой ценности для клиентов и перспективы развития на новых, неохваченных рынках, на которых отсутствует конкуренция, так называемых голубых океанах (Blue Ocean Strategy), в отличие от традиционных рынков, характеризующихся высокой конкуренцией (Red Ocean Strategy);

✓ технологические риски связаны с реализацией технологических инноваций.

Третья группа коллаборативных рисков связана с рисками сотрудничества в цифровой экосистеме.

Экосистему характеризует совокупность отношений в части распределения знаний, опыта, технологий, ресурсов, решения совместных задач, которые появляются между большим количеством субъектов. В данном слое можно выделить четыре вида рисков, которые могут возникнуть при взаимодействии субъектов в экосистеме:

✓ риск утраты ключевого игрока, который связан с компанией являющейся ядром экосистемы, обладающей наибольшими ресурсами и исключительными компетенциями и выполняющей наиболее сложные задачи. Распознавание данных видов рисков состоит в постановке следующих вопросов: имеется ли в рассматриваемой экосистеме компания, располагающая уникальными компетенциями, или имеющая доступ к особым ресурсам? При

выходе данной компании из системы, смогут ли другие участники достичь поставленной цели?

✓ риски распределения задач между партнерами возникают при распределении задач между партнерами внутри экосистемы. Выявление этих рисков включает постановку следующих вопросов: имеют ли участники экосистемы доступ ко всем необходимым знаниям, ресурсам, технологиям? Обладают ли эти компании компетенциями и возможностями, необходимыми для достижения поставленных задач? Насколько пропорционально между участниками распределена рабочая нагрузка?

✓ риски совместного управления сетью связаны с иерархией полномочий и структурой связей в инновационной экосистеме. Распознавание этого риска отвечает на следующие вопросы: может ли компания каждый раз при любой необходимости запрашивать помощь? Централизованным или децентрализованным является общение внутри системы?

✓ поведенческие риски связаны с особенностями отношений, устанавливающихся между партнерами. Распознавание включает в себя оценку рисков при передаче основных компетенций другим участникам экосистемы.

Таким образом, глобальные масштабы конкуренции приводят инновационно развитые компании к необходимости для реализации инновационных процессов делиться своими разработками с малыми инновационными предприятиями, располагающими меньшими финансовыми и технологическими ресурсами и имеющими меньшие возможности для доступа к внешним источникам.

На этом фоне практически реализуемым способом увеличения присутствия компаний на рынках является использование сетевой формы организации бизнеса. По мнению специалистов, компании, участвующие в нескольких типах совместных связей, в их конкурентном контексте являются более инновационными [10].

Нужно заметить, что при открытых инновациях фокус направлен преимущественно на начальные этапы инновационного процесса. Малые инновационные компании не имеют в распоряжении достаточные ресурсы и возможности для финансирования собственных НИОКР, производства, распространения, маркетинга, которые являются необходимыми для перехода от изобретения к технологическому процессу или продукту серийного или мелкосерийного производства. Малые компании тормозит недостаток специализированных рабочих, нехватка актуальной технологической информации, информации о перспективных тенденциях рынка, отсутствие необходимой инфраструктуры для инновационной деятельности.

Но при этом малые и средние предприятия обладают спецификой и гибкостью, что может стать преимуществом при ускорении инноваций. Технологии становятся более сложными, что обуславливает не ограниченность их одним предприятием. Инновационные знания становятся доступными для нескольких компаний, и их сотрудничество становится определяющим фактором конкурентного успеха.

Заключение.

При использовании внешних ресурсов компании, входящие в экосистему, могут сократить сроки инновационного процесса, предотвратить многие риски, снизить затраты, повысить эффективность производства. Особенно важным такое сотрудничество становится для компаний, которые имеют ограничения в ресурсах. На начальном этапе компании-инноваторы более расположены к использованию внешних партнерств, что дает им возможность сфокусироваться на развитии собственных уникальных навыков в ограниченном круге технологических задач.

Процесс взаимодействия участников внутри системы способствует обмену опытом и ускоряет процесс обучения. При развитии общего инновационного продукта происходит уменьшение целого ряда трудностей, которые может сильно ощущать отдельно взятая компания, однако, при межфирменном взаимодействии редуцируются новые риски и угрозы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Edwards, P. J.** Risk Management in Project Organization / P. J. Edwards, P. A. Bowen. – Sydney: University of New South Wales Press. – 2005. – 189 p.
2. **Казарцева, А. И.** Инновационные подходы к формированию и развитию цифровых компетенций / А. И. Казарцева, Н. В. Колосова, И. И. Переславцева // Регион: системы, экономика, управление. – 2019. – № 3(46). – С. 50-53.
3. **Сироткина, Н. В.** Управление техногенными рисками инновационной деятельности экосистемы / Н. В. Сироткина, И. И. Переславцева, В. Е. Панченко, А. В. Батова // В сборнике: энергетическое управление муниципальными объектами и устойчивые энергетические технологии. Сборник трудов по материалам XXI Международной научной конференции. Воронеж. – 2020. – С. 56-64.
4. **Яременко, С. А.** Управление рисками в ходе цифровой трансформации / С. А. Яременко, Н. В. Колосова, И. И. Переславцева // В сборнике: Цифровая трансформация в экономике транспортного комплекса. Развитие цифровых экосистем: наука, практика, образование. Материалы II-ой международной научно-практической конференции. Москва. – 2020. – С. 388-391.
5. **Adner, R.** Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem / R. Adner // Harvard Business Review. – 2006. – № 84(4). – С. 98-107.
6. **Adner, R.** Ecosystem as Structure: An Actionable Construct for Strategy / R. Adner // Journal of Management. – 2017. – № 43(1). – С. 39-58.
7. **Adner, R.** Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations / R. Adner, R. Kapoor // Strategic Management Journal. – 2010. – № 31. – С. 306-333.
8. **Vaz, L.** A new conceptual model for business ecosystem visualization and analysis / L. Vaz, A. Nogueira, M. de Souza Rodrigues, P. de Souza Chimenti // SciELO Analytics. – 2013. – № 17(1). – С. 1-17.
9. **Pierce, L.** Big losses in ecosystem niches: how core firm decisions drive complementary product shakeouts / L. Pierce // Strategic Management Journal. – 2008. – № 30(3). – С. 323-347.
10. **Baum J. A. C.** Don't go it alone: Alliance network composition and startups' performance in Canadian biotechnology/ J. A. C., Baum, T. Calabrese, B.S. Silverman Strategic Management Journal. – 2000. – № 21(3). – С. 267-294.

Поступила в редакцию 19 апреля 2022

RESEARCH OF THE PARTICIPATION RISKS IN INNOVATIVE ECOSYSTEMS

I. I. Pereslavl'tseva

Inna Igorevna Pereslavl'tseva, Cand. Sc. (Economics), Associate Professor at the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-30-00; e-mail: u00105@vgasu.vrn.ru

I conducted a study of the risks arising from the participation of companies in innovative ecosystems. I considered the categories of the concept of risk worked out by domestic scientists. As well I analyzed the studies considering additional risks when creating joint innovation environment. The main identified risk groups of collaborative participation in the innovation ecosystem are: risks of interdependence, risks of integration, initiative risks, risks of opportunistic behavior, as well as risks of power imbalance. I offered a three-layer model of risks of

collaborative participation in the digital ecosystem arising from joint cooperation. I also considered features of participation in innovation ecosystems of large and small companies. I made the conclusion about the need to use network forms of business organization to increase the presence of companies in the markets in the context of global competition.

Keywords: innovation; ecosystem; risk; innovation activity; digital economy; innovation environment.

REFERENCES

1. **Edwards P. J., Bowen P. A.** *Risk Management in Project Organization*. University of New South Wales Press Sydney. 2005. 189 p.
2. **Kazartseva A. I., Kolosova N. V., Pereslavytseva I. I.** *Innovative approaches to the formation and development of digital competencies*. Region: systems, economics, management. 2019. No. 3(46). Pp. 50-53. (in Russian)
3. **Sirotkina N. V., Pereslavytseva I. I., Panchenko V. E., Batova A. V.** *Management of technogenic risks of ecosystem innovation activity*. In the collection: energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies. Collection of works based on the materials of the XXI International Scientific Conference. Voronezh. 2020. Pp. 56-64. (in Russian)
4. **Yaremenko S. A., Kolosova N. V., Pereslavytseva I. I.** *Risk management during digital transformation*. In the collection: Digital transformation in the economy of the transport complex. Development of digital ecosystems: science, practice, education. Materials of the II-th International Scientific and practical Conference. Moscow. 2020. Pp. 388-391. (in Russian)
5. **Adner R.** *Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem*. Harvard Business Review. 2006. No. 84(4). Pp. 98-107.
6. **Adner R.** *Ecosystem as Structure: An Actionable Construct for Strategy*. Journal of Management. 2017. No. 43(1). Pp. 39-58.
7. **Adner R., Kapoor R.** *Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations*. Strategic Management Journal. 2010. No. 31. Pp. 306-333.
8. **Vaz L., Nogueira A., de Souza Rodrigues M., de Souza Chimenti P. A.** *New conceptual model for business ecosystem visualization and analysis*. SciELO Analytics. 2013. No. 17(1). Pp. 1-17.
9. **Pierce L.** *Big losses in ecosystem niches: how core firm decisions drive complementary product shakeouts*. Strategic Management Journal. 2008. No. 30(3). Pp. 323-347.
10. **Baum J. A. C., Calabrese T., Silverman B. S.** *Don't go it alone: Alliance network composition and startups' performance in Canadian biotechnology*. Strategic Management Journal. 2000. No. 21(3). Pp. 267-294.

Received 19 April 2022

Для цитирования:

Переславцева, И. И. Исследование рисков участия в инновационных экосистемах / И. И. Переславцева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 115-122. – DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.012.

FOR CITATION:

Pereslavytseva I. I. *Research of the participation risks in innovative ecosystems*. Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 115-122. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.012. (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. Объём рукописи – от 5 до 10 страниц, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

Структура статьи:

русскоязычная часть:

- ✓ **индекс УДК** – в левом верхнем углу, прописными буквами (шрифт 12 пт, обычный);
- ✓ **название статьи** – прописными буквами с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **инициалы, фамилии авторов**, с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **сведения об авторах**: последовательно для каждого – фамилия, имя, отчество, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почётные звания не указывать), должность, наименование учреждения, в котором работает автор, город, страна, контактный телефон; e-mail автора, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **аннотация** объёмом от 200 до 250 слов, выравнивание по ширине, отступ слева и справа 1 см (шрифт 11 пт, обычный);

✓ **ключевые слова** от 5 до 12 слов, указывающие на принципиально важные объекты и особенности исследования, отделяются друг от друга точкой с запятой, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **текст статьи** (в тексте статьи должны быть отражены: актуальность проблемы, оценка степени ее разработанности, цели, задачи и методы решения научной задачи, полученные результаты). В конце статьи обязательно приводится **заключение**.

При оформлении текста статьи следует придерживаться следующих требований:

✓ русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) в тексте, формулах, подписях к рисункам и в таблицах набираются прямым шрифтом; латинские буквы – курсивом;

✓ в статье должен быть необходимый минимум формул, которые:

❖ следует набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType;

❖ начинать с красной строки;

❖ располагать по центру и нумеровать арабскими цифрами в скобках у правого края страницы;

❖ ссылки на формулы в тексте – арабскими цифрами в скобках;

✓ рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и добавлены в текст после первого упоминания;

✓ до и после рисунка и таблицы необходимо сделать пробел (шрифт 12 пт);

✓ иллюстрации представляются в редакцию

❖ в виде отдельных файлов (рисунков и фотографий), записанных с расширением .TIFF или .JPEG; линии чертежа – не тоньше 1 пт; иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей;

❖ подписи к рисункам нумеруются и располагаются под ними, выравнивание текста по центру (шрифт 10 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ таблицы оформляются следующим образом:

❖ шрифт выбирается автором самостоятельно с учетом возможности качественного чтения текста;

❖ наименования в таблицах даются полностью, без сокращения слов;

❖ номер таблицы располагается отдельно, выравнивание текста по правому краю (шрифт 10 пт, обычный);

❖ название таблицы размещается над таблицей, выравнивание текста по центру (шрифт 11 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**, составляемый по следующим правилам;

❖ список используемой литературы должен включать не менее 10 источников;

❖ шрифт 12 пт, выравнивание текста по ширине, абзацный отступ 1 см;

❖ в список включаются *только опубликованные работы*, в порядке упоминания в статье; ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках;

❖ в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТ, СП, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) – ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстраничных сносок;

❖ библиографические описания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003; включенные в текст статьи или подстраничные библиографические ссылки следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008;

❖ ссылки на интернет-сайты не допускаются; для статей из зарегистрированных *электронных журналов* указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;

англоязычная часть:

✓ **название статьи;**

✓ **инициалы, фамилии авторов**, выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);

✓ **сведения об авторах** – последовательно для каждого: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученые звания, должность, название организации (учреждения), города, страны, контактный телефон; e-mail автора; выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **аннотация:** перевод, идентичный русскому варианту;

✓ **ключевые слова** (Keywords);

✓ **библиографический список** (REFERENCES).

ISSN 2541-9110



22 >

9 772541 911022