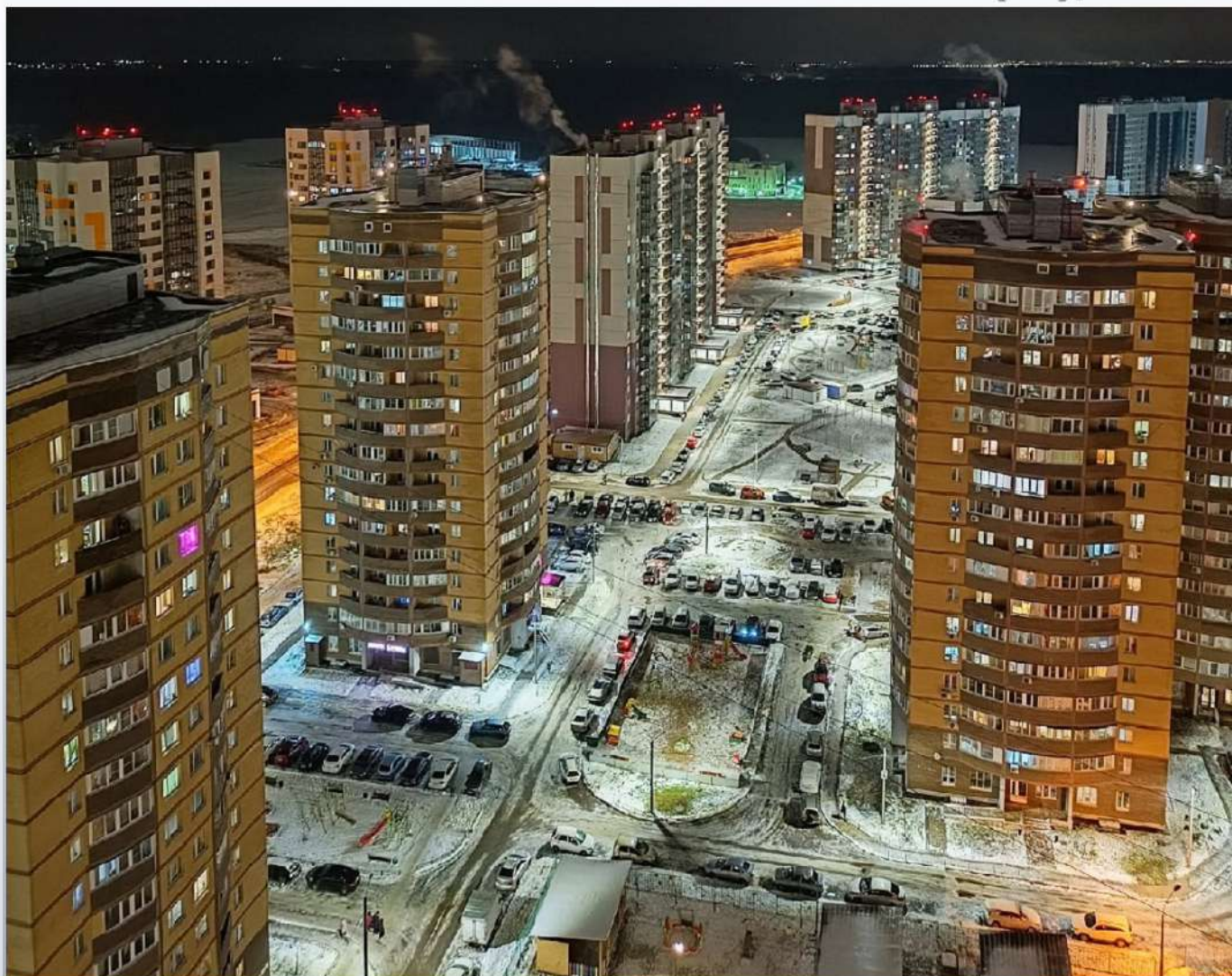


ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 4(23), 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

№ 4(23), 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



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



ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Scientific journal

Voronezh State Technical University

Housing and Utilities Infrastructure



The journal has been publishing since 2017

Founder and publisher:

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

Address of the publisher and founder:

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

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

Published 4 times a year

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

Journal publishes materials on the following topics:

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

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

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

Subscription index in the «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)

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

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

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

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

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

Дизайн обложки: Якубенко А. В. *Фото обложки:* Землянухина Т. А.

Редактор перевода: Козлова В.В.

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

Дата выхода в свет 27.12.2022. Усл. печ. л. 13,3. 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 – Mariya Nikolaevna Zherlykina, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services (Voronezh State Technical University)

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

Cover design: A. V. Yakubenko *Cover photo:* T. A. Zemlyanukhina

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 27.12.2022. Conventional printed sheets 13,3. 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., Шмелев А. Г.

Расчет остаточного срока службы железобетонных конструкций шахты реактора энергоблока АЭС.....9

Головина Е. В., Калач А. В., Калач Е. В.

Синхронный термический анализ силиконовых и эпоксидных тонкослойных вспучивающихся огнезащитных материалов.....21

Самакалёв С. С.

Металлоемкость стальных ферм со стержнями переменного сечения.....28

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

Китаев Д. Н., Тульская С. Г.

Обоснование оптимальной компоновки экономайзера по техническим критериям.....37

Драпалюк Д. А., Драпалюк Н. А., Исанова А. В., Кононова М. С.

Особенности тепловлажностного режима чердачных помещений детских садов со скатными кровлями.....44

Новосельцев Б. П., Лобанов Д. В., Звенигородский И. И., Сафонов С. А.

Совершенствование конструкции местного отсоса в системах вытяжной вентиляции гальванического цеха.....52

Анциферов С. А., Маслова Н. В., Грызунова Л. В.

Влияние изменений ландшафта на формирование ливневого стока.....61

Бахметьев А. В., Помогаева В. В., Хузин В. Ю.

Обезжелезивание воды фильтрами с прессованной загрузкой.....70

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

Шутка А. В.

Градостроительные аспекты размещения многофункционального комплекса в городской структуре.....79

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Ширниех А. А.

Компьютерное моделирование камеры перемешивания комбифильтра для очистки сточных вод87

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Дементьева М. Е., Кожеевникова И. В., Соколова С. Е.

Сравнение технико-экономических показателей теплоизоляционных окрасочных покрытий трубопроводов при капитальном ремонте жилищного фонда.....95

Провоторов И. А., Кудрявцева И. С., Переславцева И. И.

Повышение энергетической эффективности в условиях цифровой трансформации сферы ЖКХ.....105

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....113

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

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

Calculation of the residual life of reinforced concrete structures
in the reactor shaft of the NPP power unit9

Golovina E. V., Kalach A. V., Kalach E. V.

Synchronous thermal analysis of silicone and epoxy thin-layer intumescent
fire-retardant materials.....21

Samakalev S. S.

Metal intensity of steel trusses with rods of variable cross-section.....28

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

Kitaev D. N., Tulskeya S. G.

Justification of the optimal arrangement of the economizer in accordance
with technical criteria.....37

Drapalyuk D. A., Drapalyuk N. A., Isanova A. V., Kononova M. S.

Features of the heat and humidity conditions of attic rooms
of kindergartens with pitched roofs44

Novoseltsev B. P., Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A.

Improving the design of local suction in the exhaust ventilation systems
of the galvanic shop.....52

Antsiferov S. A., Maslova N. V., Gryzunova L. V.

The impact of landscape changes on stormwater runoff.....61

Bahmetev A. V., Pomogaeva V. V., Khuzin V. Yu.

Water deferrization through filters with pressed loading.....70

URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

Shutka A. V.

Urban planning aspects of a multifunctional complex arrangement in urban area.....79

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

Shirniekh A. A.

Computer simulation of the mixing chamber of a combifilter for wastewater treatment.....87

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

Dement'eva M. E., Kozhevnikova I. V., Sokolova S. E.

Comparison of technical and economic indicators of heat-insulating paint
coatings of pipelines during major repairs of the housing facilities.....95

Provotorov I. A., Kudryavtseva I. S., Pereslavytseva I. I.

Increase in energy efficiency in the context of digital transformation of the housing
and communal services sector.....105

WRITING RULES AND GUIDELINES.....113

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.001

УДК 624.07: 001.5

РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ШАХТЫ РЕАКТОРА ЭНЕРГОБЛОКА АЭС

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

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

Ишков Алексей Николаевич, 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: ishkov1.78@mail.ru

Шмелев Андрей Геннадьевич, аспирант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: avdeev1401@yandex.ru

В статье рассмотрен авторский подход к выполнению прогноза и расчетов остаточного срока службы железобетонной шахты реактора типа ВВЭР на примере третьего энергоблока Кольской атомной станции. Методика расчета учитывает радиационные и температурные воздействия на бетон шахты реактора, изменения прочности бетона шахты реактора во времени, а также вероятные возникновения проектной и запроектной аварийных ситуаций. Влияние радиационного воздействия на бетон шахты реактора учтено за счет флюенса нейтронов, контроль которого выполняется на станции регулярно. Авторами по результатам контроля флюенса нейтронов выполнен прогноз накопления нейтронов в бетоне шахты реактора и произведена оценка прогноза влияния флюенса нейтронов на бетон шахты реактора. На основании данных руководящей документации и справочной литературы авторами разработана методика учета наиболее вероятного развития процесса старения (деградации) бетона шахты реактора. На основании построенных прогнозных моделей выполнен прогноз времени снижения прочности бетона шахты реактора ниже первоначальных проектных значений. На основании проектной документации по шахте реактора определены наиболее вероятные причины, способные привести к возникновению аварийной ситуации с реактором, определены наиболее ответственные участки опорных конструкций, их размеры и особенности передачи нагрузки на бетон шахты реактора. Выполнены соответствующие поверочные расчеты несущей способности бетона шахты реактора, с учетом проектного армирования, по прочности на смятие под опорным кольцом реактора. На основании результатов выполненных поверочных расчетов произведено прогнозирование остаточного срока службы бетона шахты реактора с учетом радиационного воздействия, а также с учетом температурных воздействий при проектной и запроектной авариях.

Ключевые слова: методика прогнозирования; остаточный срок службы; шахта реактора; радиационные и температурные воздействия; прочность бетона; расчет на смятие.

В рамках проведенных работ по обследованию технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, расположенных на площадке третьего энергоблока Кольской АЭС, выполненных в 2005 году, с участием автора было выполнено расчетное обоснование остаточных сроков службы строительных конструкций реакторного отделения, в том числе монолитной железобетонной шахты реактора.

В работах автора и его коллег начиная с начала 2000-х годов публикуются материалы,

связанные с прогнозированием остаточного ресурса железобетонных строительных конструкций [1...5], посвященные особенностям методик прогнозирования [6...11], деталям и особенностям мониторинга и прогнозирования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений различного назначения [12...14].

При выполнении расчетного обоснования остаточного срока службы помимо методики, изложенной в руководящих документах, основанной на механике разрушения бетона, были использованы наработки автора, изложенные в работах [7...11].

Методика расчета остаточного срока службы железобетонной стенки шахты реактора, разработанная автором и его коллегами, основана на проверке прочности на местное сжатие (смятие) бетона от действия вертикальных нагрузок, а также радиационные и температурные воздействия. В расчетах учитывается одновременное снижение прочности бетона при длительном и кратковременном повышении температуры, а также от воздействия флюенса нейтронов. При выполнении расчетов учитывается изменение температуры вблизи опорной зоны реактора при нормальных условиях эксплуатации, а также изменение температуры бетона при возникновении запроектной аварии.

Представленные Заказчиком сведения по флюенсу нейтронов относятся к внешней стенке корпуса реактора (рис. 1). При этом следует отметить, что флюенс нейтронов по периметру реактора неравномерен. Общая продолжительность 20 компаний (с марта 1981 по март 2006 года), по данным Заказчика, составляет 6358,2 эффективных суток.

Температурный режим бетона шахты реактора в нормальных условиях эксплуатации поддерживается на уровне $+43...57\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в среднем за сутки по данным технологического контроля по датчикам ЗУС-58 и ЗУС-57 соответственно). За эксплуатационный предел принята температура под сильфоном $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$ (по данным регламента № 3-48-0847 – архивные данные).

В случае возникновения запроектной аварии продолжительность действия максимальной температуры оценивается в 24 часа.

Анализ предоставленных Заказчиком значений флюенса нейтронов (рис. 2), показал, что в процессе эксплуатации происходит их равномерный прирост.

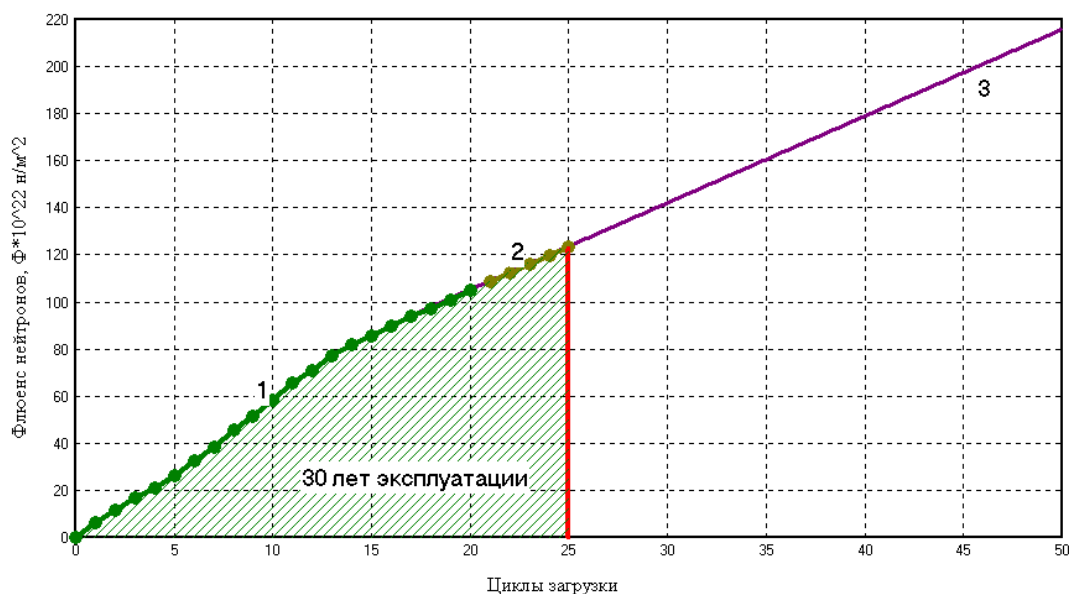


Рис. 1. Флюенс нейтронов на стенке реактора третьего блок:

- 1 – реальные значения флюенса по измерениям отдела ядерной безопасности КолАЭС;
- 2 – прогнозные значения по данным ОЯБ КолАЭС; 3 – прогнозные значения по линейной регрессии

Падение интенсивности флюенса нейтронов на бетоне шахты реактора происходит за счет конструкций сухой защиты толщиной 695 мм. Величина коэффициента снижения

флюенса нейтронов за сухой защитой составляет 14,55. Графически модель накопления флюенса на внешней стене бетона шахты представлена на рис. 2.

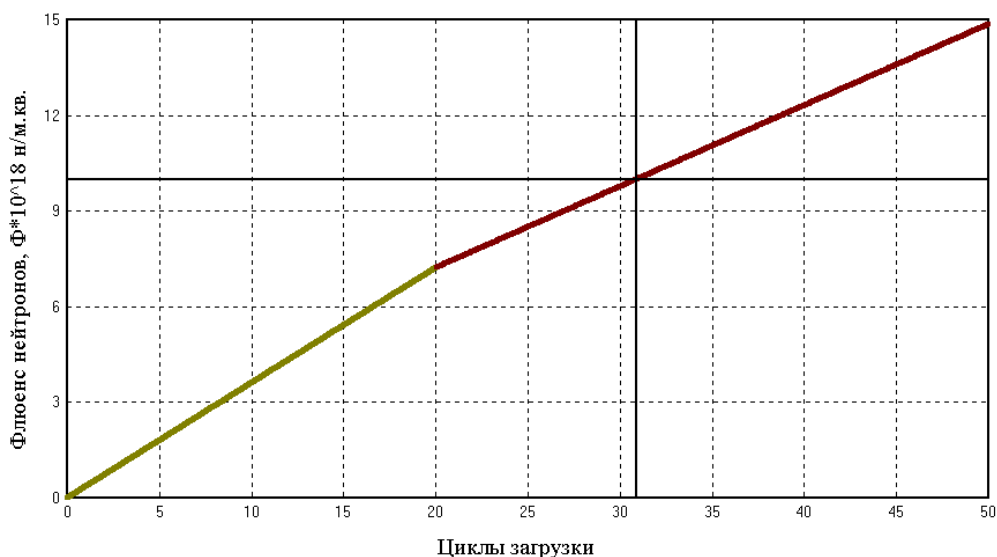


Рис. 2. Модель флюенса нейтронов на внутренней стенке бетонной шахты реактора

В РД ЭО-0462-03 «Методика по обоснованию срока службы строительных конструкций зданий и сооружений атомных станций с РБМК» указывается, что «... изменение свойств бетона, в основном, зависит от изменения свойств заполнителей при облучении быстрыми нейтронами, и начинает проявляться после действия интегрального потока нейтронов 1019 нейтр./см²». Следовательно, начиная с момента завершения 31 цикла, возможно изменение свойств бетона от воздействия потока быстрых нейтронов (ориентировочно с апреля 2017 года). Графически модель наиболее вероятного снижения прочности бетона в результате флюенса нейтронов на внутренней поверхности шахты реактора представлена на рис. 3.

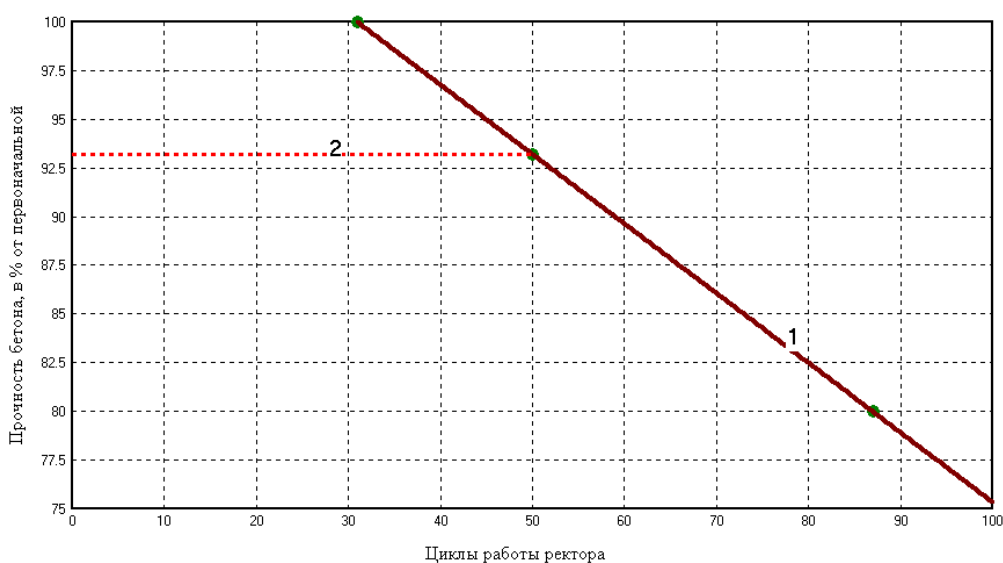


Рис. 3. Модель снижения прочности бетона на внутренней поверхности шахты реактора в результате воздействия флюенса нейтронов:

- 1 – математическая модель снижения прочности бетона в результате флюенса нейтронов;
- 2 – доля снижения прочности бетона на момент окончания 50 цикла работы реактора

Из представленного на рис. 3 графика видно, что к моменту окончания 50 цикла работы реактора прочность бетона стен шахты реактора под воздействием флюенса нейтронов снизится на величину 93,21 % от первоначальной прочности бетона.

По данным проведенных испытаний на момент обследования прочность бетона стен реакторного отделения соответствует бетону класса В20,93 (М267). В соответствии с представленной моделью к моменту окончания 50 цикла (ориентировочно март 2036 года) снижение прочности бетона под воздействием флюенса нейтронов приведет к снижению класса бетона до В19,0 (М242).

Принятые для дальнейших расчетов значения температур и продолжительность их воздействия на конструкции шахты реактора (по данным предоставленным инженерной службой поддержки Кольской АЭС) сведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные значения температур и продолжительность их воздействия

Наименование показателя	На момент окончания строительства	В условиях нормальной эксплуатации	При возникновении запроектной аварии
Температура бетона шахты, °С	+25	+57	+140
Продолжительность воздействия	-	30 лет	24 часа

Фактическое значение прочности бетона стен шахты реактора определено с использованием разрушающего (отбор образца из стены) и неразрушающего методов (упругого отскока) контроля прочности бетона. Фактическая прочность бетона стен шахты реактора на момент проведения обследования, по результатам статистической обработки, соответствует классу бетона по прочности В20,93 (марка М260).

Прогноз изменения прочности бетона в ходе эксплуатации учитывает:

- ✓ начальную (проектную) прочность бетона, заложенную в конструкцию;
- ✓ условия твердения бетона в процессе эксплуатации;
- ✓ фактическую прочность бетона на момент проведения обследования.

Последовательность построения зависимости изменения прочности бетона во времени представлена следующими этапами:

Этап 1. Любым из известных методов разрушающего и (или) неразрушающего контроля определяется фактическая прочность бетона исследуемой конструкции.

Этап 2. С использованием, приведенной в РД ЭО-0462-03 «Методика по обоснованию срока службы строительных конструкций зданий и сооружений атомных станций с РБМК» формулы проводится оценка изменений прочности бетона конструкции во времени в зависимости от условий эксплуатации:

$$R(t) = M \cdot (1 + K \cdot \lg t) - \Delta \cdot (t - 0,077), \quad (1)$$

где M – проектная марка бетона, K – коэффициент, учитывающий температурно-влажностные условия эксплуатации бетона, t – продолжительность эксплуатации, Δ – уровень снижения прочности бетона.

Принимая значение $\Delta = 0$ определяем значение теоретической прочности бетона при сложившихся условиях эксплуатации.

Этап 3. Исходя из реального срока эксплуатации сооружения и фактических значений прочности бетона, найденных в этапах 1 и 2, определяем уровень снижения прочности бетона по формуле:

$$\Delta = \frac{R^{\text{теор}}(t) - R^{\text{факт}}(t)}{T_{\text{эксп}}}, \quad (2)$$

где $R^{\text{теор}}(t)$ – значение теоретической прочности бетона (формула (2)), $R^{\text{факт}}(t)$ – значение фактической прочности бетона, определенное на этапе 1, $T_{\text{эксп}}$ – продолжительность эксплуатации сооружения до проведения обследования.

Этап 4. По формуле (1) строим фактический график изменения прочности бетона во времени. Проектное значение прочности бетона, заложенного в конструкции стен шахты реактора, соответствует марке М200 (чертеж № 906433 Армирование стен шахты аппарата). За фактическое значение прочности на момент проведения обследования принято значение, равное 267 кгс/см^2 (получено по результатам обследования шахты реактора).

Графическое представление прогноза изменения прочности бетона шахты реактора во времени представлено на рис. 4.

Как видно из представленного графика снижение прочности бетона стен шахты реактора ожидается после 40 цикла работы реактора. Дальнейшее снижение прочности бетона ожидается с интенсивностью $0,67 \text{ кгс/см}^2$ в год. По выполненному прогнозу (см. рис. 5) снижение прочности бетона ниже проектной марки М200 не ожидается на срок до 100 циклов работы реактора.

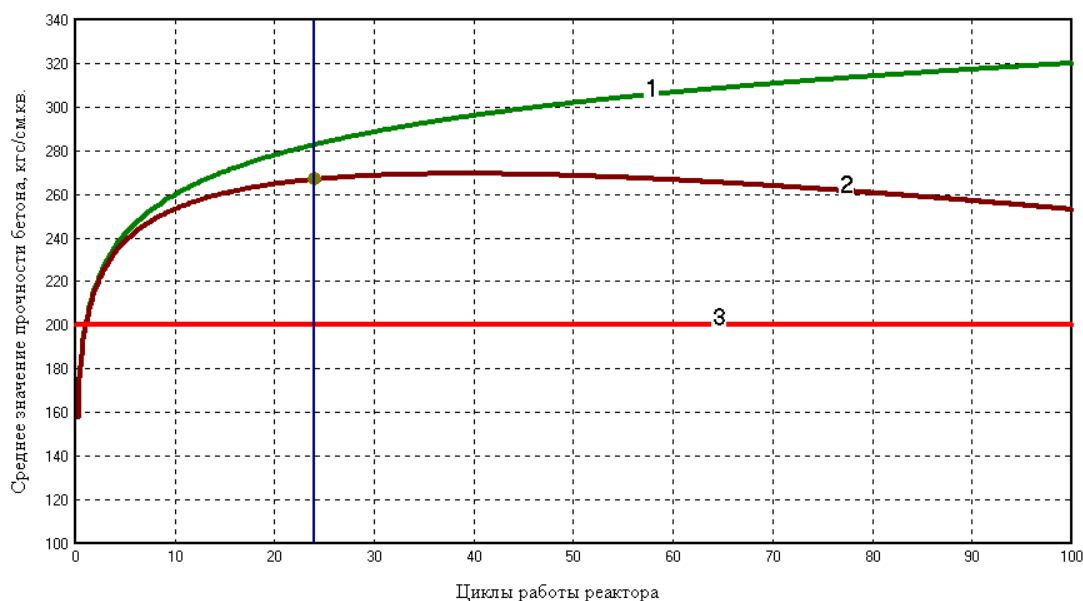


Рис. 4. Ориентировочный прогноз изменения прочности бетона стенки шахты реактора во времени: 1 – теоретическая кривая набора прочности бетона в условиях нормальной влажности; 2 – прогнозируемое изменение прочности бетона в реальных условиях эксплуатации; 3 – проектная марка бетона конструкции

Вид графика снижения прочности бетона на внутренней поверхности шахты реактора с учетом снижения прочности бетона под воздействием флюенса нейтронов представлен на рис. 5.

Как видно из представленного на рис. 5 графика снижение прочности бетона ниже проектных значений ожидается только после 91 цикла работы реактора (ориентировочно 2072 год).

Работоспособность и надежность реактора будет обеспечена в случае обеспечения его проектного положения. Любое нарушение проектного положения реактора может быть связано с разрушением бетона под опорной зоной стальных конструкций реактора. Разрушение бетона при существующем опирании реактора на стены железобетонной шахты возможно только от местного сжатия (смятия) бетона под нагрузкой от собственного веса реактора. Вертикально действующая нагрузка, от реактора в снаряженном состоянии (по дан-

ным представленным службой инженерной поддержки Кольской ФЭС) – 725 т; дополнительная вертикальная нагрузка при проведении ППР – 1960 кН. Суммарная нагрузка – 9210 кН.

Опираение реактора осуществляется на опорные стальные фермы (48 шт.) заделанные в бетон шахты реактора.

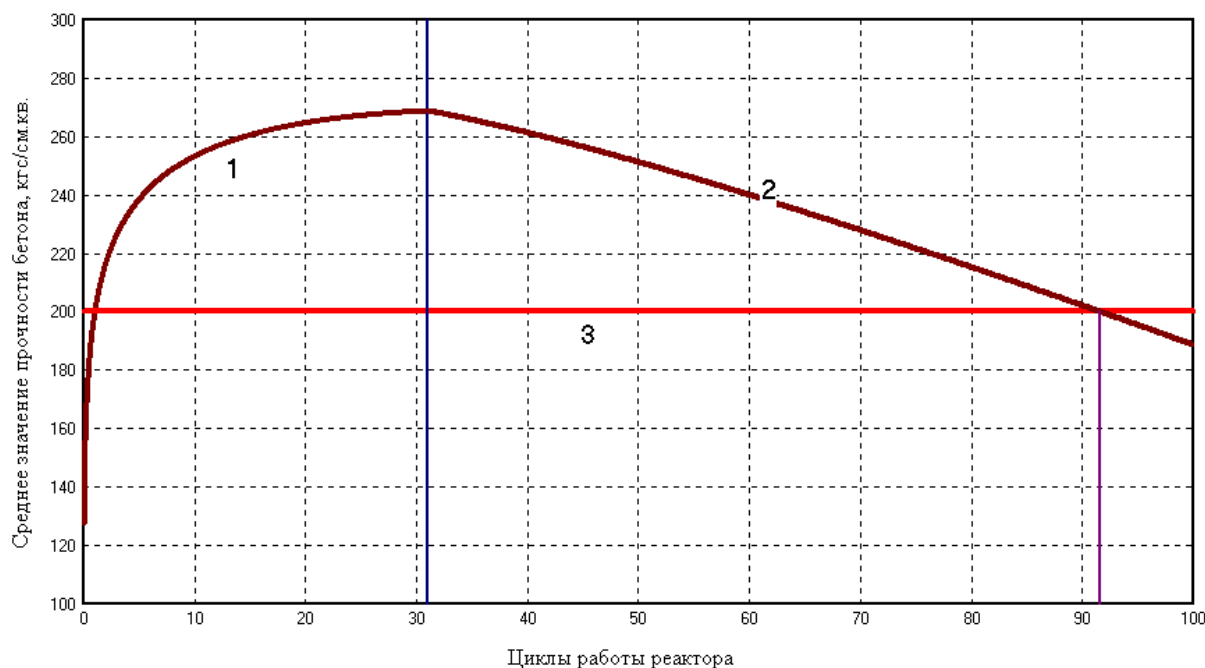


Рис. 5. Прогноз снижения прочности бетона в условиях эксплуатации с учетом флюенса нейтронов на внутренней поверхности шахты реактора: 1 –прогнозируемый рост прочности бетона без учета флюенса нейтронов; 2 – прогнозируемое снижение прочности бетона с учетом флюенса нейтронов; 3 – проектная прочность бетона стен шахты

Внешние условия эксплуатации на момент окончания строительства принимаем при температуре +25 °С. Результаты расчета прочности бетона на смятие под опорой, с учетом прочности бетона по паспортным данным, сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета прочности на смятие

Расчетный показатель	Единицы измерения	Значение
Площадь внутри контура сеток косвенного армирования, $A_{b,loc,ef}$	м ²	0,24
Площадь приложения сжимающей силы, $A_{b,loc}$	то же	0,193
Максимально возможная площадь смятия бетона, $A_{b,max}$	"-"	0,403
Коэффициент косвенного армирования, $\mu_{s,xу}$	-	0,0014
Коэффициент, $\varphi_{s,xу}$	-	1,445
Коэффициент, φ_b	-	1,156
Расчетное сопротивление бетона сжатию при местном действии сжимающей силы, $R_{b,loc}$	МПа	11,00
Приведенное с учетом косвенной арматуры в зоне местного сжатия расчетное сопротивление бетона сжатию, $R_{bs,loc}$	МПа	11,70
Прочность бетона на смятие (местное сжатие)	кН	1693,58
Действующая нагрузка на участке	то же	191,88
Коэффициент запаса прочности	-	8,82

Поскольку температура на поверхности и внутри бетона в районе местной передачи нагрузок от кольцевого бака для нормальных условий эксплуатации не превышает 45,8 °С, то расчет на местное разрушение бетона производим без учета действия повышенных температур. Результаты расчета прочности бетона на смятие под опорой кольцевого бака на момент проведения обследования, с учетом фактической прочности бетона, сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета прочности на смятие в момент обследования

Расчетный показатель	Единицы измерения	Значение
Площадь внутри контура сеток косвенного армирования, $A_{b,loc,ef}$	м ²	0,24
площадь приложения сжимающей силы, $A_{b,loc}$	то же	0,193
Максимально возможная площадь смятия бетона, $A_{b,max}$	-"	0,403
Коэффициент косвенного армирования, $\mu_{s,xу}$	-	0,0014
Коэффициент, $\varphi_{s,xу}$	-	1,445
Коэффициент, φ_b	-	1,156
расчетное сопротивление бетона сжатию при местном действии сжимающей силы, $R_{b,loc}$	МПа	12,61
приведенное с учетом косвенной арматуры в зоне местного сжатия расчетное сопротивление бетона сжатию, $R_{bs,loc}$	МПа	13,31
Прочность бетона на смятие (местное сжатие)	кН	1926,62
Действующая нагрузка на участке	то же	191,88
Коэффициент запаса прочности	-	10,04

Средняя температура бетона для условий запроектной аварии на площади смятия составляет 140 °С. Коэффициент условий работы бетона γ_{bt} , принимаемый в зависимости от средней температуры бетона площади смятия равен 0,86. В условиях одновременного длительного действия температуры и воздействия воды (перегретого пара) коэффициент условий работы бетона равен 0,48. Результаты расчета прочности бетона на смятие под опорой кольцевого бака на момент проведения обследования, с учетом фактической прочности бетона и коэффициентов условий работы, сведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчета прочности на смятие в момент обследования с учетом коэффициентов условий работы

Расчетный показатель	Единицы измерения	Значение
Площадь внутри контура сеток косвенного армирования, $A_{b,loc,ef}$	м ²	0,24
Площадь приложения сжимающей силы, $A_{b,loc}$	то же	0,193
Максимально возможная площадь смятия бетона, $A_{b,max}$	-"	0,403
Коэффициент косвенного армирования, $\mu_{s,xу}$	-	0,0014
Коэффициент, $\varphi_{s,xу}$	-	1,445
Коэффициент, φ_b	-	1,156
При кратковременном нагреве бетона ($\gamma_{bt} = 0.86$)		
Расчетное сопротивление бетона сжатию при местном действии сжимающей силы, $R_{b,loc}$	МПа	11,34
Приведенное с учетом косвенной арматуры в зоне местного сжатия расчетное сопротивление бетона сжатию, $R_{bs,loc}$	МПа	12,04
Прочность бетона на смятие (местное сжатие)	кН	1656,89
Действующая нагрузка на участке	то же	191,88
Коэффициент запаса прочности	-	8,63

Окончание табл. 4

Расчетный показатель	Единицы измерения	Значение
При длительном нагреве бетона с увлажнением ($\gamma_{bt} = 0.48$)		
Расчетное сопротивление бетона сжатию при местном действии сжимающей силы, $R_{b,loc}$	МПа	7,57
Приведенное с учетом косвенной арматуры в зоне местного сжатия расчетное сопротивление бетона сжатию, $R_{bs,loc}$	МПа	8,27
Прочность бетона на смятие (местное сжатие)	кН	924,77
Действующая нагрузка на участке	то же	191,88
Коэффициент запаса прочности	-	4,82

Прогнозирование остаточного срока службы производим на основании данных, полученных из расчета прочности на смятие с учетом длительного и кратковременного нагрева бетона в процессе эксплуатации (рис. 6). В случае возникновения запроектной аварии в любой момент времени срок эксплуатации конструкции железобетонной шахты реактора составляет более 100 циклов работы реактора от начала эксплуатации сооружения.

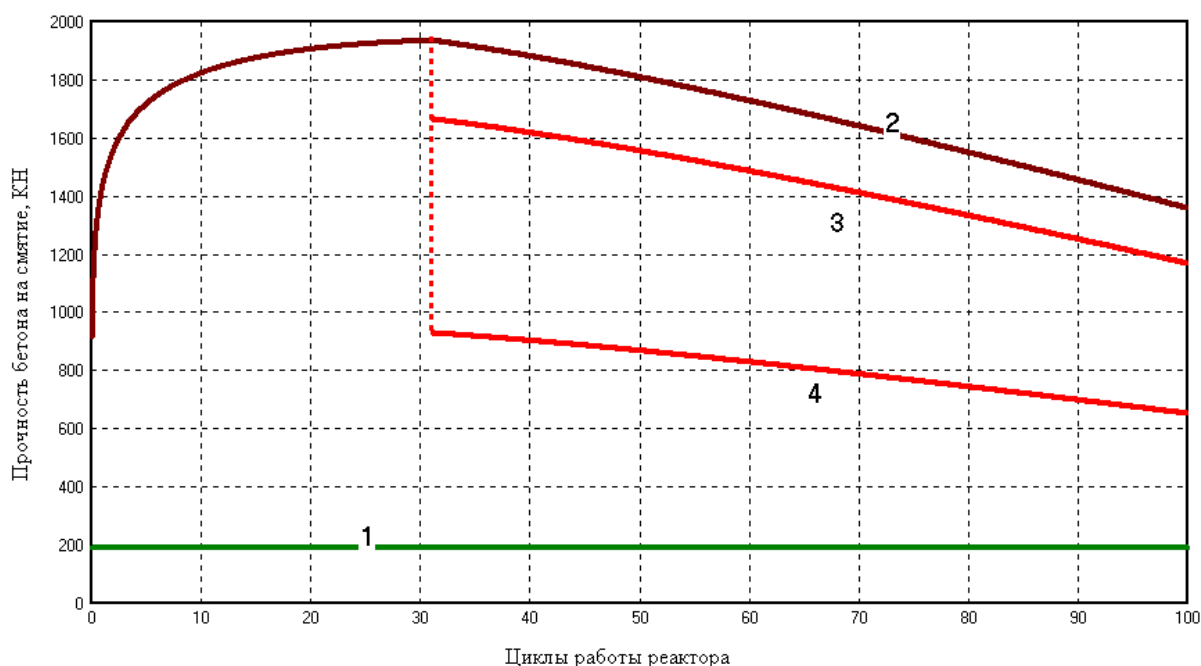


Рис. 6. Изменение несущей способности бетона стен шахты реактора при местном сжатии (смятии под опорой опорных ферм): 1 – действующая нагрузка под одной опорной фермой; 2 – фактическое снижение несущей способности при потере прочности бетона в нормальных условиях эксплуатации реактора и от флюенса нейтронов; 3 – в условиях запроектной аварии при кратковременном повышении температуры; 4 – в условиях запроектной аварии при длительном повышении температуры с увлажнением бетона

На основании проведенных прогнозных расчетов остаточных сроков службы шахты реактора третьего энергоблока Кольской АЭС, выполненных по разработанной автором и его коллегами методике расчетного обоснования остаточных сроков службы железобетонных конструкций, были получены следующие выводы:

✓ уровень действующего на бетон шахты реактора потока нейтронов с учетом прогноза на срок до 100 лет не окажет влияния на снижение прочности бетона.

✓ снижение прочностных показателей бетона происходит со скоростью $0,67 \text{ кгс/см}^2$ в год. снижение прочности бетона ниже проектной марки с учетом старения и накопления

флюенса нейтронов прогнозируется к 91 году от начала эксплуатации сооружения (ориентировочно 2072 год).

✓ срок эксплуатации шахты реактора (при учете прочности бетона на смятие) с момента пуска блока в случае длительного воздействия факторов запроектной аварии составит более 100 лет.

Заключение.

Рассмотрен авторский подход к расчетному прогнозированию остаточных сроков службы конструкций железобетонной шахты реактора энергоблоков АЭС на примере шахты реактора третьего энергоблока Кольской АЭС.

Основным отличием от известных методик является использование комплексного подхода, включающего существующие разрозненные методики прогнозирования изменений прочности бетона, расчетов несущей способности железобетонных строительных конструкций на основе разработанной автором и его коллегами комплексной методики обоснования остаточных сроков службы строительных конструкций, основанной на использовании параметрических методов прогнозирования и метода прогнозирования – «нагрузки – несущая способность».

Проведенные с использованием авторской методики расчеты показали, что температуры, воздействующие на бетон в условиях нормальной эксплуатации аппарата, незначительно превышают 50 °С и не оказывают значительного воздействия на бетон.

Наибольшую опасность для бетона шахты реактора может представлять возникновение запроектной аварии при одновременном длительном воздействии температуры и увлажнения бетона.

Поступила в редакцию 20 октября 2022

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Шмелев, Г. Д.** Систематизация определяющих параметров для прогноза остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 8. – С. 89-96.
2. **Миргородский, А. Н.** Прогноз риска повреждения строительных конструкций зданий и сооружений с неотапливаемыми чердачными помещениями / А. Н. Миргородский, В. М. Моторин, Д. Н. Гула // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2020. – № 3(55). – С. 77-85.
3. **Шмелев, Г. Д.** Использование случайных функций и процессов в комбинированной интегральной методике прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. И. Федотова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 1(39). – С. 128-137.
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. **Козлов, В. А.** Обоснование интервального метода прогнозирования и оценки остаточного ресурса строительных конструкций 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.
6. **Шмелев, Г. Д.** Методика оценки технического состояния, прогнозирования и обоснования остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. С. Конова, Н. А. Малева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 2(9). – С. 34-42.
7. **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.

8. **Шмелев, Г. Д.** Прогнозирование остаточного ресурса изгибаемых железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неагрессивных средах: монография / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков. – Ростов-на-Дону, 2007. – 219 с.

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

10. **Шмелев, Г. Д.** Расчет остаточного срока службы железобетонных конструкций шахты реактора типа – ВВЭР / Г. Д. Шмелев // В книге: Оценка риска и безопасность строительных конструкций. – В 2 т. – Т. 1. – Воронеж, 2006. – С. 99-103.

11. **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.

12. **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.

13. **Музыченко, С. Г.** Особенности мониторинга несущих конструкций при научно-техническом сопровождении строительства / С. Г. Музыченко, А. А. Лapidус, Д. В. Топчий // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 1(115). – С. 39-43.

14. **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.

Поступила в редакцию 30 октября 2022

CALCULATION OF THE RESIDUAL LIFE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN THE REACTOR SHAFT OF THE NPP POWER UNIT

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

Gennady Dmitrievich Shmelev, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: shmelev8@mail.ru
Alexey Nikolaevich Ishkov, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: ishkov1.78@mail.ru

Andrey Gennadievich Shmelev, postgraduate student at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: shmelev8@mail.ru

The article considers the author's approach to forecasting and calculations of the residual life of the reinforced concrete shaft of the PWR-type reactor of the 3rd power unit of the Kola NPP. The calculation method takes into account the radiation and temperature effects on the reactor concrete and on changes in the strength of it over time. As well as we consider possible accidents on design and beyond design basis. The effect of radiation exposure on the concrete of the reactor shaft is taken into account due to the neutron fluence, which is regularly monitored at the station. Based on the results of neutron fluence control, we made a forecast of neutron accumulation in the concrete of the reactor shaft and estimated the effect of neutron fluence on the concrete of the reactor shaft. Based on the data of the guidance documentation and reference literature, we developed a method for taking into account the most probable

development of the aging (degradation) process of concrete in the reactor shaft. Based on the constructed predictive models, we made a forecast of the time for the reduction in the strength of concrete in the reactor shaft below the initial design values. Based on the design documentation for the reactor shaft, the most probable causes that could lead to an emergency situation with the reactor were determined. We also defined the most critical sections of the supporting structures, their dimensions, and the features of transferring the load to the concrete of the reactor shaft. We performed the corresponding verification calculations of the bearing capacity of reactor shaft concrete, taking into account the design reinforcement, in terms of the collapse resistance under the reactor support ring. On the basis of the results of the performed verification calculations, we predicted the residual life of the reactor shaft concrete, taking into account radiation exposure, as well as temperature effects during accidents of design and beyond design basis.

Keywords: method of calculation and forecasting; residual life; reactor shaft; radiation and temperature effects; concrete strength; collapse calculation.

REFERENCES

1. **Shmelev G. D.** *Systematization of determining parameters for forecasting the residual service life of building structures*. Newsletter of MGSU. 2013. No. 8. Pp. 89-96. (in Russian)
2. **Mirgorodsky A. N., Motorin V. M., Gula D. N.** *Forecast of the risk of damage to building structures of buildings and structures with unheated attic rooms*. Problems of risk management in the technosphere. 2020. No. 3(55). Pp. 77-85. (in Russian)
3. **Shmelev G. D., Fedotova M. I.** *The use of random functions and processes in a combined integral method for predicting the residual service life of building structures*. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. No. 1(39). Pp. 128-137. (in Russian)
4. **Shmelev G. D., Fedotova M. I., Golovina N. V.** *Random functions and the interval method for predicting the residual life of building structures*. Newsletter of MGSU. 2017. Vol. 12. No. 11(110). Pp. 1261-1268. (in Russian)
5. **Kozlov V. A., Shmelev G. D.** *Substantiation of the interval method for forecasting and evaluating the residual resource of building structures 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)
6. **Shmelev G. D., Kononova M. S., Maleva N. A.** *Methodology for assessing the technical condition, forecasting and justification of the residual service life of building structures*. Housing and communal infrastructure. 2019. No. 2(9). Pp. 34-42. (in Russian)
7. **Shmelev G. D., Nikolaychev I. V.** *Parametric methods for predicting the residual service life of reinforced concrete building structures*. Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Physics and chemical problems and high technologies of building materials science. 2013. No. 7. Pp. 167-175.
8. **Shmelev G. D., Ishkov A. N.** *Forecasting the residual life of bent reinforced concrete structures operated in non-aggressive environments*. Monograph. Rostov-on-Don. 2007. 219 p. (in Russian)
9. **Samokhina M. N., Ishkov A. N., Shmelev G. D.** *Peculiarities of predicting changes in concrete strength parameters under conditions of limited information*. Housing and communal infrastructure. 2019. No. 1(8). Pp. 9-17. (in Russian)
10. **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. Vol. 1. Voronezh. 2006. Pp. 99-103. (in Russian)
11. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Zhukova A. V.** *Estimation 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.

12. **Fedotova M. I., Shmelev G. D.** *Forecast of the risk of an accident of bearing building structures based on the calculation of a decrease in the bearing capacity.* Housing and communal infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 30-37. (in Russian)
13. **Muzychenko S. G., Lapidus A. A., Topchy D. V.** *Peculiarities of monitoring of bearing structures during scientific and technical support of construction.* Science and business: ways of development. 2021. No. 1(115). Pp. 39-43. (in Russian)
14. **Shmelev G. D., Sazonov E. V., Kononova M. S.** *Monitoring and forecast of the technical condition of building structures of buildings and structures.* Housing and communal infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 9-18. (in Russian)

Received 30 October 2022

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шмелев, Г. Д. Расчет остаточного срока службы железобетонных конструкций шахты реактора энергоблока АЭС / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, А. Г. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 9-20. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.001.

FOR CITATION:

Shmelev G. D., Ishkov A. N., Shmelev A. G. *Calculation of the residual life of reinforced concrete structures in the reactor shaft of the NPP power unit.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 9-20. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.001. (in Russian)

СИНХРОННЫЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИЛИКОНОВЫХ И ЭПОКСИДНЫХ ТОНКОСЛОЙНЫХ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. В. Головина, А. В. Калач, Е. В. Калач

Головина Екатерина Валерьевна, кандидат технических наук, заместитель начальника научно-исследовательского отдела, Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Российская Федерация, тел.: +7(343)374-07-06; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

Калач Андрей Владимирович, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: A_Kalach@mail.ru

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

В статье рассматриваются особенности применения метода термического анализа для исследования термостойкости огнезащитных вспучивающихся материалов для возможного применения на промышленных объектах, расположенных в Арктическом регионе. Обоснована актуальность применения средств огнезащиты на объектах нефтегазовой отрасли, расположенных в арктических районах. Приведены результаты синхронного термического анализа силиконовых и эпоксидных огнезащитных тонкослойных терморасширяющихся составов. Проведена оценка результатов термогравиметрического, дифференциально-термогравиметрического анализа и дифференциально-сканирующей калориметрии. Исследованы термоаналитические характеристики анализируемых огнезащитных материалов, позволяющие оценить термостойкость и горючесть. На основе исследований методом термического анализа сделан вывод о более высоких огнезащитных свойствах огнезащитного материала на основе эпоксидного связующего по сравнению с силиконовым огнезащитным составом.

Ключевые слова: терморасширяющиеся огнезащитные составы; синхронный термический анализ; термоаналитические характеристики; термостойкость; горючесть.

Разработке и исследованию особенностей свойств систем пассивной противопожарной защиты стальных конструкций посвящены множество исследований в России и за рубежом [1...4]. Особое место среди таких средств защиты занимают интумесцентные системы, гарантирующие эффективность огнезащиты стальных элементов путем химического реагирования при возникновении пожароопасной ситуации. При этом возможно образование огнезащитного слоя с толщиной до 50 раз большей, чем изначальный размер покрытия.

В последние годы наблюдается рост числа поданных патентов по огнезащитным составам. Динамика патентов приведена на рис. 1.

Применение вспучивающихся тонкослойных покрытий является одним из эффективных способов огнезащиты металлических конструкций промышленных объектов [5...6]. Особенностью данных огнезащитных составов (далее – ОЗС) являются их способность при воздействии высоких температур многократно увеличиваться в объеме с образованием пенококсового слоя, который выполняет функцию барьера и препятствует нагреву защищаемой металлоконструкции [7].

В условиях растущих объемов промышленного производства и увеличения количества огнезащитных материалов оценка их эксплуатационных характеристик остается

весьма востребованной. Принимая во внимание возрастающие требования к композиционным материалам, связанные с расширением диапазона их работы, исследования по снижению их горючести остаются актуальными [6].

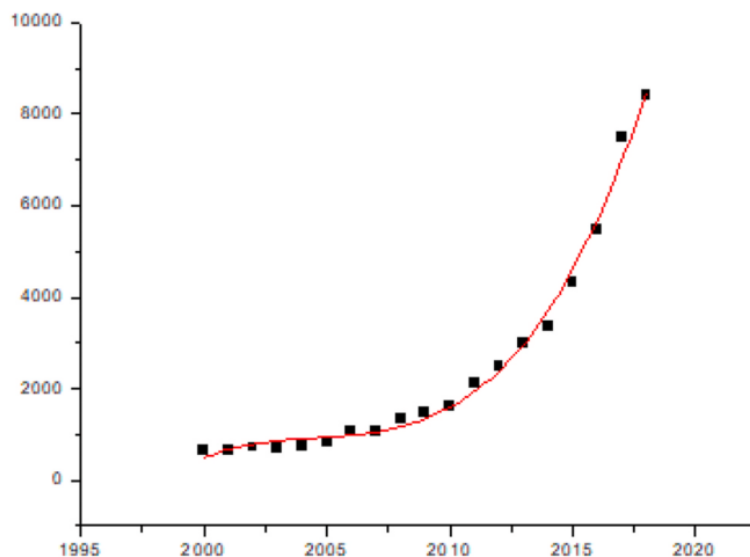


Рис. 1. Динамика патентов по огнезащитным составам

Наиболее популярными для применения на объектах нефтегазовой отрасли являются покрытия на основе силиконового связующего и эпоксидные огнезащитные составы. Целью настоящей статьи является анализ теплофизических свойств вышеуказанных огнезащитных вспучивающихся составов применительно к условиям углеводородного горения, свойственного для предприятий нефтяной и газовой промышленности.

Исследования ОЗС проводились методами синхронного термического анализа (далее – СТА) с помощью термоанализатора Netzsch, возможности которого позволяют одновременно получить результаты термогравиметрического анализа (далее – ТГ), дифференциально-термогравиметрического анализа (далее – ДТГ) и дифференциально-сканирующей калориметрии (далее – ДСК) [7].

Объектами исследования были выбраны огнезащитные вспучивающиеся составы на эпоксидной и силиконовой основах, которые применяются для нанесения на стальные строительные конструкции с целью повышения их предела огнестойкости [8...14].

На рис. 2 и 3 представлены термограммы силиконового и эпоксидного огнезащитных терморасширяющихся материалов.

Рассмотрим результаты исследования анализируемых составов.

В соответствии с анализом ТГ-кривой (рис.2) наблюдается три основных этапа потери массы в следующих интервалах температур:

- 1) от 230 до 290 °С, что соответствует процессу начала интумесценции огнезащитного материала;
- 2) от 290 до 450 °С – в этот период наблюдается интенсивный процесс образования пенококсовой структуры вспученного слоя;
- 3) от 460 до 1080 °С – период огнезащитного действия пенококсового слоя.

Зольный остаток при конечной температуре исследования соответствует значению 35,43 % (на термограмме определен обозначением «остаточная масса»). Это говорит о том, что при достижении температуры 1100 °С огнезащитное покрытие сохраняется более чем на 30 %. Если сравнивать анализируемый огнезащитный материал с аналогичными ОЗС на основе водной и акриловой дисперсии, то значение зольного остатка силиконового состава выше (примерно на 10...15 % [15], что говорит о его меньшей горючести.

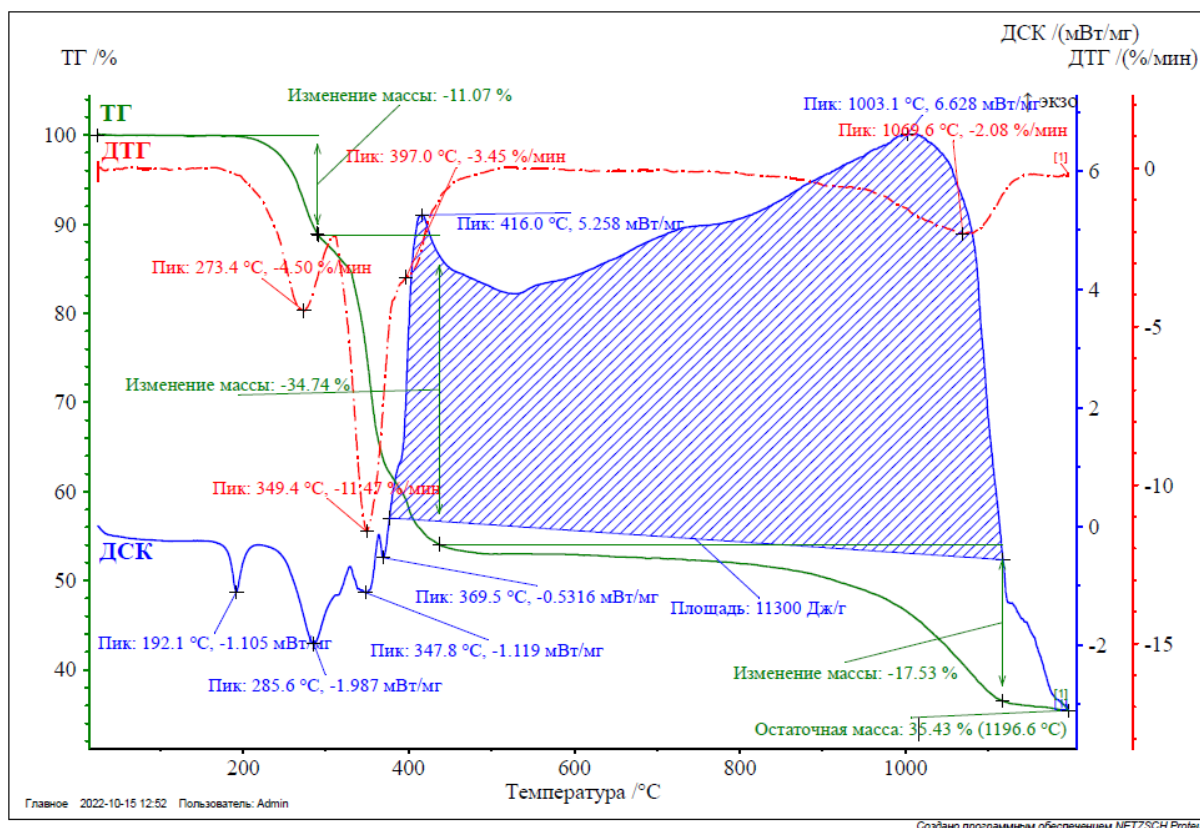


Рис. 2. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе силиконового связующего

Анализ ДТГ-кривой показывает три пика температур, соответствующих максимальной скорости потери массы, что отвечает данным термогравиметрического анализа:

- 1) при температуре 273,4 °C скорость потери массы составляет 4,5 %/мин;
- 2) при температуре 349,4 °C скорость потери массы составляет 11,47 %/мин;
- 3) при температуре 1069,6 °C скорость потери массы составляет 2,08 %/мин;

Как видно из данных термограммы, самым интенсивным является второй пик, находящийся в интервале температур 290...450 °C, что соответствует интенсивному процессу образования пенококса.

Для термостойких ОЗС необходимо, чтобы суммарный тепловой эффект анализируемого огнезащитного материала был как можно ниже [16]. При анализе кривой дифференциальной сканирующей калориметрии, экзотермический тепловой эффект исследуемого ОЗС составил 11300 Дж/г. В то же время, экзо- пик, соответствующий процессу выгорания пенококса, наблюдается при температуре 1003,1 °C, что свидетельствует о его высокой термостойкости.

На рис. 3 представлены результаты исследования эпоксидного ОЗС методами термического анализа.

В соответствии с данными термограммы, наблюдается три основных этапа потери массы в интервалах температур:

- 1) от 130 до 180 °C;
- 2) от 200 до 440 °C;
- 3) от 490 до 1100 °C.

Очевидно, что по сравнению с силиконовым ОЗС наблюдается смещение интервалов потери массы в низкотемпературную область. Результаты ДТГ-анализа подтверждают данные термогравиметрии – наблюдается два ярко выраженных ДТГ-пика:

- 1) при температуре 144,9 °C скорость потери массы составляет 4,37 %/мин;
- 2) при температуре 346,3 °C скорость потери массы составляет 5,09 %/мин.

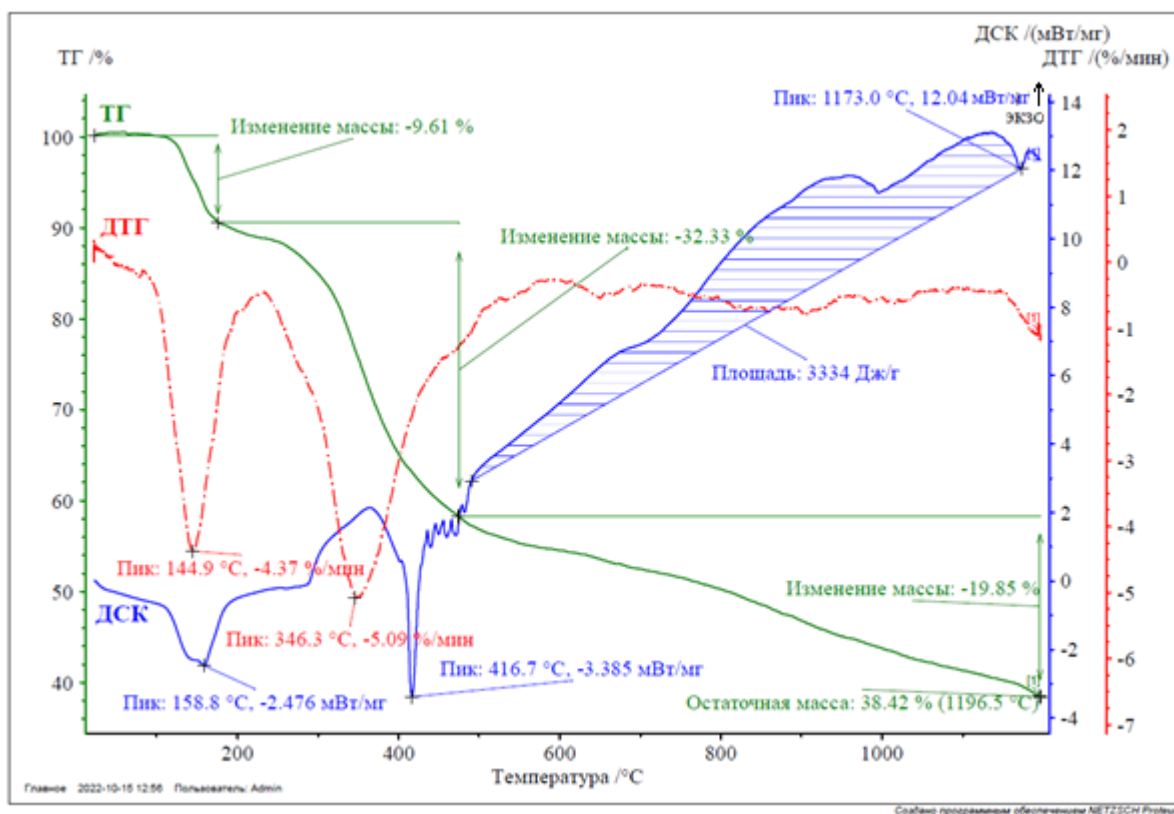


Рис. 3. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе эпоксидной смолы

В отличие от силиконового ОЗС отсутствует третий пик температуры, соответствующей максимальной скорости потери массы, однако наблюдается постепенное снижение массы анализируемого материала в результате термодеструкции. При конечной температуре исследования зольный остаток составляет 38,42 %.

Таким образом, данные ТГ- и ДТГ-кривых свидетельствуют о более раннем процессе формирования пенококсовой структуры, а больший зольный остаток, по сравнению с ОЗС на силиконовой основе говорит о большей термостойкости анализируемого терморасширяющегося покрытия.

В соответствии с данными ДСК-кривой экзотермический эффект термоокислительной деструкции пенококсов вспучивающегося эпоксидного ОЗС составил 3334 Дж/г, что, вероятно, свидетельствует о его меньшей горючести и более высокой огнезащитной способности в температурных условиях углеводородного горения по сравнению с силиконовым ОЗС.

Заключение.

Применение методов синхронного термического анализа позволяет провести исследование теплофизических характеристик огнезащитных вспучивающихся средств. При проведении анализа огнезащитных составов на основе эпоксидных смол и на основе силиконового связующего было выявлено высокое значение теплового эффекта силиконового огнезащитного состава, что свидетельствует о горючести исследуемого огнезащитного материала. Значения термограмм на ТГ- и ДТГ-кривых также говорят о низкой термостойкости вспучивающегося покрытия на основе силиконового связующего по сравнению с составами на основе эпоксидных смол.

Таким образом, данные синхронного термического анализа говорят о снижении «работоспособности» анализируемого силиконового материала быстрее аналогичного ОЗС на

эпоксидной основе. Соответственно, для применения на промышленных объектах нефтедобывающей отрасли, расположенных в Арктической зоне, следует отдавать приоритет огнезащитным терморасширяющимся покрытиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Lima, G. P.** Exploratory analysis of fire statistical data and prospective study applied to security and protection systems / G.P. Lima, J.D. Barbosa, V. E. Beal, M.A. Gonçalves, B. A. Machado, J. Z. Gerber, B.S. Lazarus // *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 61. – 2021. – 102308. doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102308.
2. **Hothan, S.** Numerical and experimental investigation of the application of reactive fire protection systems on steel tension members / S. Hothan, D. Haßler. – Final Report, Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), Berlin, 2015.
3. **Haßler D.,** Behavior of reactive fire protection systems on circular tension members from Blank and Bausta hl / D. Haßler. – Dissertation, Leibniz Universitat Hannover, 2016.
4. **Haßler, D., Hothan, S.** Fire tests of reactive fire protection systems applied to steel tension members with solid circular section / D. Haßler, S. Hothan // 9th Int. Conf. Struct. Fire . Princeton, USA. – 2016. – Pp. 1099-1106.
5. **Chao Zhang.** Thermal Properties of Intumescent Coatings in Fire / Chao Zhang // *Reliability of Steel Columns Protected by Intumescent Coatings Subject-ed to Natural Fires*. – 2015. – Pp. 37-50. – DOI:10.1007/978-3-662-46379-6_4.
6. 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.
7. **Lu, W.** Intumescent Flame Retardant Mechanism of Lignosulfonate as a Char Forming Agent in Rigid Polyurethane Foam / W.Lu , Ye. J. Zhu, L. Jin, Y. Matsumoto // *Polymers*. – 2021. – № 13. – 1585. – doi.org/10.3390/polym13101585.
8. **Губайдуллина, А. М.** Теоретические и прикладные аспекты применения методов термического анализа при изучении природных неорганических систем / А. М. Губайдуллина // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2010. – № 8. – С. 250-256.
9. **Ravindra, G. P.** Intumescent coatings: A review on recent progress / G. P. Ravindra, A. S. Khanna // *Journal of Coatings Technology and Re-search*. – 2016. – № 14. – Pp. 1-20. – DOI:10.1007/s11998-016-9815-3.
10. **Weil, E. D.** Fire-Protective and Flame-Retardant Coatings - A State-of-the-Art Review / E. D. Weil // *Journal of Fire Sciences*. – 2011. – № 29(3). – Pp. 259-296. – DOI:10.1177/0734904110395469.
11. **Chao Zhang.** Thermal Properties of Intumescent Coatings in Fire / Chao Zhang // *Reliability of Steel Columns Protected by Intumescent Coatings Subjected to Natural Fires*. – 2015. – Pp. 37-50. – DOI:10.1007/978-3-662-46379-6_4.
12. **Головина, Е. В.** Исследование огнезащитных свойств составов интумесцентного типа при огневых испытаниях в условиях углеводородного горения / Е. В. Головина, О. В. Беззапонная, А. Ю. Акулов, Т. Х. Мансуров // *Техносферная безопасность*. – 2018. – № 4(21). – С. 75-81.
13. **Зыбина, О. А.** Проблемы технологии коксообразующих огнезащитных покрытий: монография / О. А. Зыбина, А. В. Варламов, С. С. Мнацаканов. – Новосибирск: ЦРНС. – 2010. – 49 с.
14. **Eremina, T.** Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions / T. Eremina, D. Korolchenko // *Buildings*. – 2020. – № 10:185. DOI:10.3390/buildings10100185.

15. Повышение безопасности объектов нефтегазового комплекса путем совершенствования огнезащитных составов / Е. В. Головина, А. В. Калач, О. В. Беззапонная, А. С. Крутолапов, С. В. Шарапов // Пожаровзрывобезопасность. – 2022. – Т. 31. – № 3. – С. 24-33.

16. 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.

Поступила в редакцию 21 ноября 2022

SYNCHRONOUS THERMAL ANALYSIS OF SILICONE AND EPOXY THIN-LAYER INTUMESCENT FIRE-RETARDANT MATERIALS

E. V. Golovina, A. V. Kalach, E. V. Kalach

Ekaterina Valeryevna Golovina, Cand. Sc. (Techn.), deputy head of the research department of the Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia, tel.: +7(343)374-07-06; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

Andrey Vladimirovich Kalach, Dr. Sc. (Chem.), 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 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

The article discusses aspects of the application of the method of thermal analysis for the study of the heat resistance of fire-retardant intumescent materials for possible use at industrial facilities located in the Arctic region. We substantiated the relevance of the use of fire protection equipment at oil and gas industry facilities located in the Arctic regions. We present the results of synchronous thermal analysis of silicone and epoxy fire retardant thin-layer thermal intumescent compositions. We evaluated the results of thermogravimetric, differential-thermogravimetric analysis and differential-scanning calorimetry. We investigated the thermoanalytical characteristics of the analyzed fire-retardant materials, allowing us to assess the heat resistance and flammability. Based on studies by thermal analysis, we made a conclusion about the higher fire-retardant properties of the fire-retardant material based on an epoxy binder compared with a silicone fire retardant.

Keywords: thermally intumescent fire retardants; synchronous thermal analysis; thermoanalytical characteristics; thermal resistance; flammability.

REFERENCES

1. Lima G. P., Barbosa J. D., Beal V. E., Gonçalves M. A., Machado B. A., Gerber J. Z., Lazarus B. S. *Exploratory analysis of fire statistical data and prospective study applied to security and protection systems*. International Journal of Disaster Risk Reduction. Vol. 61. 2021. 102308. doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102308.

2. Hothan S., Haßler D. *Numerical and experimental investigation of the application of reactive fire protection systems on steel tension members*. Final Report, Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM). Berlin. 2015.

3. Haßler D. Behavior of reactive fire protection systems on circular tension members from Blank and Baustahl. Dissertation. Leibniz Universität Hannover. 2016.

4. Haßler D., Hothan S. *Fire tests of reactive fire protection systems applied to steel tension members with solid circular section*. 9th Int. Conf. Struct. Fire. Princeton, USA. 2016. Pp. 1099-1106.

5. **Chao Zhang.** *Thermal Properties of Intumescent Coatings in Fire.* Reliability of Steel Columns Protected by Intumescent Coatings Subject-ed to Natural Fires. 2015. Pp. 37-50. DOI:10.1007/978-3-662-46379-6_4.
6. **Golovina E. V., Kalach A. V., Kalach E. V., Akulov A. Yu.** *Analysis of the use of modern means of fire protection of steel structures of the oil and gas complex in the climatic conditions of the Arctic region.* Housing and communal infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 19-29. (in Russia)
7. **Lu W., Ye, J., Zhu L., Jin Z., Matsumoto Y.** *Intumescent Flame Retardant Mechanism of Lignosulfonate as a Char Forming Agent in Rigid Polyurethane Foam.* Polymers. 2021. No. 13. 1585. doi.org/10.3390/polym13101585.
8. **Gubaidullina A. M.** *Theoretical and applied aspects of the application of thermal analysis methods in the study of natural inorganic systems.* Bulletin of the Kazan Technological University. 2010. No. 8. Pp. 250-256. (in Russia)
9. **Ravindra G. P., Khanna A. S.** *Intumescent coatings: A review on recent progress / G.P. Ravindra.* Journal of Coatings Technology and Re-search. 2016. No. 14. Pp. 1-20. DOI:10.1007/s11998-016-9815-3.
10. **Weil E. D.** *Fire-Protective and Flame-Retardant Coatings.* A State-of-the-Art Review Journal of Fire Sciences. 2011. No. 29 (3). Pp. 259-296. DOI: 10.1177/0734904110395469
11. **Chao Zhang.** *Thermal Properties of Intumescent Coatings in Fire.* Reliability of Steel Columns Protected by Intumescent Coatings Subjected to Natural Fires. 2015. Pp. 37-50. DOI:10.1007/978-3-662-46379-6_4.
12. **Golovina E. V., Bezzaponnaya O. V., Akulov A. Y., Mansurov T. H.** *Investigation of the fire-retardant properties of intumescent-type compositions during fire tests under conditions of hydrocarbon combustion.* Techno-sphere safety. 2018. No. 4 (21). Pp. 75-81. (in Russia)
13. **Zybina O. A., Varlamov A. V., Mnatsakanov S. S.** *Problems of technology of coke-forming fire-retardant coatings: monograph.* Novosibirsk, TsRNS. 2010. 49 p. (in Russia)
14. **Eremina T., Korolchenko D.** *Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions.* Buildings. 2020. No. 10:185. DOI: 10.3390/buildings10100185.
15. **Golovina E. V., Kalach A. V., Bezzaponnaya O. V., Krutolapov A. S., Sharapov S. V.** *Improving the safety of oil and gas complex facilities by improving fire retardant compositions.* Pozharovzryvobezopasnost. 2022. Vol. 31. No. 3. Pp. 24-33. (in Russia)
16. **Golovina E. V., Bezzaponnaya O. V., Akulov A. Yu.** *Methods for assessing the thermal stability of fire retardant compositions of intumescent type for oil and gas industry facilities: monograph.* Yekaterinburg, Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2020. 173 p. (in Russia)

Received 21 November 2022

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Головина, Е. В. Синхронный термический анализ силиконовых и эпоксидных тонкослойных вспучивающихся огнезащитных материалов / Е. В. Головина, А. В. Калач, Е. В. Калач // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 21-27. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.002.

FOR CITATION:

Golovina E. V., Kalach A. V., Kalach E. V. *Synchronous thermal analysis of silicone and epoxy thin-layer intumescent fire-retardant materials.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 21-27. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.002. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.003

УДК 624.014

МЕТАЛЛОЕМКОСТЬ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ СО СТЕРЖНЯМИ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

С. С. Самакалёв

Самакалёв Степан Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных технологий и конструкций, БУ ВО ХМАО – Югры «Сургутский государственный университет», Сургут, Россия, тел.: +7(3462)762-945; e-mail: samakalew@mail.ru

Уменьшение металлоемкости ферм покрытий зданий и сооружений приводит к удешевлению изготовления конструкций, снижению стоимости строительства, упрощению и облегчению погрузочно-разгрузочных и монтажных работ и остается актуальной задачей. В работе рассматривается возможность замены сжатых стержней фермы на стержни с переменным по их длине сечением при условии сохранения ими несущей способности. Для возможности анализа различных вариантов геометрии стержня переменного сечения и влияния геометрии на уменьшение металлоемкости использован приближенный прием определения критической силы для сжатого стержня переменного сечения. В результате получены простые формулы и соотношения геометрических характеристик стержня, позволяющие определить геометрические параметры такого стержня и его металлоемкость. На основе полученных формул найдены геометрические параметры стержней переменного сечения для двух разных конструкций. Первый вариант - стержень, составленный из парных уголков и в центральной части имеющий вставку из плоского листа. Второй вариант - стержень, выполненный из гнуто-сварного профиля и в центральной части усиленный накладками из листовой стали. Установлено соответствие между стержнями переменного и постоянного сечения для их возможной замены, и приведены результаты расчета уменьшения металлоемкости стержней.

Ключевые слова: металлические фермы; устойчивость стержней переменного сечения; металлоемкость; несущая способность стальных ферм.

В настоящее время задача уменьшения расхода металла на несущие металлические конструкции, в том числе стальные фермы покрытий остается актуальной, так как решение этой задачи позволяет снизить стоимость таких конструкций. Кроме того, уменьшение металлоемкости ферм приводит к снижению их веса, что означает уменьшение нагрузки на вертикальные несущие элементы зданий и сооружений – стены и колонны, что в свою очередь позволяет уменьшить их сечения и снизить общую стоимость несущих конструкций [1...3]. Также снижение веса стальных ферм покрытий приводит к упрощению их транспортировки, облегчению погрузочно-разгрузочных и монтажных работ, снижению общей стоимости и сроков строительства [4, 5].

Рассмотрим возможность уменьшения металлоемкости стержней фермы. Как известно, в наиболее опасном состоянии при работе фермы находятся сжатые стержни, так как для них возможна потеря устойчивости. Для таких стержней для предотвращения потери устойчивости, сечения приходится увеличивать, что дает повышенный расход металла. Однако известны конструкции, работающие на сжатие – стойки и колонны, которые конструктивно выполняются с переменным по их длине сечением, и при этом их несущая способность сохраняется. Такой же подход можно использовать и для снижения металлоемкости сжатых стержней ферм – необходимо выполнять их переменного сечения.

Задача о потере устойчивости стержней переменного сечения рассмотрена в работах [7...10], однако полученные в них зависимости использовать затруднительно, так как в каждом конкретном случае требуется решать дифференциальное уравнение второго порядка с

переменными коэффициентами. Решение, пригодное для инженерного расчета, можно получить на основе приближенного приема нахождения критической силы, который заключается в замене стержня переменного сечения на эквивалентный стержень постоянного сечения. При этом под эквивалентным стержнем понимается стержень, который при изгибе по синусоиде при той же нагрузке дает прогиб той же величины, что и стержень переменного сечения [11]. Как показывают расчеты, такой подход, при условии, что для стержня переменного сечения, наибольший момент инерции превосходит наименьший не более чем в два раза, дает ошибку около 2 %, что является вполне допустимым [11].

Поставим задачу отыскать наилучшее соотношение геометрических параметров стержня переменного сечения, заменяя им стержень постоянного сечения (см. рис. 1), при условии, что его несущая способность при работе на сжатие остается такой же.

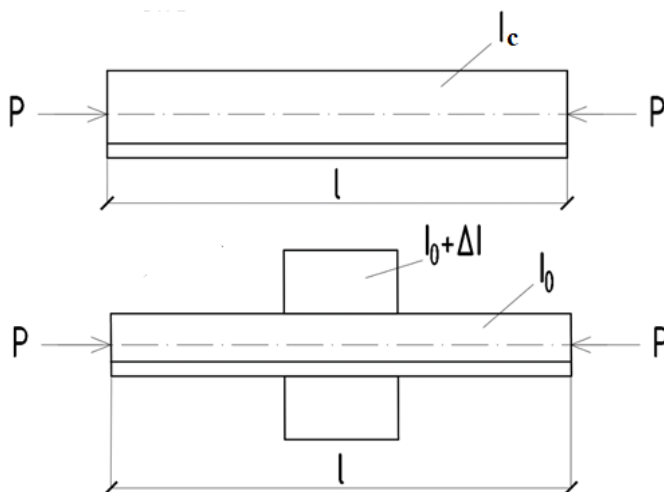


Рис. 1. Схема стержня с постоянным (вверху) и переменным (внизу) по длине сечением

Расчетные формулы получим из следующего условия – обобщенные силы P_{ob} , которые необходимо приложить к середине стержня (расчётная схема показана на рис. 2) и получить прогиб равный f для стержня переменного и постоянного сечения должны быть одинаковы, а следовательно:

$$P_{ob} = \frac{\partial U^*}{\partial f} = \frac{\partial U}{\partial f}, \quad (1)$$

где U^* – потенциальная энергия изгиба стержня эквивалентного постоянного сечения, U – потенциальная энергия стержня переменного сечения.

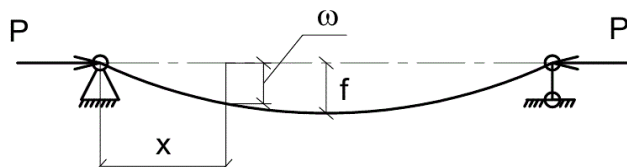


Рис. 2. Расчетная схема к определению потенциальной энергии изгиба стержня (P – усилие сжатия, ω – текущий прогиб, x – координата сечения, f – максимальный прогиб)

Потенциальная энергия изгиба стержня может быть найдена по выражению [8]:

$$U = \frac{1}{2} \int_0^l EI \omega'^2 dx. \quad (2)$$

Полагая, что $\omega = f \sin \frac{\pi}{l} x$ (где обозначения ω, f, x – см. рис. 2), получим:

$$U^* = \frac{EI^* f^2 \pi^4}{4l^3}, \quad (3)$$

и, следовательно

$$\frac{\partial U^*}{\partial f} = \frac{EI^*\pi^4}{2l^3} f. \quad (4)$$

Для стержня переменного сечения изменение момента инерции по длине стержня представим в виде суммы: $I(x) = I_0 + \Delta I(x)$ (где $\Delta I(x)$ – приращение момента инерции сечения, соответствующее увеличению сечения стержня), тогда потенциальная энергия изгиба такого стержня:

$$U = \frac{1}{4} f^2 \frac{\pi^4 EI_0}{l^3} + \frac{1}{2} f^2 \frac{\pi^4}{l^4} E \int_0^l \Delta I(x) \sin^2 \frac{\pi}{l} x dx, \quad (5)$$

и дифференцируя по f , будем иметь:

$$\frac{\partial U}{\partial f} = f \left(\frac{\pi^4 EI_0}{2l^3} + \frac{\pi^4}{l^4} E \int_0^l \Delta I(x) \sin^2 \frac{\pi}{l} x dx \right). \quad (6)$$

Приравнявая производные по f от потенциальной энергии стержня постоянного и переменного сечения, получим формулу для определения момента инерции стержня с эквивалентным постоянным сечением:

$$I^* = I_0 \left(1 + \frac{2}{l} \int_0^l \frac{\Delta I(x)}{I_0} \sin^2 \frac{\pi}{l} x dx \right). \quad (7)$$

Критическая сила для стержня постоянного сечения равна $P_{кр} = \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 EI_c$, для эквивалентного стержня – $P_{кр}^* = \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 EI^*$, а значит изменение несущей способности при замене стержня постоянного сечения на стержень переменного сечения составит:

$$\frac{P_{кр}^*}{P_{кр}} = \frac{I^*}{I_c} = 1 + \frac{2}{l} \int_0^l \frac{\Delta I(x)}{I_0} \sin^2 \frac{\pi}{l} x dx. \quad (8)$$

Полагая, что несущая способность при замене стержня остается прежней, т.е. $I^* = I_c$, с учетом формулы (7) получим:

$$I_c = I_0 \left(1 + \frac{2}{l} \int_0^l \frac{\Delta I(x)}{I_0} \sin^2 \frac{\pi}{l} x dx \right). \quad (9)$$

Пусть стержень переменного сечения точно соответствует схеме, показанной на рис. 3, тогда проводя интегрирование по участкам в формуле (9) получим:

$$I_c = I_0 \left(1 + \frac{\Delta I}{I_0} \left(\frac{b}{l} + \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi}{l} b \right) \right). \quad (10)$$

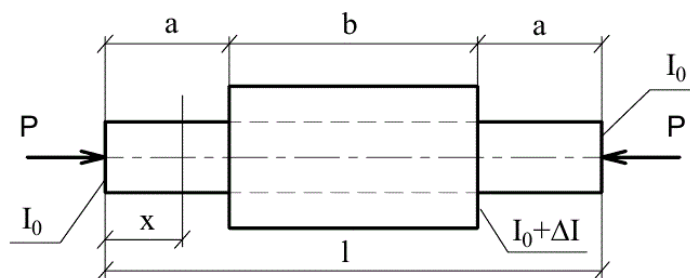


Рис. 3. Расчетная схема стержня переменного сечения

Так как полученные формулы выведены на основе приближенного приема, который дает погрешность около 2 % при условии, что $\frac{\Delta I}{I_0} \leq 1$, положим, что $\frac{\Delta I}{I_0} = 1$, тогда из формулы (10) будем иметь:

$$\frac{I_c}{I_0} = 1 + \frac{b}{l} + \frac{1}{\pi} \sin \pi \frac{b}{l}. \quad (11)$$

Функциональная зависимость $\frac{I_c}{I_0}$ от относительной длины уширенной части $\frac{b}{l}$ представлена на рис. 4. Как видим, эта функция на всем возможном интервале изменения $\frac{b}{l}$ мо-

нотонно возрастает и ограничена значением $\frac{I_c}{I_0} = 2$, поэтому заменять стержень постоянного сечения на стержень переменного сечения, у которого момент инерции I_0 более чем в два раза меньше момента инерции I_c смысла не имеет.

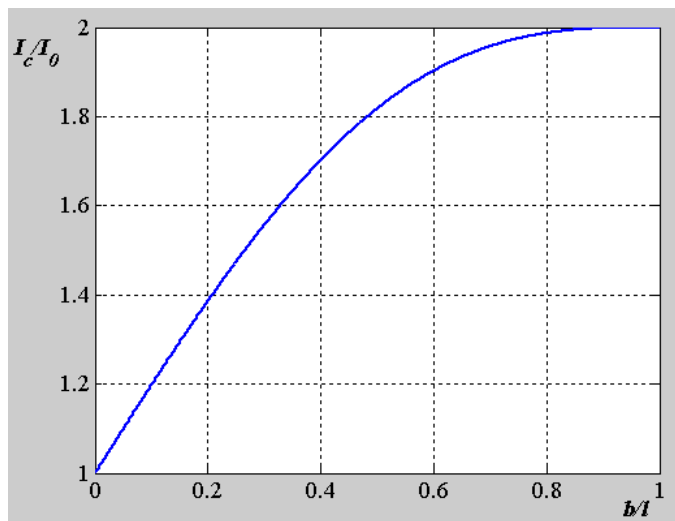


Рис. 4. К определению максимального отношения моментов инерции при замене стержня постоянного сечения

Конструктивно наиболее просто стержень переменного сечения получить, добавляя к прокатным или гнуто-сварным профилям листовые накладки или вставки. Варианты образования поперечных сечений таких стержней показаны на рис. 5. Такие вставки или накладки могут соединяться с профилями при помощи сварки, или болтовых или заклепочных соединений. Так, для широко распространенных ферм со стержнями из парных уголков стержень переменного сечения можно получить, располагая в центральной части стержня вставку из листового металла.

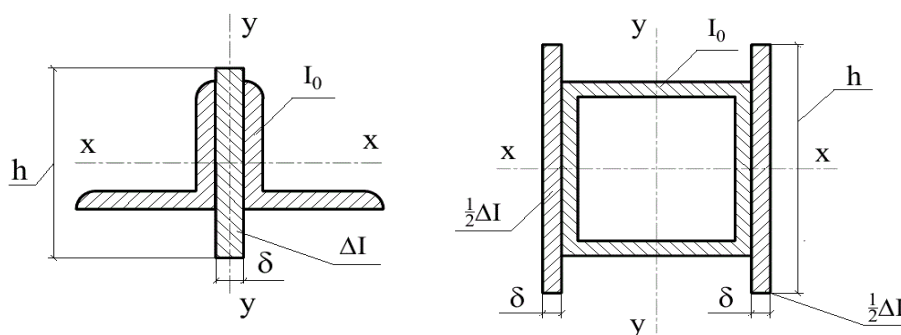


Рис. 5. Варианты образования стержня переменного сечения

Учитывая, что масса вставки из плоского листа $m = \rho b h \delta$, (где ρ – плотность (для стали), δ – толщина вставки, h – высота сечения вставки, а момент инерции плоского листа $\Delta I = \frac{\delta h^3}{12}$), массу вставки, отнесенную к длине усиливаемого ею стержня можем найти из выражения:

$$\frac{m}{l} = \rho \frac{b}{l} \sqrt[3]{12 \delta^2 \Delta I}. \quad (12)$$

В табл.1 представлены результаты расчета массы для стержней, образованных из равнополочных уголков (ГОСТ 8509-93) и центральной вставки в виде плоского листа. Необходимая длина вставки найдена по формуле (11), а ее масса по формуле (12). Толщина

вставки принималась равной 1 см, при расчетах также полагалось, что центры тяжести уголков и вставки находятся на одной оси.

Таблица 1

Изменение металлоемкости для стержня с переменным сечением из уголков

Переход к уголкам с меньшим номером				$\frac{I_c}{I_0}$	$\frac{b}{l}$	Масса стержня		Уменьшение металлоемкости, %
Стержень постоянного сечения		Стержень переменного сечения				переменного сечения, кг/м	постоянного сечения, кг/м	
Параметры уголка		Параметры уголка						
полка, мм	$I_c/2$, см ⁴	полка, мм	$I_0/2$, см ⁴					
45	8,03	40	5,53	1,4521	0,2366	6,9076	6,74	-2,48
50	11,20	45	8,03	1,3947	0,2042	7,666	7,54	-1,67
56	15,97	45	8,03	1,9888	0,8093	10,405	8,5	-22,46
56	15,97	50	11,20	1,4259	0,2217	8,663	8,6	-1,91
63	23,10	56	15,97	1,4464	0,2334	9,831	9,62	-2,19
70	31,94	63	23,10	1,3827	0,1975	10,894	10,76	-1,2
75	39,53	63	23,10	1,7112	0,4065	12,2416	11,6	-5,5
75	39,53	70	31,94	1,2376	0,1202	11,623	11,6	-0,19
80	56,97	70	31,94	1,7836	0,4670	14,115	14,72	4,11
80	56,97	75	39,53	1,4412	0,2304	13,377	14,72	9,12
90	82,10	80	56,97	1,4411	0,2303	16,72	16,66	-0,4
100	130,59	90	82,10	1,5906	0,3212	19,8211	21,58	8,15
110	175,61	100	130,59	1,3447	0,1768	23,611	23,78	0,7
125	297,36	110	175,61	1,6762	0,3801	28,6	30,92	7,5
140	465,72	125	294,36	1,5821	0,3157	35,675	38,82	8,1
160	774,24	140	465,72	1,6624	0,3702	45,3181	49,34	8,15
180	1216,44	160	774,24	1,5711	0,3086	55,7573	60,94	8,5

Для ферм, изготавливаемых из гнутых замкнутых сварных профилей, стержень переменного сечения наиболее просто получить, располагая в центральной части стержня листовые накладки (возможно, также, например, использование и гнутых С-образных профилей или замкнутых профилей прямоугольного сечения). Для такого стержня, усиливаемого при помощи двух листовых накладок, учитывая момент инерции плоского листа $\Delta I = \frac{\delta h^3}{12}$, массу вставки, отнесенную к длине усиливаемого ею стержня можем найти по формуле:

$$\frac{m}{l} = \rho \frac{b}{l} \sqrt[3]{6\delta^2 \Delta I}. \quad (13)$$

Проведем исследование возможного снижения металлоемкости ферм со стержнями из уголкового профиля и гнуто-сварных профилей. Возможный профиль в стержне с переменным сечением будем подбирать по условию $\frac{I_c}{I_0} \leq 2$, тогда относительную длину уширенной части сечения сможем найти решая уравнение (11) относительно $\frac{b}{l}$.

В табл. 2, 3 показаны результаты расчетов массы для стержней, образованных из гну-

тых замкнутых сварных прямоугольных и квадратных профилей (ГОСТ 25577-83*), в центральной части усиленных при помощи двух листовых накладок (см. рис. 5). Размеры накладок и масса были найдены по формулам (11) и (13) соответственно. При расчетах толщина накладок принята равной 1 см, центры тяжести накладок и профиля лежат на одной оси.

Таблица 2

Изменение металлоемкости для стержня с переменным сечением
из гнутых сварных профилей прямоугольного сечения (ГОСТ 25577-83*)

Переход к профилю с меньшей массой				$\frac{I_c}{I_0}$	$\frac{b}{l}$	Масса стержня		Уменьшение металлоемкости, %
Стержень постоянного сечения		Стержень переменного сечения				переменного сечения, кг/м	постоянного сечения, кг/м	
размеры, мм	$I_c, \text{см}^4$	размеры, мм	$I_0, \text{см}^4$					
180×125×5	1265,94	180×75×5	883,02	1,4336	0,2261	21,354	22,18	3,72
180×75×5	883,02	160×120×3	601,73	1,4675	0,2455	15,557	18,26	14,8
230×100×8	2804,05	230×100×5	1868,01	1,5011	0,2654	28,13	36,14	23,22
230×100×5	1868,01	180×125×5	1265,94	1,4756	0,2503	26,04	23,47	-10,95
150×100×8	959,61	160×120×3	601,73	1,5947	0,3239	16,5	27,02	38,93
160×130×7	1263,31	180×75×5	883,02	1,4307	0,2244	21,33	28,30	24,63
150×100×8	959,61	180×75×5	883,02	1,0867	0,0434	18,854	27,02	30,22

Таблица 3

Изменение металлоемкости для стержня с переменным сечением из гнутых
сварных профилей квадратного сечения (ГОСТ 25577-83*)

Переход к профилю с меньшей массой				$\frac{I_c}{I_0}$	$\frac{b}{l}$	Масса стержня		Уменьшение металлоемкости, %
Стержень постоянного сечения		Стержень переменного сечения				переменного сечения, кг/м	постоянного сечения, кг/м	
размеры, мм	$I_c, \text{см}^4$	размеры, мм	$I_0, \text{см}^4$					
150×8	1329,97	140×8	1055,26	1,2603	0,1320	32,277	32,86	1,77
150×8	1329,97	140×7	974,21	1,3652	0,1879	29,868	32,86	9,10
150×8	1329,97	140×5	780,54	1,7039	0,4010	25,485	32,86	22,44
140×8	1055,26	140×7	974,21	1,0832	0,0416	27,799	30,36	8,43
140×8	1055,26	140×5	780,54	1,3519	0,1807	22,594	30,36	25,58
140×7	974,21	140×5	780,54	1,2481	0,1257	21,871	27,21	19,62
140×5	780,54	110×6	398,80	1,9572	0,6993	25,560	20,22	-26,4
110×6	398,80	100×5	255,57	1,5604	0,3018	16,672	18,22	8,49
110×6	398,80	100×4	215,73	1,8486	0,5319	16,02	18,22	12,07
110×3	233,59	100×4	215,73	1,1846	0,0930	12,265	13,94	12,01

Как видно из расчетов, в случае стержня переменного прямоугольного сечения, возможно снизить массу стержня на 30 и даже 38 %. В случае стержня переменного квадратного сечения снижение массы стержня составляет до 25 %.

Заключение.

Результаты проведенных расчетов показали, что замена стержней постоянного сечения на стержни переменного сечения, образованные из уголков меньшего номера и центральной вставки нецелесообразна для малых номеров уголков, так как при этом наблюдается не уменьшение, а увеличение металлоемкости. Указанная замена позволяет снизить металлоемкость только для уголков больших номеров, при этом снижение металлоемкости составит около 7...8 %.

Установлено, что для конструкции стержня из парных уголков с центральной вставкой замена стержня постоянного сечения приводит к уменьшению металлоемкости только для больших номеров уголков и при этом составляет не более 8...9 %. Замена стержней постоянного сечения на стержень прямоугольного или квадратного сечения более целесообразна. Уменьшение металлоемкости стержня в этом случае достигает 25...30 %.

В целом следует признать замену в ферме сжатых стержней постоянного сечения на стержни переменного сечения возможной и целесообразной, позволяющей добиться существенного снижения металлоемкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гузеев, Р. Н.** Обобщенная задача Тимошенко / Р. Н. Гузеев, В. И. Сливкер // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – № 1. – С. 12-16.
2. **Деревянкин, Д. В.** О конечноэлементных аппроксимациях в задачах устойчивости стержней Тимошенко / Д. В. Деревянкин, В. И. Сливкер // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – № 4(17). – С. 17-26.
3. **Желтков, В. И.** Динамические состояния продольно-сжатых неоднородных стержней / В. И. Желтков, Ю. А. Чадаев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 4(306). – С. 3-7.
4. **Каган-Розенцвейг, Л. М.** Вычисление критических сил в упругих стержнях переменного сечения прямым интегрированием дифференциального уравнения изгиба / Л. М. Каган-Розенцвейг // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 2(67). – С. 78-86.
5. **Каган-Розенцвейг, Л. М.** Метод вычисления критических сил в упругих стержнях переменного сечения, упрощенное уравнение изгиба (III) / Л. М. Каган-Розенцвейг // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 2(55). – С. 61-66.
6. **Каган-Розенцвейг, Л. М.** О касательных напряжениях при изгибе упругого стержня переменного сечения / Л. М. Каган-Розенцвейг // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 2(73). – С. 43-47.
7. Устойчивость центрально-сжатых прямолинейных упругих стержней переменного сечения / С. Ю. Лихачева, Д. А. Кожанов, П. А. Хазов, А. М. Анущенко, Е. А. Онищук, Д. М. Лобов // Приволжский научный журнал. – 2020. – № 2(54). – С. 15-23.
8. **Павлов, В. П.** Точные решения уравнения, описывающего поперечные колебания стержня с переменным поперечным сечением и их применение / В. П. Павлов, Л. Р. Нусратуллина // Вестник Башкирского университета. – 2019. – Т. 24. – № 4. – С. 774-781.
9. **Сабитов, Л. С.** Напряженно-деформированное состояние слабokonического стержня переменного сечения / Л. С. Сабитов, И. Л. Кузнецов, А. У. Богданович // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 7(90). – С. 71-77.
10. **Царенко, С. Н.** Динамика изгибных колебаний конструкций с осевой неоднородностью геометрических характеристик / С. Н. Царенко // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 3(278). – С. 48-54.

11. **Гастев, В. А.** Краткий курс сопротивления материалов / В. А. Гастев. – Москва: Наука. – 1977. – 456 с.

Поступила в редакцию 15 ноября 2022

METAL INTENSITY OF STEEL TRUSSES WITH RODS OF VARIABLE CROSS-SECTION

S. S. Samakalev

Stepan Sergeevich Samakalev, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor at the Department of Construction Technologies and Structures, Surgut State University, Surgut, Russia, tel.: +7(3462)762-945; e-mail: samakalew@mail.ru

Reducing the metal intensity of the trusses of roofs in buildings and structures leads to cheaper manufacturing of structures, lower construction costs, simplification and facilitation of loading and unloading and installation work. Reduction the metal intensity of the trusses remains an urgent task. The article considers the possibility of replacing compressed truss rods with rods with a cross section variable in their length, provided they retain their bearing capacity. We used an approximate method for determining the critical force for a compressed rod of variable cross-section, to be able to analyze diverse variants of the geometry of a rod of variable cross-section and the effect of geometry on reduction of metal intensity. As a result, we obtained simple formulas and ratios of the geometric characteristics of the rod, allowing us to determine the geometric parameters of such a rod and its metal intensity. Based on the formulas obtained, we found the geometric parameters of rods of variable cross-section for two different structures. The first option is a rod made up of paired corners and having an insert of a flat sheet in the central part. The second option is a rod made of a bent-welded profile and reinforced in the central part with plates made of sheet steel. We established the correspondence between the rods of variable and constant cross-section for their possible replacement. Finally, we present the results of calculating the reduction of the metal capacity of the rods.

Keywords: metal trusses; stability of rods of variable cross-section; metal intensity; bearing capacity of steel trusses.

REFERENCES

1. **Guzeev R. N., Slivker V. I.** *Generalized Timoshenko problem*. Construction Mechanics and calculation of structures. 2009. No. 1. Pp. 12-16. (in Russian)
2. **Derevyankin D. V., Slivker V. I.** *On finite element approximations in problems of stability of Timoshenko rods*. Bulletin of Civil Engineers. 2008. No. 4(17). Pp. 17-26. (in Russian)
3. **Zheltkov V. I., Chadaev Yu. A.** *Dynamic states of longitudinally compressed inhomogeneous rod*. Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2014. No. 4(306). Pp. 3-7. (in Russian)
4. **Kagan-Rosenzweig L. M.** *Calculation of critical forces in elastic rods of variable cross-section by direct integration of the differential bending equation*. Bulletin of Civil Engineers. 2018. № 2(67). Pp. 78-86. (in Russian)
5. **Kagan-Rosenzweig L. M.** *Method for calculating critical forces in elastic rods variable cross-section, simplified bending equation (III)*. Bulletin of Civil Engineers. 2016. No. 2(55). Pp. 61-66. (in Russian)
6. **Kagan-Rosenzweig L. M.** *On tangential stresses during bending of an elastic rod of variable cross-section*. Bulletin of Civil Engineers. 2019. No. 2(73). Pp. 43-47. (in Russian)
7. **Likhacheva S. Yu., Kozhanov D. A., Khazov P. A., Anushchenko A. M., Onishchuk E. A., Lobov D. M.** *Stability of centrally compressed rectilinear elastic rods of variable cross-section*. Volga Scientific magazine. 2020. No. 2 (54). Pp. 15-23. (in Russian)

8. **Pavlov V. P., Nusratullina L. R.** *Exact solutions of the equation describing transverse vibrations of a rod with a variable cross-section and their application.* Bulletin of Bashkir University. 2019. Vol. 24. No. 4. Pp. 774-781. (in Russian)
9. **Sabitov L. S. Kuznetsov I. L., Bogdanovich A. U.** *The stress-strain state of a weakly conical rod of variable cross-section.* Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2014. No. 7(90). Pp. 71-77. (in Russian)
10. **Tsarenko S. N.** *Dynamics of bending vibrations of structures with axial heterogeneity of geometric characteristics.* Construction mechanics and calculation of structures. 2018. No. 3(278). Pp. 48-54. (in Russian)
11. **Gastev V. A.** *A short course of resistance of materials.* Moscow, Science. 1977. 456 p. (in Russian)

Received 15 November 2022

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Самакалёв, С. С. Металлоемкость стальных ферм со стержнями переменного сечения / С. С. Самакалёв // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 28-36. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.003.

FOR CITATION:

Samakalev S. S. *Metal intensity of steel trusses with rods of variable cross-section.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 28-36. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.003. (in Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.004

УДК 621.184.4

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ ЭКОНОМАЙЗЕРА ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ

Д. Н. Китаев, С. Г. Тульская

Китаев Дмитрий Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(906)6710284; e-mail: dim.kit@rambler.ru

Тульская Светлана Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(920)2286665; e-mail: tcdtnkfyf2014@yandex.ru

В качестве энергосберегающего мероприятия в котельных жилищно-коммунального сектора и промышленности используется установка экономайзера, нагревающего питательную или сетевую воду. В статье рассматривается вопрос проектирования оптимальной компоновки экономайзера по критерию минимального значения конструкторской невязки, допустимого значения скорости движения дымовых газов, минимального числа обдувочных устройств и возможности размещения в котельной с минимальной реконструкцией газового тракта. Показано, что принятые допущения по конструкторской невязке не обеспечивают оптимального решения. Необходимо нахождение оптимального значения для всех возможных вариантов компоновки и сортамента труб экономайзера.

Ключевые слова: котельная; энергосбережение; экономайзер; питательная вода; компоновка; оптимизация.

В котельных установках сектора жилищно-коммунального хозяйства и промышленности большое распространение получили экономайзеры, которые используются с целью повышения эффективности использования теплоты уходящих дымовых газов [1, 2]. В секторе ЖКХ экономайзеры используются преимущественно в качестве питательных, для подогрева воды перед подачей в котел или теплофикационных, для нагрева сетевой воды, идущей на нужды теплоснабжения потребителя [3]. Экономайзер является важным элементом, влияющим на работу всего котлоагрегата [4]. В последние десятилетия не редко осуществляется перевод паровых котлов, оборудованных экономайзером, в работу на водогрейный режим. При этом возникает задача пересчета и реконструкции экономайзера.

Широкое распространение получили экономайзеры с оребренными трубами ввиду повышенной площади теплообмена и возможности компактного устройства по сравнению с гладкотрубными. Оребрение также способствует сокращению золотого износа теплообменной поверхности и повышает надежность и долговечность конструкции [5, 6]. Использование чугунных труб в экономайзерах позволяет увеличить срок их эксплуатации [7].

По данным исследователей оптимизация конструктивных элементов котлов позволяет повысить КПД до трех процентов [8]. Важное значение в проектировании теплообменных поверхностей имеет отыскание оптимальных геометрических параметров [9]. Как известно, расчет поверхности нагрева экономайзера базируется на совместном решении уравнений баланса и теплообмена. Считается допустимой невязка не более 2 %. При конструктивном расчете необходимо определить расчетную поверхность теплообмена. Промышленностью выпускаются стандартные типоразмеры оребренных труб и фактическая площадь

теплообмена, при использовании стандартных размеров, не будет совпадать с расчетной. Скомпоновать экономайзер можно с разным количеством вертикальных и горизонтальных труб. При работе на твердом и жидком топливе необходимо учитывать размещение системы очистки теплообменных поверхностей. Габаритные размеры экономайзера должны вписываться в котельную или способствовать минимальным затратам на реконструкцию газового тракта [10, 11]. Компоновка экономайзера является оптимизационной задачей, от правильного решения которой может зависеть экономичность всей теплогенерирующей установки.

В табл. 1 представлены результаты расчета экономайзера из чугунных оребренных труб конструкции ВТИ некипящего типа, предполагаемого к установке к котлу КЕ-4-14.

Таблица 1

Результаты расчета экономайзера конструкции ВТИ

Параметр	Обозначение	ед. изм.	Значение
Температура дымовых газов на входе	$t_{вх}$	°С	364,8
Температура дымовых газов на выходе	$t_{ух}$	°С	180
Энтальпия газов на входе	$I_{вх}$	ккал/кг	1837,8
Энтальпия газов на выходе	$I_{вых}$	ккал/кг	887,0
Тепловосприятие	Q_6	ккал/кг	922,72
Скорость дымовых газов	w	м/с	8
Площадь живого сечения для прохода дым.газов	$F_{эк}$	м ²	0,39
Коэффициент теплопередачи	K	ккал/м ² /ч/К	16,849
Поверхность теплообмена	$H_{эк}$	м ²	192,9
Длина одной трубы	l	мм	1500
Поверхность нагрева с газовой стороны одной трубы	$H_{1тр}$	м ²	2,18
Живое сечение для прохода газа одной трубы	$F_{1эк}$	м ²	0,088
Общее число труб	$z_{эк}$	шт	90
Число труб в горизонтальном ряду	$z_{г}$	шт	5
Число труб экономайзера в вертикальном ряду	$z_{в}$	шт	18
Конструкторская поверхность теплообмена	$H_{эк}^к$	м ²	196,2
Конструктивная невязка	$\Delta \epsilon$	%	1,71

Из табл. 1 следует, что компоновка экономайзера, состоящего из 18 вертикальных и 5 горизонтальных труб, является допустимой по конструкторской невязке. Для выявления оптимального варианта следует учесть и другие параметры, влияющие на эффективность и экономичность работы экономайзера.

На рис. 1 представлены результаты поиска минимальных значений конструкторской невязки при числе горизонтальных труб экономайзера от 3 до 12 ($3 \leq z_{г} \leq 12$).

Как видно из рис. 1, есть три минимальных значения невязки при следующих параметрах: $z_{г}=4$, $z_{в}=22$; $z_{г}=8$, $z_{в}=11$; $z_{г}=11$, $z_{в}=8$. Необходимо выбрать из трех равнозначных вариантов по критерию конструкторской невязки.

Важным эксплуатационным параметром является скорость движения дымовых газов в экономайзере. Ее можно определить по формуле:

$$w = \frac{B_p V_{г} (273 + t_{ср})}{3600 \cdot 273 F_{1эк} z_{г}}, \quad (1)$$

где B_p – расход топлива, кг/ч; $V_{г}$ – удельный объем дымовых газов в экономайзере, м³/кг; $t_{ср}$ – средняя температура газов в экономайзере, °С.

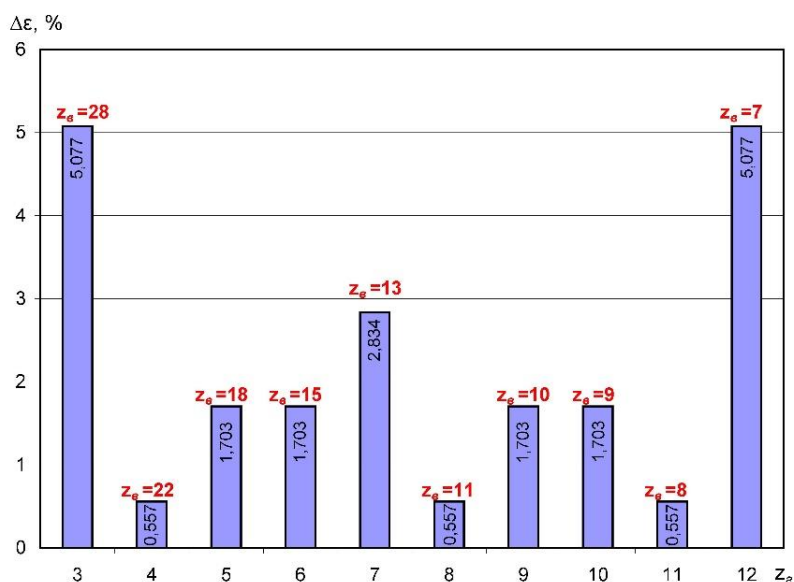


Рис. 1. Минимальные значения конструктивных невязок при длине трубы экономайзера 1500 мм

На рис. 2 представлены значения скоростей дымовых газов для оптимальных конструкторских невязок при числе горизонтальных труб от 3 до 12.

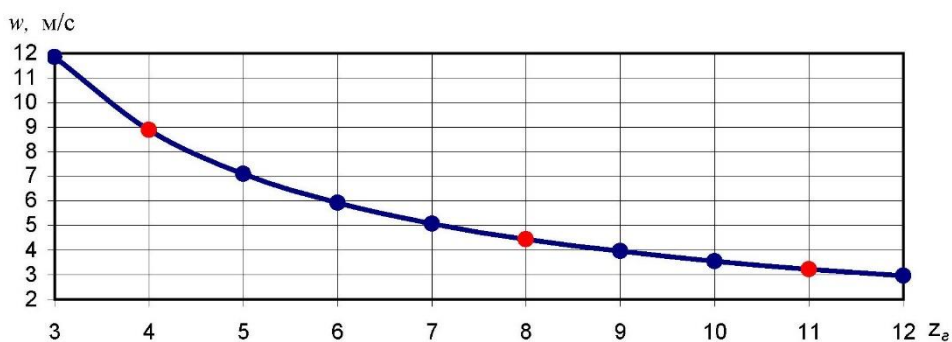


Рис. 2. Скорости газов в экономайзере

Из данных расчетов и рис. 2 следует, что при числе горизонтальных рядов от 3 до 12 (при условии минимальных невязок) скорость газового потока находится в диапазоне от 11,84 до 2,96 м/с. Для трех вариантов с минимальной невязкой скорости имеют значения 8,88, 4,44 и 3,23 м/с. В действующих нормативах проектирования теплогенерирующих установок значения скорости в экономайзерах не регламентируется. В рассматриваемом примере в котельной используется твердое топливо (уголь) и считается, что оптимальным значением скорости в таком случае является 6...9 м/с, а допустимым 3...12 м/с. По критерию скорости движения газов все рассматриваемые варианты являются допустимыми, а вариант с параметрами $z_g = 4$, $z_v = 22$ наилучшим.

Для очистки поверхности экономайзера с оребренными трубами необходимо использовать специальные устройства, например, обдувочные. Рассмотрим установку стандартных обдувочных устройств, использующих пар. На рис. 3 представлены принципиальные схемы трех вариантов оптимальной компоновки экономайзеров по критерию невязки. Минимальное количество обдувочных устройств может являться существенным критерием. По критерию минимального количества обдувочных устройств наиболее благоприятным будет вариант $z_g = 11$, $z_v = 8$ (одно устройство).

Важными параметрами являются также габариты экономайзера (см. рис. 3). В расчетах длины труб были приняты стандартными – 1500 мм. С учетом размера трубы экономай-

зера 150×150 и ширины обдувочного устройства 500 мм, определены размеры, представленные на рис. 3. На представленных рисунках не учтены размеры подводящего и отводящего газохода и толщины опорных стальных конструкций, т.е. к указанным размерам ориентировочно можно прибавить минимум 1000 мм. Необходимо четко понимать – для каких условий проектируется экономайзер, как размещено существующее оборудование котельной, особенно если экономайзер не был предусмотрен в проекте. Например, рассматривая типовой проект котельной с тремя котлами КЕ 4-14 без экономайзера, можно заключить, что вертикальные размеры экономайзера, приведенного на рис. 3, а (оптимального по скорости движения газов) будут превышать высоту выхода газохода от отметки чистого пола. При использовании такой конструкции придется усложнить газоход: подъем вверх, горизонтальный участок и опуск вниз. Кроме того, такое мероприятие увеличит сопротивление газового тракта.

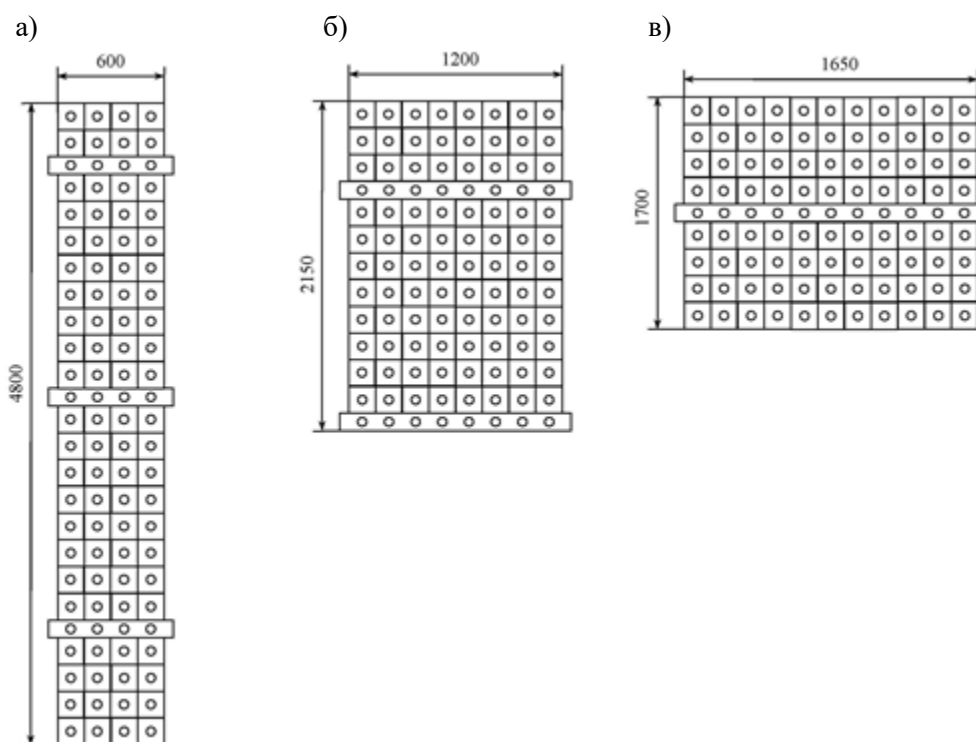


Рис. 3. Варианты оптимальной компоновки экономайзера при длине труб 1500 мм

В итоге при использовании труб с длиной 1500 мм, оптимальная конфигурация экономайзера наблюдается при $z_r = 11$, $z_b = 8$.

По рассмотренному алгоритму были определены минимальные значения невязок в диапазоне горизонтальных чисел рядов, обеспечивающих допустимые скорости движения газов для труб экономайзера длиной 2000, 2500 и 3000 мм и соответствующее количество вертикальных рядов z_r и скорости газов w . Итоговые варианты по всем длинам l стандартных оребренных чугунных труб экономайзера приведены в табл. 2.

В табл. 2 отсутствуют данные для длины труб 3 м, т.к. минимальное значение конструкторской невязки составляет 2,41 %. По критерию наименьшей конструкторской невязки самым оптимальным является вариант IV с невязкой 0,27 %, худший вариант III с невязкой 0,6 %. Во втором варианте наблюдается минимальная скорость 3,23 м/с, но минимальное значение количеств обдувочных устройств – одно. Оптимальным является вариант IV у которого наименьшая невязка и значение скорости 5,14 м/с близкое к оптимальному диапазону.

Таблица 2

Оптимальные параметры экономайзера

Вариант	l , мм	$z_{г}$, шт	$z_{в}$, шт	$\Delta \varepsilon$, %	w , м/с	$n_{обд}$, шт	Габариты конструкции, м	
							Высота	Ширина
I	1500	8	11	0,5566	4,44	2	2,15	1,2
II	1500	11	8	0,5566	3,23	1	1,7	1,65
III	2000	5	13	0,6032	5,21	2	2,95	0,75
IV	2500	4	13	0,2728	5,14	2	2,95	0,6

Следует отметить, что выбранная компоновка является оптимальной только для рассматриваемого котла и котельной. Если рассмотреть котел, работающий на газообразном топливе (например, ДКВР), то там нет необходимости устраивать систему золошлакоудаления и дутья под решетку, а, следовательно, и отметка пола котла будет значительно отличаться. В таком случае было бы целесообразно устройство экономайзера с минимальной высотой с целью упрощения конфигурации подводящих газопроводов и снижения аэродинамического сопротивления. Также мощность котла, а, следовательно, габариты, могут оказывать существенное влияние на компоновку экономайзера.

Заключение.

Рассмотрен алгоритм выбора оптимальной компоновки экономайзера, учитывающий критерии конструкторской невязки, допустимой скорости движения газов, минимального числа обдувочных устройств и конфигурации газопроводов.

На конкретном примере показано, что использование заранее заданных значений конструктивных невязок (5, 2, 0,5 %) далеко не всегда позволяет найти оптимальную компоновку экономайзера. Выбор оптимальной компоновки экономайзера является сложной многокритериальной оптимизационной задачей, индивидуальной для каждой котельной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Хворенков, Д. А.** Оценка эффективности применения системы утилизации теплоты уходящих газов на отопительной котельной / Д. А. Хворенков, О. И. Варфоломеева // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – № 4(84). – С. 44-46.
2. **Семенов, В. Н.** Актуальные проблемы теплоснабжения муниципальных образований (на примере городского округа город Воронеж) / В. Н. Семенов, Д. Н. Китаев, А. С. Овсянников // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2015. – № 14. – С. 100-108.
3. Разработка и создание отечественного высокоэффективного энергетического оборудования малой мощности / П. В. Росляков, Б. Г. Гриша, И. Л. Ионкин, М. Н. Зайченко // Вестник МЭИ. – 2018. – № 6. – С. 33-42. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-6-33-42.
4. **Рябчиков, Н. М.** Комплексное исследование труб змеевика экономайзера котла ДЕ-25-24-250ГМ-0 / Н. М. Рябчиков, А. В. Аликин, А. В. Кобелев, Р. О. Трус // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2015. – № 4. – С. 86-98.
5. **Тимофеева, И. В.** Сопоставление коридорных и шахматных экономайзеров из спирально-оребранных труб с подогнутыми ребрами для пылеугольных котлов на топливе с сыпучей золой / И. В. Тимофеева, В. Е. Золотарева, А. Ю. Лазарев // В сборнике трудов конференции. Проблемы науки. Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева. Новомосковск. – 2019. – Часть 2. – С. 122-125.
6. **Сугиров, Д. У.** Опыт установки плоских турбулизаторов за чугунным экономайзером котла ДКВР / Д. У. Сугиров // Вопросы науки и образования. 2019. – № 12(59). – С. 29-32.

7. Моделирование литейной технологии производства отливки «сегмент экономайзера» / К. Н. Вдовин, Н. А. Феоктистов, В. Д. Куликов, И. С. Кондратьев // Теория и технология металлургического производства. – 2015. – № 1(16). – С. 71-75.

8. Лукьянов, А. В. Математическая модель конструктивно-поверочного расчета конвективных элементов котлов ВК-21 / А. В. Лукьянов, В. Н. Качан // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 62-68.

9. Голдаев, С. В. Анализ теплотехнических характеристик оребренных экономайзеров паровых котлов / С. В. Голдаев, М. В. Ковалев // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т.311. – №4. – С. 59-61.

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

11. Китаев, Д. Н. Перспективные схемы использования когенерационных установок в системах теплоснабжения / Д. Н. Китаев, Н. С. Шестых // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 2(7). – С. 26-29.

Поступила в редакцию 19 сентября 2022

JUSTIFICATION OF THE OPTIMAL ARRANGEMENT OF THE ECONOMIZER IN ACCORDANCE WITH TECHNICAL CRITERIA

D. N. Kitaev, S. G. Tulskeya

Dmitry Nikolaevich Kitaev, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor at the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(906)671-02-84; e-mail: dim.kit@rambler.ru

Svetlana Gennadiyevna Tulskeya, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor at Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(920)228-66-65; e-mail: tcdtnkfyf2014@yandex.ru

Economizer is used to heat feed or network water, when used as an energy-saving measure in boiler rooms of the housing and communal sector and industry. The article deals with the issue of designing the optimal arrangement of the economizer according to the criterion of the minimum value of the design discrepancy, permissible value of the flue gas velocity, minimum number of blowers and possibility of placement in a boiler room with a minimum reconstruction of the gas path. We show that the accepted assumptions on the design discrepancy do not provide the optimal solution. One needs to find the optimal value for all possible options for the arrangement and assortment of the economizer pipes.

Keywords: boiler room; energy saving; economizer; feed water; arrangement; optimization.

REFERENCES

1. Khvorenkov D. A., Varfolomeeva O. I. *Evaluation of the effectiveness of the system for utilizing the heat of exhaust gases at a heating boiler room*. Energy saving and water treatment. 2013. No. 4(84). Pp. 44-46. (in Russian)

2. Semenov V. N., Kitaev D. N., Ovsyannikov A. S. *Actual problems of heat supply of municipalities (on the example of the urban district of the city of Voronezh)*. Bulletin of the Central Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences. 2015. No. 14. Pp. 100-108. (in Russian)

3. Roslyakov P. V., Grisha B. G., Ionkin I. L., Zaichenko M. N. *Development and creation of domestic high-performance power equipment of low power*. Bulletin of MPEI. 2018. No. 6. Pp. 33-42. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-6-33-42. (in Russian)

4. **Ryabchikov N. M., Alikin A. V., Kobelev A. V., Trus R. O.** *Comprehensive study of the pipes of the economizer coil of the boiler DE-25-24-250GM-0.* Bulletin of PNRPU. Chemical technology and biotechnology. 2015. No. 4. Pp. 86-98. (in Russian)
5. **Timofeeva I. V., Zolotareva V. E., Lazarev A. Yu.** *Comparison of in-line and staggered economizers from spirally finned pipes with bent ribs for pulverized coal-fired boilers fueled with loose ash.* In the collection of conference proceedings. Problems of science. Novomoskovsk Institute of RKhTU named after D.I. Mendeleev. Novomoskovsk. 2019. Part 2. Pp. 122-125. (in Russian)
6. **Sugirov D. U.** *Experience in installing flat turbulators behind the cast-iron economizer of the DKVR boiler.* Questions of science and education. 2019. No. 12(59). Pp. 29-32. (in Russian)
7. **Vdovin K. N., Feoktistov N. A., Kulikov V. D., Kondratiev I. S.** *Modeling of foundry technology for the production of castings «economizer segment».* Theory and technology of metallurgical production. 2015. No. 1(16). Pp. 71-75. (in Russian)
8. **Lukyanov A. V., Kachan V. N.** *Mathematical model of constructive and verification calculation of convective elements of boilers VK-21.* Energy systems. 2017. No. 1. Pp. 62-68. (in Russian)
9. **Goldaev S. V., Kovalev M. V.** *Analysis of thermal characteristics of ribbed economizers for steam boilers.* Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. 2007. T. 311. No. 4. Pp. 59-61. (in Russian)
10. **Kitaev D. N., Kurnosov A. T., Cheremisin A. V., Gasanov Z. S.** *The use of digital technologies in the thermal calculation of heat generating installations.* Scientific journal. Engineering systems and structures. 2020. V. 2. No. 1(39). P. 114-118. (in Russian)
11. **Kitaev D. N., Shestikh N. S.** *Perspective schemes for the use of cogeneration plants in heat supply systems.* Scientific journal. Engineering systems and structures. 2012. No. 2(7). Pp. 26-29. (in Russian)

Received 19 September 2022

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Китаев, Д. Н. Обоснование оптимальной компоновки экономайзера по техническим критериям / Д. Н. Китаев, С. Г. Тульская // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 37-43. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.004.

FOR CITATION:

Kitaev D. N., Tulskeya S. G. *Justification of the optimal arrangement of the economizer in accordance with technical criteria.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 37-43. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.004. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.005

УДК 628.85

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ЧЕРДАЧНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ДЕТСКИХ САДОВ СО СКАТНЫМИ КРОВЛЯМИ

Д. А. Драпалюк, Н. А. Драпалюк, А. В. Исанова, М. С. Кононова

Драпалюк Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(950)750-38-13; e-mail: drapaluyk@yandex.ru

Драпалюк Наталья Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(903)858-25-60; e-mail: u00076@vgasu.vrn.ru

Исанова Анна Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(906)677-97-73; e-mail: a.isanova@bk.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

Рассмотрен вопрос появления серьезных дефектов в зданиях дошкольных образовательных учреждений, эксплуатируемых менее пяти лет с момента строительства. По данным натурных обследований выполнен анализ дефектов, имеющих схожую природу возникновения. Рассмотрены вопросы организации чердачных пространств на типовых объектах, тепло влажностный режим чердачных помещений и влияние температур и относительной влажности на выпадение конденсата на различных поверхностях и слоях чердачного пространства. Для анализа использованы зависимости изменений парциального давления водяного пара и парциального давления насыщенного пара в плоскости чердачного пространства. Определены интервалы температур и относительной влажности, характерные для рассматриваемого района строительства, при которых образуется конденсат на поверхности гидроизоляционной плёнки в конструкции кровли.

Ключевые слова: тепловлажностный режим; чердачные помещения; плоскость конденсации; относительная влажность; давление насыщенного пара; парциальное давление.

В настоящее время большое внимание уделяется строительству детских дошкольных образовательных учреждений. При эксплуатации в этих зданиях, к сожалению, возникает значительное количество дефектов, которые требуют срочных устранений [1, 2]. Сложность данного вопроса заключается в том, что выявление дефектов происходит в течение небольшого времени, менее пяти лет с момента введения в эксплуатацию, что вызывает большие трудности с поиском средств в бюджете на проведение мероприятий по устранению дефектов, так как здания не прошли гарантийного периода согласно градостроительному кодексу РФ, который составляет пять лет.

При проведении строительно-технических экспертиз образовательных учреждений в г. Воронеж: были выявлены последствия нарушения теплового, воздушного и влажностного режима чердачных помещений на нескольких объектах, построенных по одному типовому проекту. Отличительной особенностью рассматриваемых объектов является наличие скатной кровли сложной конфигурации (рис. 1).

Адреса рассматриваемых объектов:

- ✓ МБДОУ детский сад общеразвивающего вида № 199 по адресу ул. Шишкова, 148/4;
- ✓ МБДОУ центр развития ребенка – детский сад № 99 по адресу Павловский пер., 58;
- ✓ детский сад общеразвивающего вида № 81 по адресу Ростовская ул., 69А.



Рис. 1. Внешний вид рассматриваемого типового здания детского сада

В ходе проведения инструментального обследования было проведено вскрытие чердачного перекрытия для установления фактически используемых материалов в конструкциях. Визуальный детальный осмотр строительных конструкций позволил выявить несколько видов дефектов, образование которых связано с нарушением тепловлажностного режима подкровельного пространства [3, 4].

- ✓ образование льда на торцевых поверхностях наружных стен и под мауэрлатом (рис.2);

- ✓ протечки вследствие обильного выпадения конденсата на внутренней поверхности ограждения (рис. 3, 4).



Рис. 2. Образование наледи на наружных ограждающих конструкциях



Рис. 3. Следы увлажнения и стекания влаги, образовавшейся при конденсации на внутренней поверхности ограждающих конструкций



Рис. 4. Протечка между плитами чердачного перекрытия

Основной причиной выявленных дефектов является то, что при температурных перепадах от -5°C до $+5^{\circ}\text{C}$, что для г. Воронежа является преобладающей температурой в холодный период года, вода, оттаивая и дополнительно конденсируясь в чердачном пространстве, стекает по стенам в помещения третьего, и ниже лежащих этажей стен [5].

Стены в помещениях детских садов отделываются в основном вододисперсионными составами, которые при размачивании раскисают, образуется грибок и нарушается целостность поверхностной отделки. При дальнейшем замачивании происходит увлажнение утеплителя, потеря теплотехнических свойств, промерзание ограждающих конструкций, образование конденсата на внутренних поверхностях помещений с постоянным пребыванием детей, как следствие образование грибка. С наружной стороны происходит размораживание кирпичной кладки и разрушение ограждающих конструкций стен [6].

Согласно проекту, предполагалось использование следующих слоев конструкции чердачного перекрытия:

- ✓ цементно-песчаная стяжка М100, 40 мм;
- ✓ утеплитель: негорючее теплозвукоизоляционное покрытие – минераловатные плиты «РУФ БАТТС» «ROCKWOOL», 200 мм;
- ✓ полиэтиленовая пленка;
- ✓ сборная железобетонная плита перекрытия.

При вскрытии подтвердились проектные данные, толщина и состав чердачного перекрытия соответствовали проекту.

Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия составляет $3,986 (\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$. Фактическое значение приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия, рассчитанное с учетом его геометрических и теплотехнических характеристик, составило $6,188 (\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$, то есть поэлементные требования по тепловой защите согласно СП 50.13330.2012, п.5.1, выполняются.

Сопротивление паропрооницанию $R_{\text{п}}$, $(\text{м}^2 \text{ ч Па})/\text{мг}$, чердачного перекрытия, расположенного между внутренней поверхностью покрытия и воздушной прослойкой, в зданиях со скатными кровлями должно быть не менее требуемого сопротивления паропрооницанию, которое в данном случае определяется в соответствии с СП 50.13330.2012, п. 8.2 и составляет $1,478 (\text{м}^2 \text{ ч Па})/\text{мг}$.

Фактическое сопротивление паропрооницанию, рассчитанное по СП 50.13330.2012, п.8.7 составило $8,433 (\text{м}^2\text{чПа})/\text{мг}$, что больше требуемого значения $1,478 (\text{м}^2 \text{ ч Па})/\text{мг}$.

Таким образом, установлено, что при проектировании все требования выполнены, но, несмотря на это, в ходе обследования доказано ухудшение эксплуатационных характеристик. И даже мероприятия, проведенные по гарантийным обязательствам подрядчиками в виде перекрытия гладкими листами кровельного металлопрофиля и устройства подогрева карниза, не эффективны и не устраняют выявленные дефекты.

Для определения условий выпадения конденсата необходимо провести анализ климатических данных Воронежа за отопительный период и рассчитать влажностный режим конструкции в пятилетнем цикле эксплуатации. Результатом расчета является распределение температур и влажности по толщине конструкции в любой момент времени ее эксплуатации стен [7, 8].

При определении условий выпадения конденсата необходимо рассматривать не только тепловлажностный режим в толще чердачные перекрытия, но и в неотапливаемом объеме чердачного помещения, высота которого колеблется от 0,5 м до 5,68 м.

Давление водяного пара в чердачном помещении определяется балансом пришедшей из конструкции в воздушное пространство и ушедшей из нее наружу влаги [9, 10]. Расчет проводим для характерных температур за отопительный период для Воронежа.

Решение уравнения баланса описывается формулой:

$$e_{\text{пр}} = e_l - (e_l - e_n) \exp\left(-\frac{h}{x_l}\right), \quad (1)$$

где $e_{\text{пр}}$ – парциальное давление водяного пара в чердачном пространстве скатной кровли, Па; e_l – предельное парциальное давление водяного пара в чердачном пространстве скатной кровли, Па; x_l – условная высота, на которой парциальное давление водяного пара в чердачном пространстве скатной кровли отличается от предельного в e раз ($e \approx 2,7$) меньше, чем отличается при входе в чердачном пространстве скатной кровли м; e_n – парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па; $R_{\text{эк}}^{\text{п}}$ – сопротивление паропроницанию покрытия кровли, (м² ч Па)/мг;

Расчеты проводились в соответствии с методическими рекомендациями СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты», п.8. Результаты расчетов показали, что величина парциального давления водяного пара в чердачном пространстве скатной кровли $e_{\text{пр}}$ становится равна давлению насыщенного водяного пара при температурах наружного воздуха в интервалах 3,5 °С до 4,5 °С (рис. 5...8).

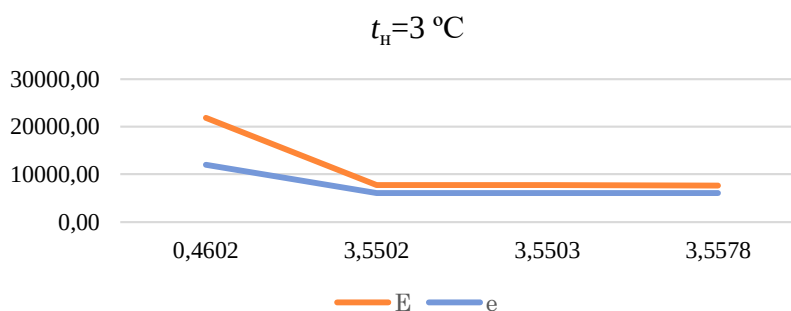


Рис. 5. Графики изменений парциального давления водяного пара (e) и парциального давления насыщенного пара (E) в плоскости чердачного пространства при $t_n=3\text{ °C}$

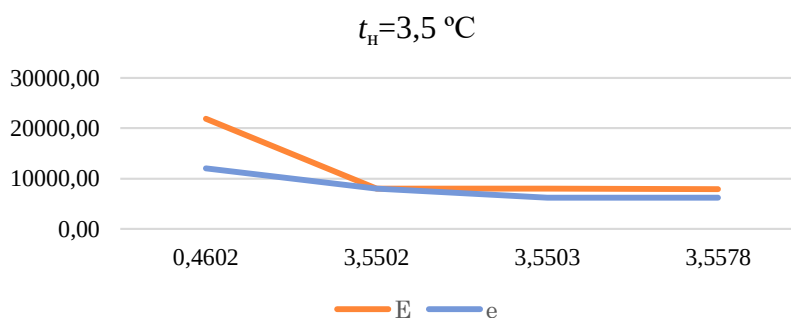


Рис. 6. Графики изменений парциального давления водяного пара (e) и парциального давления насыщенного пара (E) в плоскости чердачного пространства при $t_n=3,5\text{ °C}$

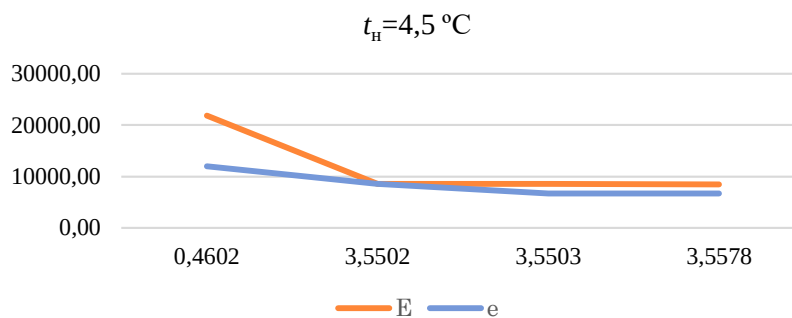


Рис. 7. Графики изменений парциального давления водяного пара (e) и парциального давления насыщенного пара (E) в плоскости чердачного пространства при $t_n=4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

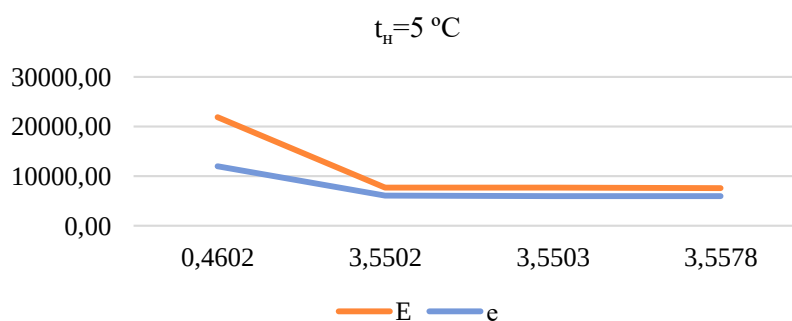


Рис. 8. Графики изменений парциального давления водяного пара (e) и парциального давления насыщенного пара (E) в плоскости чердачного пространства при $t_n=5\text{ }^{\circ}\text{C}$

На основании полученных данных температура в толще чердачного покрытия и чердачного пространства распределяется следующим образом (рис. 9).

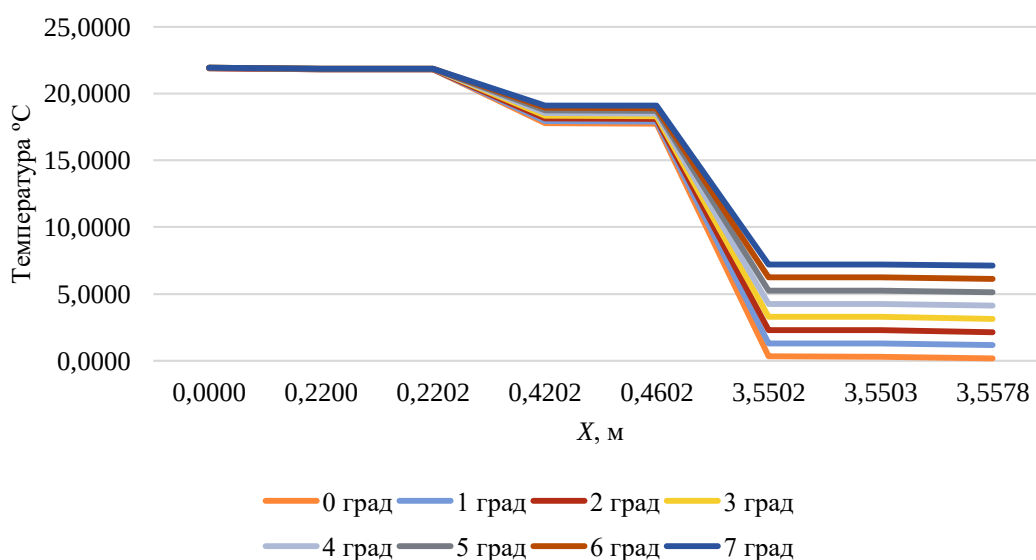


Рис. 9. Графики распределения температур в чердачном покрытии и чердачном пространстве скатной кровли

При сравнении температур на границах слоев с температурой точки росы уточняем интервал температур наружного воздуха, при котором на гидроизоляционной пленке под металлочерепицей возможно выпадение конденсата, который составил от $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $3,77\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 10).

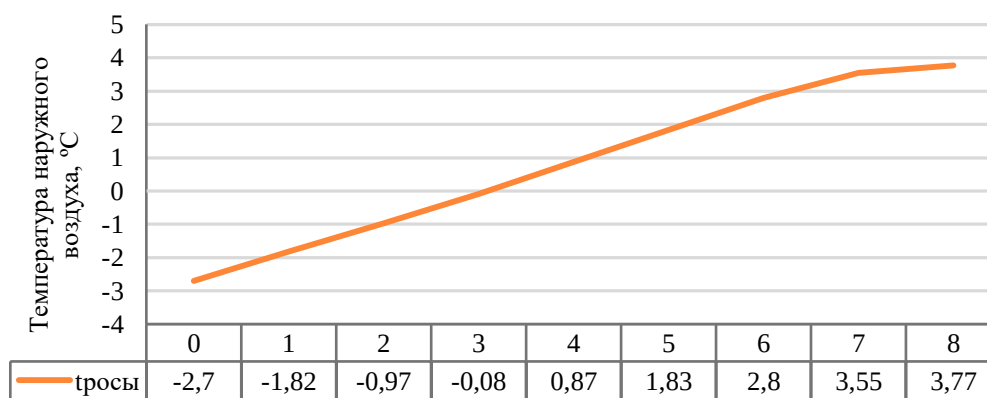


Рис. 10. Значение температуры точки выпадения конденсата для относительной влажности 80 %

Данные температуры и относительная влажность характерны для ноября и марта, согласно климатологическим данным для города Воронежа. Так как $e_{пр} > E_n$, то необходимо принять меры по улучшению тепловлажностного режима чердачного пространства скатной кровли, а именно обеспечить необходимый воздухообмен с учетом перепада высот и объемно планировочных решений рассматриваемых зданий.

Одной из возможных причин блокирования воздушных потоков, обеспечивающих необходимый воздухообмен в чердачном пространстве, может являться установка стеклопакетов вместо вентиляционных решеток в слуховых окнах, а также сложная конфигурация объемно-планировочного решения чердачного пространства рассматриваемых объектов, что формирует условия выпадения конденсата на внутреннюю поверхность гидроизоляционной пленки.

Организация вентиляции в чердачном пространстве должна рассматриваться с учетом взаимного влияния потоков приточного и вытяжного воздуха, количества конденсирующейся влаги на пленке и интервала параметров наружного воздуха за отопительный период.

Заключение.

Проведен анализ причин дефектов строительных конструкций чердачных помещений в серии детских садов со скатными кровлями. Установлено, что причинами появления дефектов в виде выпадения конденсата и образования наледей, при соблюдении нормативных требований по тепловой защите, является нарушение тепловлажностного режима, связанного с недостаточной вентиляцией.

Проведенные расчеты по определению давления водяного пара в чердачном помещении позволили установить интервал температур, при котором происходит выпадение конденсата в конструкции кровли. Для условий города Воронежа установленный диапазон температуры и относительной влажности (равной 80 %) характерны для ноября и марта.

Полученные результаты позволяют сформировать рекомендации для устранения выявленных дефектов путем организации вентиляции чердачного пространства, особенно в периоды, характеризующиеся климатическими характеристиками, установленными в результате проведенного исследования.

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. **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.

3. **Миргородский, А. Н.** Прогноз риска повреждения строительных конструкций зданий и сооружений с неотапливаемыми чердачными помещениями / А. Н. Миргородский, В. М. Моторин, Д. Н. Гула // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2020. – № 3(55). – С. 77-85.

4. **Дацюк, Т. А.** Влияние тепловлажностного режима теплых чердаков на состояние ограждающих конструкций / Т. А. Дацюк, Е. А. Аншукова // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 5(76). – С. 160-165.

5. Проблемы эксплуатации зданий с двускатными кровлями в зимний период / В. М. Моторин, С. И. Прямых, С. Н. Буяков, А. Н. Миргородский, А. В. Литвинюк // Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. – 2013. – № 641. – С. 175-178.

6. **Касимова, Г. Т.** Сравнение результатов натурных исследований с математической моделью тепловлажностного режима помещения при нестационарных внутренних и внешних воздействиях / Г. Т. Касимова, А. М. Абдылдаева // Вестник КГУСТА. – 2018. – № 4(62). – С. 154-164

7. **Боронбаев, Э. К.** Графики оптимизации круглогодичных режимов теплообеспечения микроклимата в здании / Э. К. Боронбаев // Известия вузов. Строительство. – 2004. – № 10. – С. 60-64.

8. **Дацюк, Т. А.** Моделирование тепловлажностного режима при проектировании зданий / Т. А. Дацюк, А. М. Гримитлин // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 3(38). – С. 117-121.

9. **Малявина, Е. Г.** Строительная теплофизика: учебное пособие / Е. В. Малявина. – Москва: Издательство МГСУ, 2011. – 152 с.

10. **Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий:** монография / В. Н. Богословский; под ред. В. Г. Ггарина. – Москва: МГСУ, 2013. – 112 с.

Поступила в редакцию 15 ноября 2022

FEATURES OF THE HEAT AND HUMIDITY CONDITIONS OF ATTIC ROOMS OF KINDERGARTENS WITH PITCHED ROOFS

D. A. Drapalyuk, N. A. Drapalyuk, A. V. Isanova, M. S. Kononova

Dmitry Aleksandrovich Drapalyuk, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(950)750-38-13; e-mail: drapaluyk@yandex.ru

Natalia Aleksandrovna Drapalyuk, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(903)858-25-60; e-mail: u00076@vgasu.vrn.ru

Anna Vladimirovna Isanova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(906)677-97-73; e-mail: a.isanova@bk.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

We consider the issue of the emergence of serious defects in the buildings of preschool educational institutions operating for less than five years from the date of construction. According to the data of field surveys, we performed an analysis of defects with a similar nature of occurrence. We considered the issues of the organization of attic rooms on typical facilities, the heat and humidity conditions of attic rooms and the influence of temperatures and relative humidity on condensation on various surfaces and layers of the attic rooms. We used for our analysis the dependences of changes in the partial pressure of water vapor and the partial pressure of saturated steam in the plane of the attic rooms. So we determined the temperature and relative humidity intervals characteristic of the construction area under consideration, at which condensation appears on the surface of the waterproofing film in the roof structure

Keywords: heat and humidity conditions; attic rooms; condensation plane; relative humidity; saturated steam pressure; partial pressure.

REFERENCES

1. **Kozlov M. L.** *Children's educational institutions: problems and design errors*. Academic Bulletin of URALNIIPROEKT RAASN. 2011. No. 3. Pp. 92-97. (in Russian)
2. **Shmelev G. D., Sazonov E. V., Kononova M. S.** *Monitoring and forecast of the technical condition of building structures of buildings and structures*. Housing and communal infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 9-18. (in Russian)
3. **Mirgorodsky A. N., Motorin V. M., Gula D. N.** *Prognosis of the risk of damage to building structures of buildings and structures with unheated attic rooms*. Problems of risk management in the technosphere. 2020. No. 3(55). Pp. 77-85. (in Russian)
4. **Datsyuk T. A., Anshukova E. A.** *The influence of the heat and humidity regime of warm attics on the condition of enclosing structures*. Bulletin of Civil Engineers. 2019. No. 5(76). Pp. 160-165. (in Russian)
5. **Motorin V. M., Pryamyh. S. I., Buyakov S. N., Mirgorodsky A. N., Litvinyuk A. V.** *Problems of operation of buildings with gable roofs in winter*. Proceedings of the Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky. 2013. No. 641. Pp. 175-178. (in Russian)
6. **Kasymova G. T., Abdylbaeva A. M.** *Comparison of the results of field studies with a mathematical model of the heat and humidity regime of a room under non-stationary internal and external influences*. Bulletin of KGUSTA. 2018. No. 4(62). Pp. 154-164. (in Russian)
7. **Boronbayev E. K.** *Schedules of optimization of year-round modes of microclimate heat supply in a building*. Izvestiya vuzov. Construction. 2004. No. 10. Pp. 60-64. (in Russian)
8. **Datsyuk T. A., Grititlin A. M.** *Modeling of the heat and humidity regime in the design of buildings*. Bulletin of Civil Engineers. 2013. No. 3(38). Pp. 117-121. (in Russian)
9. **Malyavina E. G.** *Construction thermophysics: Textbook*. Moscow, MGSU Publishing House. 2011. 152 p. (in Russian)
10. **Bogoslovsky V. N.** *Fundamentals of the theory of the moisture potential of the material in relation to the outer enclosures of the shell of buildings*. Moscow, MGSU. 2013. 112 p. (in Russian)

Received 15 November 2022

Для цитирования:

Особенности тепловлажностного режима чердачных помещений детских садов со скатными кровлями / Д. А. Драпалюк, Н. А. Драпалюк, А. В. Исанова, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 44-51. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.005.

FOR CITATION:

Drapalyuk D. A., Drapalyuk N. A., Isanova A. V., Kononova M. S. *Features of the heat and humidity conditions of attic rooms of kindergartens with pitched roofs*. Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 44-51. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.005. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.006

УДК 697.921.42

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ МЕСТНОГО ОТСОСА В СИСТЕМАХ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЦЕХА

Б. П. Новосельцев, Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, С. А. Сафонов

Новосельцев Борис Петрович, 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: belebey36@mail.ru

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

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

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

Обоснована актуальность совершенствования конструкции устройств для удаления вредных веществ в системах местной вытяжной вентиляции, которые способствуют созданию для создания нормируемых параметров воздушной среды в локальном объеме рабочей зоны производственного помещения путем удаления загрязненного воздуха непосредственно от источника (технологического оборудования) выделения вредных веществ. Разработана конструкция, позволяющая при малых расходах отсасываемого (удаляемого) воздуха обеспечивать концентрации загрязняющих вредных веществ на допустимом нормами уровне. При этом работа вытяжного устройства взаимосвязана с выполнением технологического процесса таким образом, чтобы минимизировать выделение вредных веществ в помещение на различных этапах его выполнения; регулирование работы местного отсоса может происходить в ручном или автоматическом режимах. Показано, что применение описываемого устройства позволит снизить капитальные (вентиляционное оборудование, изделия и материалы) и эксплуатационные (тепловая и электрическая энергия) траты при организации вентиляционных систем в гальванических и травильных цехах производственных зданий.

Ключевые слова: местный отсос; устройство удаления вредных веществ; местная вытяжная вентиляция; вентиляция производственного здания; гальваническая ванна; бортовой отсос.

На машиностроительных предприятиях имеется большое количество технологического оборудования, при работе которого выделяется значительное количество вредных веществ.

Вентиляция, согласно СП 60.13330.2020 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», служит для создания и поддержания нормируемых параметров воздуха в рабочей зоне помещения и способствует сохранению здоровья работающих и повышению производительности их труда.

Наиболее эффективный способ улавливания выделяющихся вредных веществ – это их улавливание непосредственно у мест их образования при относительно небольших расходах удаляемого воздуха. Для этого применяют местные отсосы в виде разного рода укрытий: вытяжные шкафы, зонты, бортовые отсосы у ванн, кожухи у абразивных кругов и др. На многих предприятиях используются типовые устаревшие конструкции местных отсосов (рис. 1), которые не учитывают характер проведения технологического процесса.

Например, по данным [1, 2] в гальванических и травильных цехах в качестве местных

отсосов используются бортовые отсосы, эффективность улавливания вредных веществ не превышает 60...70 %. Такая низкая эффективность бортовых отсосов приводит к значительному увеличению расхода воздуха, удаляемого общеобменной вентиляцией [3, 4]. При увеличении объема удаляемого воздуха следует увеличить расход приточного воздуха, а в холодный период года указанный расход следует подогреть до требуемой температуры.

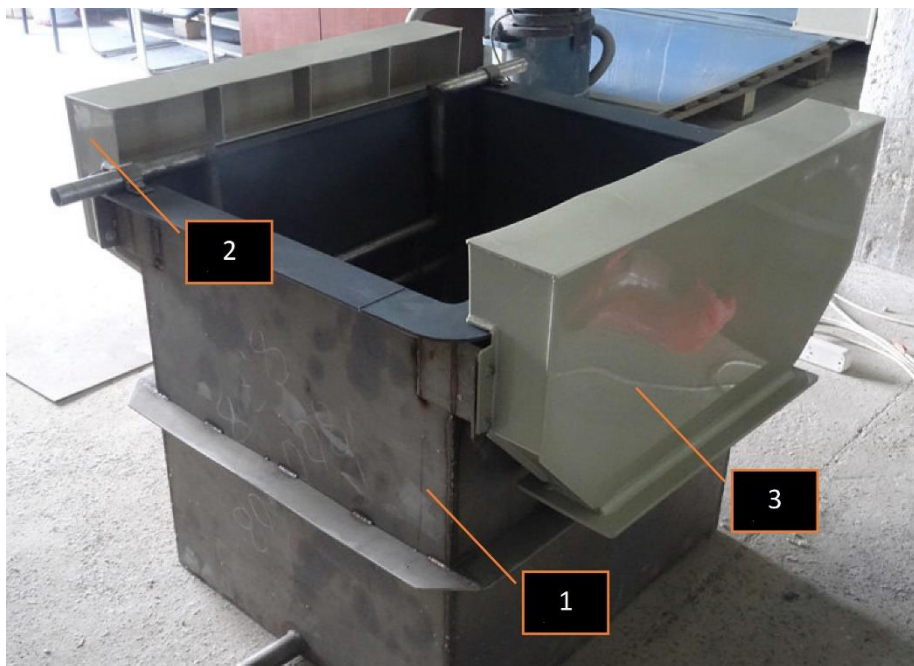


Рис. 1. Двусторонний бортовой отсос у гальванической ванны:
1 – гальваническая ванна; 2, 3 – бортовой отсос

Санитарно-гигиенические и технико-экономические показатели работы системы вентиляции определяются эффективностью действия местных отсосов. Чем больше вредных веществ улавливается местным отсосом, тем меньше указанных вредностей поступает в рабочую зону и тем меньше требуется приточного воздуха, т.е. меньше воздухообмен [5, 6]. Очевидно, что сокращение расхода приточного и удаляемого воздуха обеспечивает большую экономию тепловой (на нагревание) и электрической (на перемещение) энергии.

Задача состоит в том, чтобы разработать такой местный отсос, который улавливал бы максимально возможное количество вредных веществ при проведении технологического процесса. Одним из способов уменьшения расхода воздуха, удаляемого от местного отсоса, без уменьшения количества удаляемых вредных веществ, является капсуляция ванн.

Чем больше вредных веществ улавливается местным отсосом, тем меньше указанных вредностей поступает в рабочую зону и тем меньше требуется приточного воздуха, т.е. меньше воздухообмен [5, 6]. Очевидно, что сокращение расхода приточного и удаляемого воздуха обеспечивает большую экономию тепловой (на нагревание) и электрической (на перемещение) энергии. Следовательно, санитарно-гигиенические и технико-экономические показатели работы системы вентиляции определяются эффективностью действия местных отсосов. Одним из способов уменьшения расхода воздуха, удаляемого от местного отсоса, без уменьшения количества удаляемых вредных веществ, является капсуляция ванн.

Известно, что расход приточного и удаляемого воздуха из промышленного здания зависит от количества вредных выделений, характера технологического процесса, времени его проведения (например, загрузка и выгрузка деталей и др.) и изменяется в широких пределах в течение рабочей смены и по периодам года [7]. На основании проведенных расчетов, расход приточного воздуха принимается наибольшим. Это приводит к значительному перерасходу тепловой и электрической энергии в приточных и вытяжных установках [8].

Уменьшение количества удаляемого и подаваемого воздуха составляют большой резерв снижения энергозатрат на системы вентиляции и снижение себестоимости продукции. Для снижения расхода отсасываемого (удаляемого) воздуха от местных отсосов во многих случаях следует применять улучшенные типы местных отсосов, которые позволяют регулировать расход удаляемого воздуха в зависимости от характера технологического процесса.

Авторами предлагается применять более современные местные отсосы, позволяющие учитывать характер технологического процесса, количество выделяющихся вредностей и в соответствии с этим уменьшать расход удаляемого воздуха местным отсосом без увеличения количества вредностей, поступающих в рабочую зону. На рис. 2, 3 и 4 представлен местный отсос от травильной ванны [9] в различных рабочих положениях, учитывающих этапы технологического процесса и позволяющих уменьшить траты тепловой и электрической энергии вентиляционными системами при обеспечении расчетных концентраций вредных веществ в рабочей зоне помещения [10, 11].

Устройство состоит из следующих основных элементов: гальваническая ванна, бортовой отсос, две вертикальные стенки, механизм для осуществления возвратно-поступательного движения шторы.

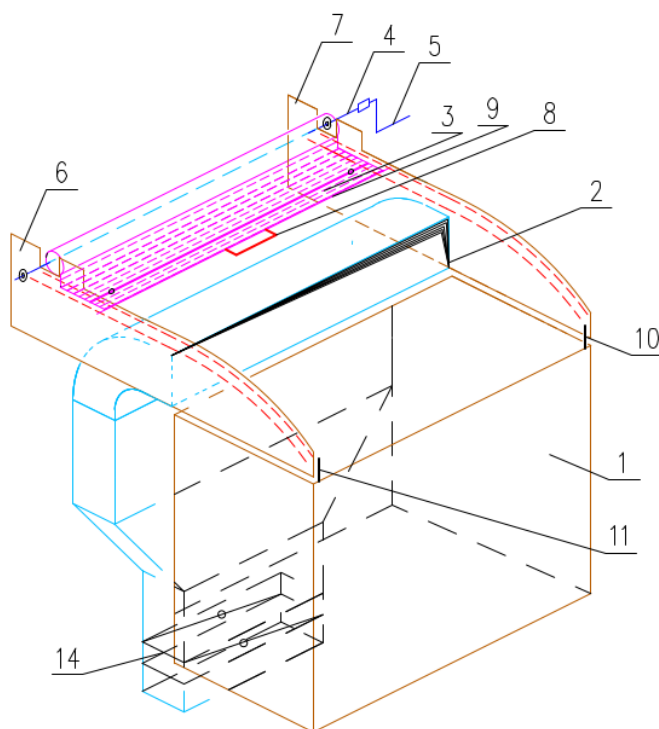


Рис. 2. Устройство для удаления вредных веществ от гальванической ванны – зеркало испарения открыто на 100%:

- 1 – гальваническая ванна; 2 – щель бортового отсоса; 3 – рулонная штора;
- 4 – барабан для наматывания рулонной шторы; 5 – ручка для вращения барабана;
- 6, 7 – металлические стенки с пазами для размещения в них барабана;
- 8 – ручка для перемещения шторы; 9 – металлическая рейка; 10, 11 – упоры;
- 14 – дроссельный клапан

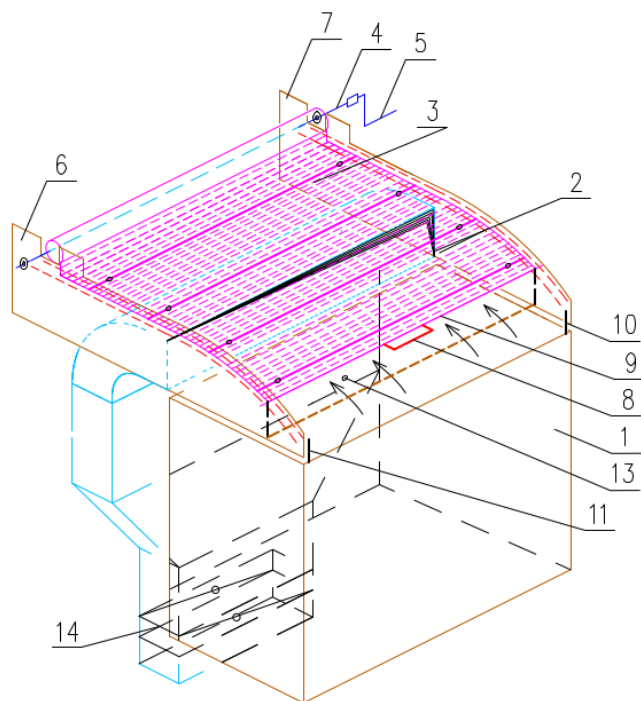


Рис. 3. Устройство для удаления вредных веществ от гальванической ванны – зеркало испарения открыто на 50 %:

1 – гальваническая ванна; 2 – щель бортового отсоса; 3 – рулонная штора; 4 – барабан для наматывания рулонной шторы; 5 – ручка для вращения барабана; 6, 7 – металлические стенки с пазами для размещения в них барабана; 8 – ручка для перемещения шторы; 9 – металлическая рейка; 10, 11 – упоры; 13 – дополнительная щель; 14 – дроссельный клапан

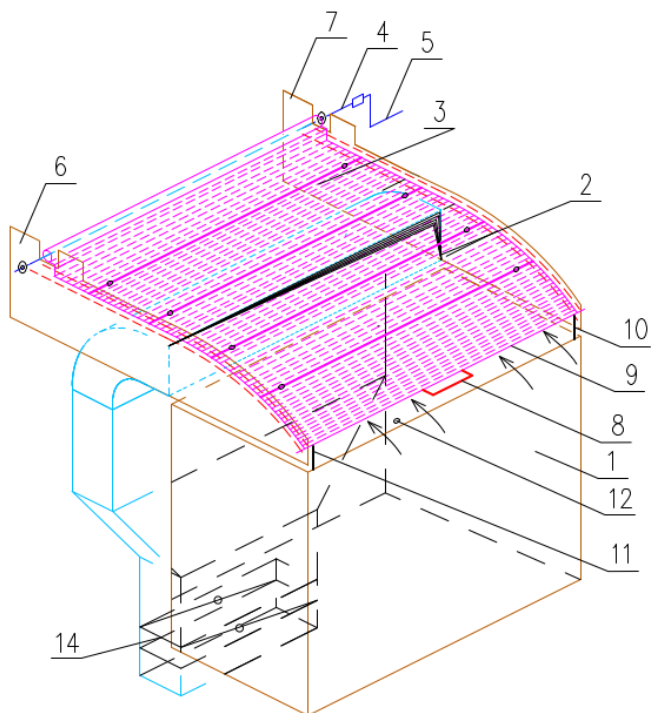


Рис. 4. Устройство для удаления вредных веществ от гальванической ванны – зеркало испарения закрыто на 100%:

1 – гальваническая ванна; 2 – щель бортового отсоса; 3 – рулонная штора; 4 – барабан для наматывания рулонной шторы; 5 – ручка для вращения барабана; 6, 7 – металлические стенки с пазами для размещения в них барабана; 8 – ручка для перемещения шторы; 9 – металлическая рейка; 10, 11 – упоры; 12 – щель; 14 – дроссельный клапан

Устройство работает следующим образом. В исходном положении на барабан 4 намотана штора 3 (см. рис. 2), т.е. зеркало испарения ванны 1 открыто полностью (на 100 %). После загрузки деталей в ванну 1 начинается технологический процесс обработки деталей и начинают выделяться вредные вещества с поверхности ванны; местная вытяжная вентиляция включена, т.е. загрязненный воздух отсасывается через щель 2 бортового отсоса. Т.к. бортовой отсос улавливает не все выделяющиеся вредные вещества и если технологический процесс обработки деталей в ванне 1 длится определенное время, то для уменьшения поступления вредных веществ с поверхности испарения (зеркала ванны), следует прикрыть зеркало испарения, для этого необходимо потянуть штору 3 за ручку 8, барабан 4 начнет раскручиваться, а штора 3 разматываться и двигаться между направляющими элементами, расположенными на внутренних поверхностях стенок 6 и 7 в сторону длинной стороны ванны, расположенной напротив щели бортового отсоса. Когда рейка 9 достигнет длинной стороны ванны и будет опираться на упоры 10 и 11, то вся поверхность ванны (т.е. зеркало испарения вредностей) окажется закрытой шторой (см. рис. 4); при этом выделяющиеся вредные вещества (выделяющиеся с зеркала испарения) не будут поступать в помещение, т.к. они будут полностью удаляться воздухом, который поступает через щель 12, при этом образуется однонаправленный поток воздуха от щели 12 к щели 2 и удаляется в полном объеме через щель 2 бортового отсоса. После того, как вся поверхность испарения окажется закрытой шторой 3, дроссельный клапан 14 поворачивают на определенный угол, т.е. дроссель-клапан прикрывает живое сечение воздуховода для прохода воздуха, тем самым уменьшают расход удаляемого воздуха. Следовательно, в течение всего времени проведения технологического процесса, штора 3 полностью укрывает зеркало испарения и местный отсос удаляет 100 % выделяющихся вредностей в течение проведения всего технологического процесса. При этом расход удаляемого воздуха от бортового отсоса через щель 2 уменьшается за счет регулирования расхода воздуха. Минимальный расход воздуха, проходящий через щель 12, определяется из условия невыбивания вредностей через щель 12; этот расход значительно меньше расхода, который удаляется через щель 2, если зеркало испарения не укрыто шторой 3.

Рассмотрим работу предложенного устройства, когда зеркало испарения ванны закрыто шторой 3 не полностью (см. рис. 3), т.к. над поверхностью зеркала испарения образуется однонаправленный поток воздуха к щели 2 бортового отсоса (это отмечено выше), то все вредные вещества, которые образуются под шторой будут удалены полностью через щель 2. Далее отметим, что над зеркалом испарения ванны образуется дополнительная щель 13 для прохода воздуха (см. рис. 3); дополнительная щель 13 расположена под рейкой 9, т.е. местоположение щели 13 зависит от местоположения рейки 9; размеры щели: длина щели равна длине ванны (длине бортового отсоса), а высота щели равна расстоянию от зеркала испарения до нижней поверхности шторы 3, а точнее до нижней поверхности рейки 9. По сути, дополнительная щель 13 – это тот же бортовой отсос для удаления вредных веществ, которые образуются на открытой (не закрытой шторой) поверхности ванны; при этом через дополнительную щель 13 будет удаляться больше вредных веществ (с меньшим расходом удаляемого воздуха) с открытой поверхности ванны, т.к. расстояние от дополнительной щели 13 до второй длинной стороны ванны 1 в два раза меньше, чем расстояние от щели 2 до второй длинной стороны ванны 1. Известно, что с увеличением ширины ванны, т.е. расстояния от щели 2 до второй длинной стороны, количество удаляемых вредных веществ одnobортовым отсосом уменьшается.

Вертикальные стенки 6 и 7 служат не только для установки на них барабана 4 с намотанной на нем шторой 3, но указанные стенки резко уменьшают подсос (подтекание) воздуха к щели 2 бортового отсоса со стороны коротких сторон (стенок) ванны 1, а это увеличивает количество уловленных вредных веществ, т.е. увеличивается эффективность предложенного устройства и за счет подтекания воздуха, содержащего вредные вещества,

только с одной стороны, т.е. со стороны второй длинной стороны ванны 1, на которой расположены упоры 10 и 11. При таком конструктивном выполнении создается односторонний поток воздуха к дополнительной щели 13, ограниченной с низу зеркалом испарения, с верха – шторой 3, а с боков – вертикальными стенками 6 и 7. Следовательно, при наличии шторы образуется бортовой отсос с дополнительной щелью, которая перемещается вдоль зеркала испарения в зависимости от величины закрытия шторы зеркала испарения. В этом случае дополнительная щель 13 приближается к источнику вредных выделений, а это обеспечивает более полное улавливание выделяющихся вредностей.

Конструкция устройства надежна в работе, проста и технологична в изготовлении и сборке, имеет высокую ремонтопригодность.

На рис. 2, 3, 4 барабан 4 показан для упрощения данных рисунков. Целесообразнее для перемещения шторы предусмотреть электрический привод с дистанционным управлением или программное обеспечение алгоритма обработки детали; и тогда перемещение шторы может выполняться автоматически, предупреждая работающего при помощи световой и/или звуковой сигнализации.

Процесс травления может продолжаться до 60 минут, т.е. 60 минут штора будет полностью укрывать зеркало испарения, а поступление вредностей в рабочую зону практически будет равно нулю.

Над зеркалом испарения образуется односторонний поток воздуха под шторой, при расходе отсасываемого значительно меньше, чем при поднятой шторе.

В работе [1] на с. 90 приведен пример расчета одностороннего бортового отсоса для ванны размерами в плане 700×800 мм: расход отсасываемого воздуха $L_1 = 1040$ м³/ч, а количество газа, которое выделяется с поверхности испарения $G_r = 0,161 \times 10^6$ мг/ч; количество газа, который удаляется бортовым отсосом составит $G_{отс} = 58,2 \times 10^3$ м³/ч; эффективность отсоса составит $\Delta = 0,36$. При такой эффективности отсоса от одной ванны в цех поступит 58×10^3 мг/ч хлористого водорода. Если рассматриваемую ванну оборудовать местным отсосом, показанным на рис. 1, 2, 3 и принять, что процесс обработки ванны длится 60 мин (1 час), то штора в течение 1 часа будет закрывать зеркало испарения, то хлористый водород практически не будет поступать в рабочую зону; а количество отсасываемого воздуха будет значительно меньше, определим по формуле:

$$L_2 = 3600 \times A \times V, \quad (1)$$

где A – площадь щели, м²; V – скорость воздуха в щели, м/с.

Для условий примера высота щели 12 принята 0,06 м, а длина щели 0,8 м. Скорость в живом сечении щели 12 принята 1,5 м/с (с большим запасом).

$$L = 3600 \times 0,06 \times 0,8 \times 1,5 = 173 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 1040 - 173 = 867 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Экономия удаляемого воздуха составит 867 м³/ч, что обеспечит значительное сокращение расхода теплоты на нагрев приточного воздуха.

Заключение.

Предложена конструкция местного отсоса, позволяющего эффективно улавливать выделяющиеся в результате проведения технологического процесса вредности с учетом этапа и времени его выполнения. Разработанная конструкция обеспечивает минимальный объем неуловленных вредных веществ, поступающих в рабочую зону помещения.

Показано, что расход удаляемого воздуха в пять и более раз меньше, чем при использовании типовой стандартной конструкции местного отсоса. Расчетно обоснована экономия тепловой (нагрев приточного воздуха для компенсации удаляемого) и электрической (перемещение воздуха вентилятором) энергии, а также снижение стоимости капитальных затрат (уменьшение типоразмера вентилятора, сечений транспортирующих воздуховодов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Вентиляция: учебное пособие для студентов учреждений высшего профессионального образования, обучающихся по направлению «Строительство»** / В. И. Полушкин [и др.]; 2-е изд., испр. – Москва: Академия, 2011. – 413 с.
2. **Елинский, И. И.** Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных предприятий. – Москва: Машиностроение, 1989. – 152 с.
3. **Дерепасов, А. В.** Экспериментальный комплекс по исследованию эффективности местных отсосов гальванических производств / А. В. Дерепасов, И. И. Полосин // Стратегии и тренды развития науки в современных условиях. – 2015. – № 1. – С. 76-82.
4. **Полосин, И. И.** Влияние общеобменной вентиляции на эффективность местных отсосов гальванических производств / И. И. Полосин, А. В. Дерепасов // Научный обозреватель. – 2015. – № 2. – С. 32-35.
5. К вопросу о моделировании воздушного течения вблизи бортового отсоса от гальванической ванны / О. А. Аверкова, Д. Н. Крутикова, И. Н. Логачев, К. И. Логачев, В. А. Уваров, О. Н. Зайцев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 8. – С. 75-81.
6. **Халилов, Х.** Теоретические и экспериментальные исследования новой вентиляционной системы гальванических ванн / Х. Халилов, А. Ниязбаев, Э. Гулямов // Universum: технические науки. – 2022. – № 4-1(97). – С. 5-9.
7. **Виноградов, С. С.** Организация гальванического производства. Оборудование, расчёт производства, нормирование / Под редакцией проф. В. Н. Кудрявцева. – Изд. 2-е, перераб. и доп., «Глобус». – Москва, 2005. – 240 с.
8. **Романова, А. С.** Анализ энергоемкости гальванического комплекса машиностроительного производства / А. С. Романова, М. Б. Микушин, А. Ю. Воеводин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2021. – Т. 29. – № 4(72). – С. 44-55.
9. **Новосельцев Б. П., Лобанов Д. В.** Устройство для удаления вредных веществ. пат. № 208056 (Российская Федерация), МПК F24F 7/06 патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». – №2021111071; заявл. 19.04.2021; опубл. 30.11.2021, Бюл. № 34. – 12 с.
10. **Диденко, В. Г.** Улучшение качества внутрицеховой атмосферы за счет повышения локализующей эффективности местных отсосов / В. Г. Диденко, О. В. Шубин, С. И. Голубева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2011. – № 25(44). – С. 237-240.
11. **Справочник по охране труда.** В 4-х т. / Под общей редакцией Л. П. Шарикова. – Л.: Судостроение, 1975. – Т. 3. Нормы и правила по металло- и деревообработке. – 512 с.

Поступила в редакцию 22 ноября 2022

IMPROVING THE DESIGN OF LOCAL SUCTION IN THE EXHAUST VENTILATION SYSTEMS OF THE GALVANIC SHOP

B. P. Novoseltsev, D. V. Lobanov, I. I. Zvenigorodsky, S. A. Safonov

Boris Petrovich Novoseltsev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of Housing and Communal Services Department, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: belebey36@mail.ru
Dmitry Valeryevich Lobanov, Senior Lecturer, Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel: +7(903) 651-33-43; e-mail: LDV-36@mail.ru

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

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

The relevance of improving the design of devices for removal of harmful substances in local exhaust ventilation systems is substantiated. These systems are designed to create standardized parameters of the air environment in the local volume of the working area of the production facility by removing polluted air directly from the source of harmful substances (technological equipment). The construction is designed to ensure the concentration of polluting harmful substances at low flow rates of sucked (removed) air at a level permitted by the norms. At the same time the suction unit operation is interconnected with the technological process execution in such a way as to minimize pollutant emission into the room at different stages of its performance. The regulation of the local suction unit operation can be carried out in the manual or automatic modes. It is shown that the use of the described device will reduce capital (ventilation equipment, products and materials) and operating (heat and electric power) costs when organizing ventilation systems in galvanic and pickling shops of production buildings.

Keywords: local suction; device for hazardous substance removal; local exhaust ventilation; ventilation of the production building; electroplating bath; onboard suction.

REFERENCES

1. **Polushkin V. I.** *Ventilation: a textbook for students of higher vocational education, studying in the field of Construction*. Moscow, Academy. 2011. 413 p. (in Russian)
2. **Elinsky I. I.** *Ventilation and heating of galvanic shops of machine-building enterprises*. Moscow, Mashinostroenie. 1989. 152 p. (in Russian)
3. **Derepasov A. V., Polosin I. I.** *Experimental complex to study the effectiveness of local suction of galvanic production*. Strategies and Trends in the development of science in modern conditions. 2015. No. 1. Pp. 76-82. (in Russian)
4. **Polosin I. I., Derepasov A. V.** *Effect of general exchange ventilation on the efficiency of local suction of galvanic production*. Scientific Reviewer. 2015. No. 2. Pp. 32-35. (in Russian)
5. **Averkova O. A., Krutikova D. N., Logachev I. N., Logachev K. I., Uvarov V. A., Zaitsev O. N.** *On the modeling of air flow near the onboard suction from the electroplating bath*. Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2017. No. 8. Pp. 75-81. (in Russian)
6. **Khalilov Kh., Niyazbaev A., Gulyamov E.** *Theoretical and experimental studies of a new ventilation system of electroplating baths*. Universum, Technical Sciences. 2022. No. 4-1(97). Pp. 5-9. (in Russian)
7. **Vinogradov S. S.** *Organization of galvanic production. Equipment, calculation of production, rationing*. Editing 2-th revised edition. Globus. Moscow, 2005. 240 p. (in Russian);
8. **Romanova A. S., Mikushin M. B., Voevodin A. Yu.** *Analysis of energy intensity of electroplating complex of machine-building production*. Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical Sciences. 2021. T. 29. No. 4(72). Pp. 44-55. (in Russian)
9. **Novoseltsev B. P., Lobanov D. V.** *Device for removal of harmful substances*. Pat. No. 208056 (Russian Federation), IPC F24F 7/06 patent holder Federal state budget educational institution of higher education «Voronezh State Technical University». No. 2021111071; Appl. 19.04.2021; publ. 30.11.2021, bull. No. 34. 12 p. (in Russian)
10. **Didenko V. G., Shubin O. V., Golubeva S. I.** *Improvement of the quality of the intra-workshop atmosphere by increasing the localizing efficiency of local suction*. Bulletin of the Volgograd State Architectural and Construction University. Series: Building and Architecture. 2011.

No. 25(44). Pp. 237-240. (in Russian)

11. **Sharikov L. P.** *Handbook on labor protection. In 4 vols.* L.: Shipbuilding, 1975. Vol. 3. Norms and Rules for Metal and Woodworking. 512 p. (in Russian)

Received 22 November 2022

Для цитирования:

Совершенствование конструкции местного отсоса в системах вытяжной вентиляции гальванического цеха / Б. П. Новосельцев, Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, С. А. Сафонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 52-60. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.006.

FOR CITATION:

Novoseltsev B. P., Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A. *Improving the design of local suction in the exhaust ventilation systems of the galvanic shop.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 52-60. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.006. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.007

УДК 628.221

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЛАНДШАФТА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛИВНЕВОГО СТОКА

С. А. Анциферов, Н. В. Маслова, Л. В. Грызунова

Анциферов Сергей Александрович, старший преподаватель Центра инженерного оборудования, ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Тольятти, Российская Федерация, тел.: +7(905)306-65-38; e-mail: salan63@mail.ru

Маслова Наталья Викторовна, канд. техн. наук, доцент, доцент Центра архитектурных, конструктивных решений и организации строительства, ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Тольятти, Российская Федерация, тел.: +7(917)131-29-02; e-mail: nata773223@yandex.ru

Грызунова Людмила Владимировна, магистрант «Архитектурный дизайн среды» Центра Дизайна, ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Тольятти, Российская Федерация, тел.: +7(927)708-85-78; e-mail: umo20@mail.ru

Федеральный закон № 416 «О водоснабжении и водоотведении» регулирует правовые отношения в сфере коммунального хозяйства. Расчёт объема поверхностного стока проводится на основании нормативно-технических документов и рекомендаций и заключается договор на услуги водоотведения с объектами хозяйствования. Фактические условия часто отличаются от проектных и, при переходе на коммерческие отношения, расчётные значения количества стока оказываются в разы больше фактического, а иногда сток и полностью отсутствует. В статье приводятся результаты обследования и расчета фактического количества поверхностных сточных вод, поступающих в ливневую канализацию, в зависимости от объёма выпавших осадков (дождя), с учётом микрорельефа территории муниципального образования «Школа №10» г. Тольятти. Авторами проведены дополнительные изыскания исследуемого объекта, особенно в зонах, где проводился ремонт твердого покрытия, укладывался новый бордюрный камень, плитка. Показано, что дополнительные изыскания, расчет, построение продольных профилей способны существенно повысить достоверность определения направлений и уклонов водостоков, расчёта площадей и объемов неорганизованного водостока.

Ключевые слова: городское хозяйство; коммунальные услуги; ливневая канализация; водоотведение; поверхностный неорганизованный сток; дождевые и талые воды; рельеф водосборного бассейна.

Современная городская среда представляет собой комплекс природных, архитектурных, экологических, социально-культурных и других условий, которые представляются «естественными» для большинства жителей, определяют комфортность проживания на некоторой территории.

Городской ландшафт оказывает значительное влияние на состав объектов хозяйствования, формирование инфраструктуры муниципального образования, которая обеспечивает его бесперебойную жизнедеятельность. Это придаёт дополнительную социальную значимость коммунальному хозяйству, как отрасли жизнеобеспечения.

Учитывая непростые экономические условия и проблемы коммунального хозяйства, оплата за услуги коммунальных и ресурсоснабжающих организаций традиционно волнует каждого горожанина, руководителей объектов образования и здравоохранения.

Отведением и очисткой поверхностных стоков дождевых и талых вод в большинстве городов занимаются специализированные организации. Поверхностные стоки дождевых и талых вод серьезно влияют как на экологическую, так и на техногенную ситуацию в городах, загрязняя почву и водоемы продуктами разрушения и обработки дорожных покрытий, жизнедеятельности животных и природной органики, различными загрязнениями химического происхождения [1].

© Анциферов С. А., Маслова Н. В., Грызунова Л. В., 2022

Услуги коммунальных организаций оформляются соответствующими договорами и стоят недёшево. Основными критериями расчёта стоимости услуг по отведению поверхностных вод являются площадь водосбора, состав и свойства отводимых вод, их объем. Регулярное повышение тарифа за данную услугу вызывает желание абонентов точнее и тщательнее подходить к расчёту объема поверхностного стока [2].

Например, с 01.01.2021 г. тариф за водоотведение для юридических лиц в городе Тольятти Самарской области составлял 6,99 руб. с 1 м² площади участка, а с 01.07.2021 г. – уже 7,20 руб. Рост тарифа на 3 % кажется незначительным, но это происходит каждые 6 месяцев на протяжении последних лет. Учитывая площади муниципальных объектов (школы, больницы, поликлиники и др.), исчисляемые иной раз десятками гектаров, нагрузка на городской бюджет становится всё более серьезной [3].

При этом возникает ряд проблем, которым в действующей нормативной базе уделено недостаточно внимания. Нормативы уделяют внимание проектированию новых инженерных систем и основным принципам расчёта без учёта локальных особенностей конкретных объектов и климатических изменений. Нормативные документы, разработанные для такой огромной страны, как Россия, не могут предусмотреть все особенности городов, промышленных площадок и климата. Однако, в рамках нормативных методик можно более точно рассчитать объем поверхностного стока для каждого отдельного объекта или территории с учётом индивидуальных особенностей. Этот вопрос требует затрат времени и ресурсов, как людских, так технических, а также специальных знаний и опыта исследовательской работы, что не всегда под силу коммунальной и ресурсоснабжающей организации [4].

Стратегией развития жилищно-коммунального хозяйства в Российской Федерации, утвержденной Распоряжением Правительства РФ N 80-р от 26.01.2016 г., определено в качестве приоритетов, в том числе, и наличие баланса интересов различных участников сферы ЖКХ, создание экономических предпосылок для стабильной деятельности каждого участника правоотношений, позволяющих ему вести безубыточную деятельность при соблюдении требований действующего законодательства.

В таком случае абоненты обращаются за помощью в научно-исследовательские, проектные или экспертные организации. В данной работе приводится пример такого взаимодействия между экспертной организацией, ресурсоснабжающей коммунальной организацией, муниципальным бюджетным общеобразовательным учреждением «Школа № 10», находящимся в ведомственном подчинении Департамента образования администрации г. Тольятти Самарской области.

Цель работы: определить фактическое количество воды, поступающее в ливневую канализацию, в зависимости от объема выпавших осадков (дождя), с учётом микрорельефа территории муниципального образования «Школа № 10».

Для достижения поставленной цели сформулированы задачи:

- 1) рассчитать объем дождевых и талых вод на рассматриваемой территории школы в соответствии с существующей методикой;
- 2) на основе натурных обследований уточнить площадь зоны возможного стока поверхностных вод с учётом покрытия, в том числе и кровли зданий;
- 3) определить зоны и направления поверхностного стока и оценить возможность их продвижения в сторону дождеприемников.

В данной работе приводятся результаты теоретических исследований, натурного обследования объекта, экологического мониторинга. Методы исследования: системный и факторный анализ, метод экспертных оценок.

В частности, речь идет об определении объема поверхностного стока с учётом измерения малых перепадов высот, определении направлений неорганизованного поверхностного стока, построении продольного профиля с учётом изменений локального ландшафта (микрорельефа).

На основании существующих «Рекомендациях по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты», разработанной ГНЦ РФ ФГУП НИИ ВОДГЕО [5] (далее «Рекомендации»), ведётся расчёт объема поверхностного стока и заключается договор на услуги водоотведения. «Рекомендации» предназначены для проектирования систем ливневой канализации и очистных сооружений. Проектные решения направлены на обеспечение отвода дождевых и талых вод при наиболее неблагоприятных условиях. Фактические условия часто отличаются от проектных и при переходе на коммерческие отношения, расчётные значения количества стока оказываются в разы больше, а иногда сток и полностью отсутствует.

Использование в «Рекомендациях» данных только топографической съёмки не позволяет определять малые перепады высот конкретной местности, которые возникли за последние 1...3 года, в том числе после проведения ремонта на внутриквартальных проездах и тротуарах. Авторами приняты во внимание решения по улучшению проектирования и эксплуатации ливневой канализации в других городах РФ [6, 7, 8]. Далее рассматриваются решения поставленных задач.

Решение задачи 1. Расчёт ведётся согласно «Рекомендаций» [5]. Годовой объем поверхностных сточных вод W_{Γ} , образующихся на территории водосбора, определяется по формуле (1), как сумма поверхностного стока за тёплый (апрель-октябрь) и холодный (ноябрь...март) периоды года с общей площади водосбора:

$$W_{\Gamma} = W_{\text{Д}} + W_{\text{Т}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{Д}}$, $W_{\text{Т}}$ – среднегодовой объем дождевых и талых вод соответственно, м³.

Среднегодовой объем дождевых ($W_{\text{Д}}$) и талых ($W_{\text{Т}}$) вод определяется по формулам (2) и (3):

$$W_{\text{Д}} = 10 \times h_{\text{Д}} \times \psi_{\text{Д}} \times F, \quad (2)$$

$$W_{\text{Т}} = 10 \times h_{\text{Т}} \times \psi_{\text{Т}} \times F, \quad (3)$$

где F – расчетная площадь стока, в га; $h_{\text{Д}}$ – слой дождевых осадков за тёплый период года; $h_{\text{Т}}$ – слой талых осадков за холодный период года; $\psi_{\text{Д}}$ и $\psi_{\text{Т}}$ – общие коэффициенты стока дождевых и талых вод соответственно, определяемые как средневзвешенная величина [5, табл. 10].

Сравнительный анализ результатов расчёта годового объема стока дождевых и талых вод с договорным объёмом (между абонентом и ресурсоснабжающей организацией) приведен в табл. 1.

Таблица 1

Расчет объема отведения дождевых и талых вод

Месяц	Количество осадков за год h_{Γ} , (мм)	Расчётный годовой объем W_{Γ} , (м ³)	Договорной годовой объем W_{Γ} , (м ³)
январь	45,2	710,48	710,508
февраль	32,5	510,85	510,874
март	58,2	914,82	914,857
Итого за 1 квартал	135,9	2136,14	2136,239
апрель	44,1	316,13	321,123
май	25,4	182,08	184,955
июнь	27,5	197,13	200,247
Итого за 2 квартал	97	695,34	706,325

Окончание табл. 1

Месяц	Количество осадков за год $h_{г}$, (мм)	Расчётный годовой объем $W_{г}$, (м ³)	Договорной годовой объем $W_{г}$, (м ³)
июль	54,3	389,25	395,396
август	50,4	361,29	366,997
сентябрь	31,1	222,94	226,461
Итого за 3 квартал	135,8	973,48	988,854
октябрь	49,9	357,71	363,356
ноябрь	23,4	367,81	367,829
декабрь	40,1	630,31	630,341
Итого за 4 квартал	113,4	1355,83	1361,526
Итого за 2021 год	482,1	5160,80	5192,944

Примечание. Количество осадков принято по данным Тольяттинской специализированной гидрометеорологической обсерватории. Дополнительно проведён анализ метеоданных за последние 2 года с учётом рекомендаций [9, 10, 11].

Как видно из табл. 1, результаты расчётов, проведённые авторами данной статьи и ресурсоснабжающей организацией, практически совпадают. Расчётные значения немного меньше договорных (разница менее 1 %), что вызвано погрешностью определения площадей.

Решение задачи 2. При расчёте площади отведения неорганизованного поверхностного стока необходимо исходить из конкретных условий исследуемого объекта: размеров, конфигурации и рельефа водосборного бассейна, источников загрязнения территории. При этом следует учитывать локализацию отдельных участков: зданий, сооружений и прочих строений, участков под асфальтом, бетоном, плиткой и прочими искусственными покрытиями, площадь открытого грунта и занятого зелёными насаждениями. Дополнительно необходимо выделить участки с отводом поверхностных сточных вод, содержащих специфические примеси (например, промышленные, содержащие нефтепродукты, стоки медицинских учреждений и пр.), а также площадей, отличающихся по характеру и интенсивности загрязнения.

Для выявления направления водостока авторами обследована территория объекта и прилегающая территория в пределах 30...120 м. Территория выбрана на основании анализа рельефа местности, направления понижения уровня земли. Основное внимание при этом обращалось на:

- ✓ качество асфальтированных поверхностей (дорог, тротуаров);
- ✓ наличие и состояние бордюров;
- ✓ наличие водостоков с асфальтированных поверхностей на грунт;
- ✓ расположение зданий и сооружений, наличие и работоспособность дождевых стоков с кровли.

Дождевые воды с кровли зданий школы выводятся на отмостку и далее на грунт (газон). Кровля главного здания школы плоская.

На основании анализа топографической съёмки и натурного обследования выделена зона водосбора площадью 2,2455 га (рис. 1). Результаты расчета площадей по виду покрытия приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вид покрытия, площади и коэффициенты стока

Вид покрытия	Площадь, га	Коэффициент стока дождевых вод ψ_d	Коэффициент стока талых вод ψ_t
кровли зданий	0,2262	0,7	0,7
асфальт и бетон	0,5943	0,7	0,7
газоны	1,425	0,1	0,7
грунт без растений	0	0,2	0,7
ВСЕГО	2,2455		

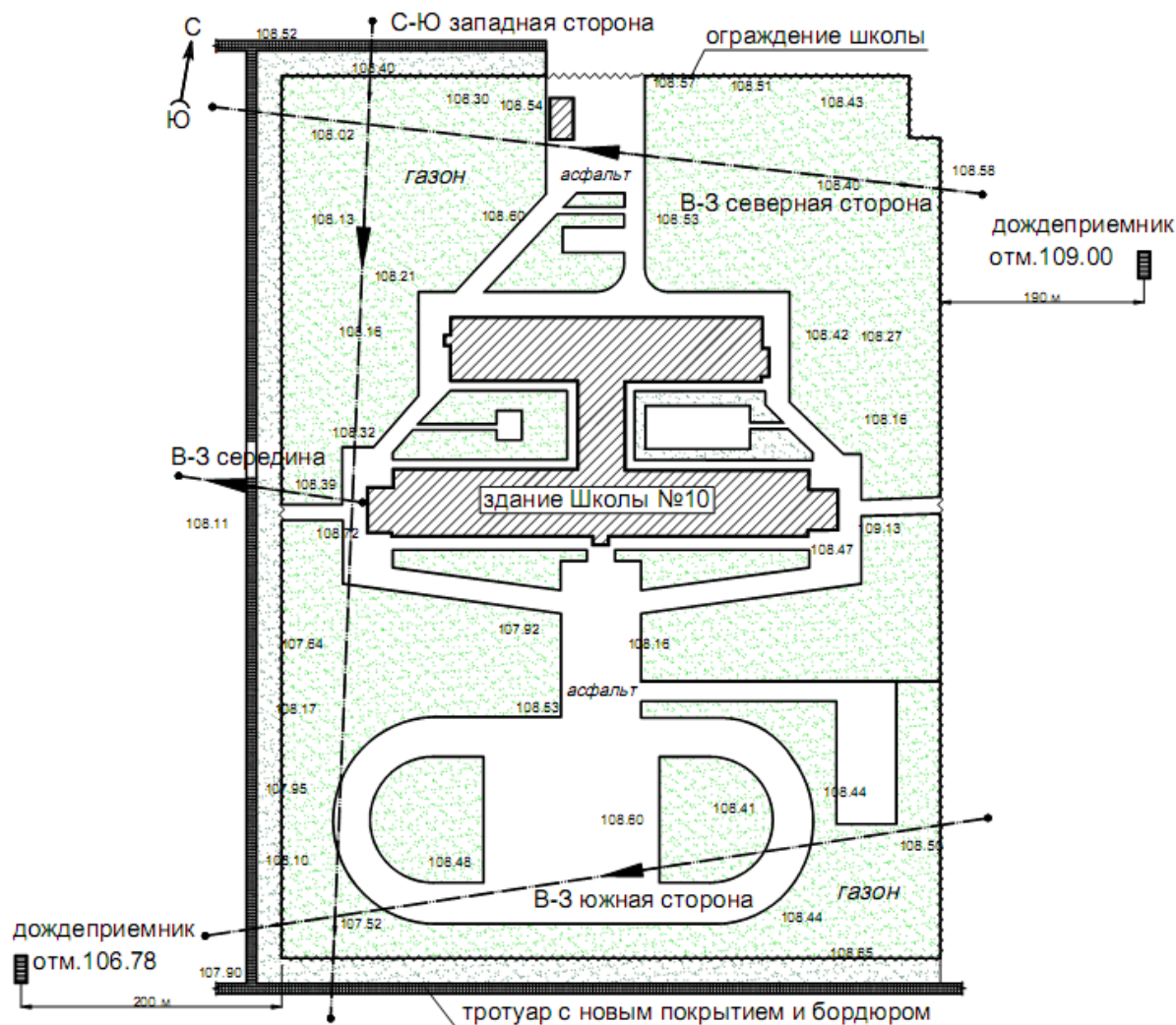


Рис. 1. Направления для построения продольных профилей рельефа на территории школы и прилегающих территорий

Решение задачи 3. Для определения направления поверхностного стока с территории школы построены продольные профили рельефа местности и смежных участков до зданий с выделением характерных точек микрорельефа (ограждения, бордюры, тротуары, автодороги) (рис. 1, 2). На профилях (рис. 2) синим цветом выделены значения для территории школы №10, красным – для прилегающей территории.

При промере высот в 12 точках по периметру школы обнаружены небольшие (0,08...0,2 м) превышения высот по линии ограждения, особенно заметные с северной, восточной и северо-западной сторон. С западной стороны проходит новый асфальтированный тротуар. Между тротуаром и забором имеется локальное понижение со стороны школы

(0,15...0,3 м), препятствующее движению воды с территории школы в западном направлении в дождеприемник с отм. +106.78 (рис. 3). Аналогичная ситуация и с южной стороны. Между школьным стадионом и асфальтированным тротуаром имеется локальное понижение, но менее выраженное по уклонам и отметкам. Наивысшая отметка территории школы +108.65, соответственно, в дождеприемник с отм. +109.00 вода не поступает.

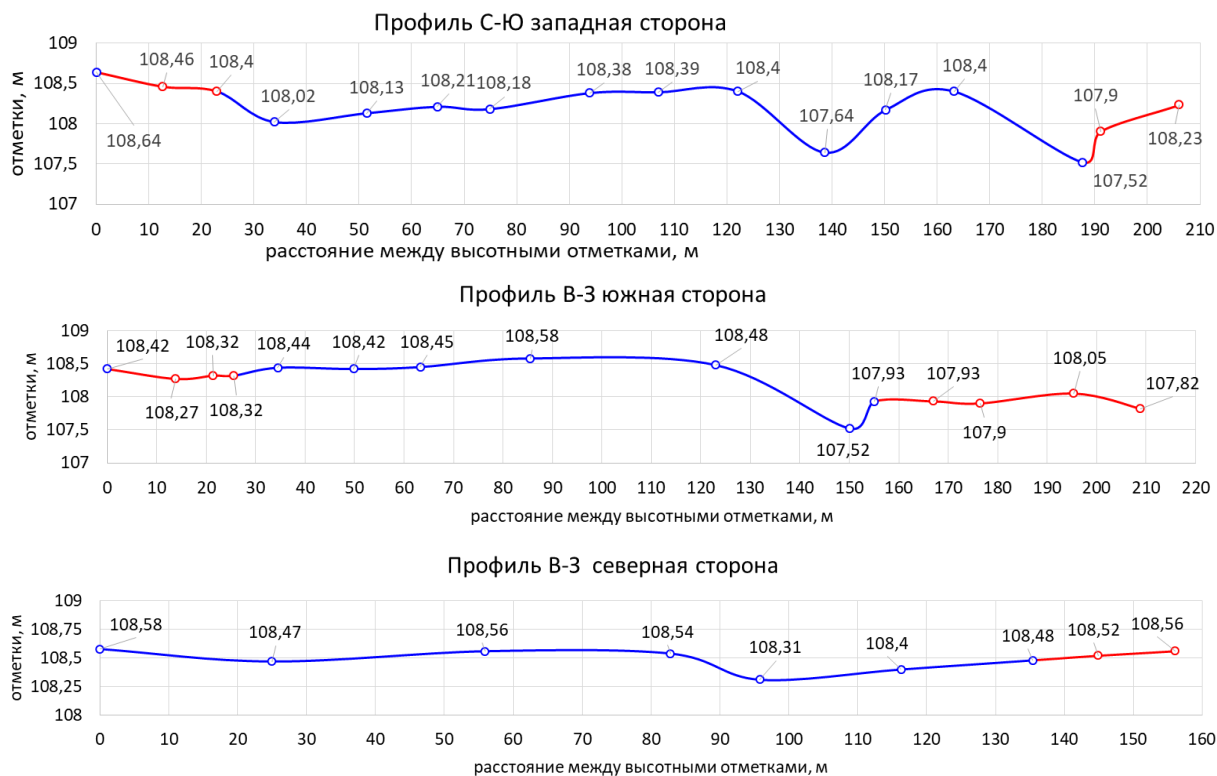


Рис. 2. Продольные профили поверхности рельефа на территории школы и прилегающей территории: С-Ю западная сторона; В-3 южная сторона; В-3 северная сторона



Рис. 3. Общий вид одной из точек промера высотных отметок (замер уровня грунта относительно ограждения)

Используя полученные сведения, на основании предложенных дополнительных промеров высотных отметок установлено, что территория школы № 10 находится в бессточной зоне, которая образовалась, в том числе, после укладки нового асфальта на тротуары с южной, северной и западной сторон. На протяжении десятилетий по периметру (ограждению) образовалось возвышение. Об этом свидетельствуют наблюдения формирования луж, особенно в период таяния снега на асфальтированных входах на территорию школы.

На основании натурного обследования и топографической съёмки установлено, что дождевые и талые воды не могут попадать с бессточной территории «Школы» в дождеприёмники коммунальной организации. Фактическое количество воды, поступающее в ливневую канализацию, в зависимости от объёма выпавших осадков (дождя), с учётом микрорельефа территории муниципального образования «Школа № 10», равно нулю. Услуга водоотведения физически не может быть оказана и, как следствие, нет предмета договора со специализированной организацией, а муниципальный объект «Школа № 10» должен быть освобожден от финансовой нагрузки по оплате за водоотведение ливневых стоков и талых вод.

Заключение.

Применительно к коммерческому определению объёма стока, одним из недостатков расчёта, опирающегося только на существующие нормативные методики, является то, что учитывается лишь рельеф местности, при этом не регламентируется масштаб, точность и давность топографической съёмки. Также не учитываются малые количества выпавших осадков, которые не успевают достичь дождеприёмника, отсутствие или неработоспособность дождеприёмника в направлении стока, локальное изменение ландшафта и образование бессточных зон.

Авторами разработан и апробирован метод определения направлений поверхностного стока с помощью измерения малых высот, построения продольного профиля с учётом микрорельефа. Предлагаемый метод призван повысить достоверность расчёта объёма поверхностных вод, которые попадают в дождеприёмники, учесть влияние изменений ландшафта на формирование ливневого стока.

В перспективе, детальный анализ городского ландшафта позволит проводить более точную оценку количества и направлений поверхностного стока при проектировании ливневой канализации и очистных сооружений, что позволит снизить капитальные вложения и повысить экономическую эффективность городской инфраструктуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мануйлов, М. Б. Влияние поверхностного стока (дождевых и талых вод) на экологическую и техногенную ситуацию в городах / М. Б. Мануйлов, В. М. Московин // Вода и экология. – 2016. – № 2. – С. 35-47, № 4. – С. 48-74.
2. Петрова, Н. П. Состояние и проблемы ЖКХ в России / Н. П. Петрова, А. А. Григорьев // Молодой ученый. – 2020. – № 26(316). – С. 115-117.
3. Додатко, Т. Реформа жилищно-коммунального комплекса / Т. Додатко, В. Пчелкин, Л. Арцишевский // Экономист. – 2002. – № 8. – С. 59-66.
4. Маршалова, А. С. Экономическая и социальная сущность реформы системы управления жилищно-коммунальным хозяйством / А. С. Маршалова // Регион: экономика и социология. – 2006. – № 2. – С. 192-199.
5. Меншутин, Ю. А. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. Методическое пособие / Ю. А. Меншутин, Л. М. Верещагина, А. С. Керин, Е. В. Фомичёва, А. Ю. Логунова. – Москва: НИИ ВОДГЕО, 2015. – 146 с.
6. Пупырев, Е. И. Комплексные решения в системах ливневой канализации / Е. И. Пупырев // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – Вып. 5(116). – С. 651-659.
7. Чупин, В. Р. Оптимизация параметров систем ливневой канализации / В. Р. Чупин, Е. С. Мелехов, Т. А. Нгуен // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2014. – № 1(6). – С.73-80.

8. **Великанов, Н. Л.** Совершенствование системы ливневой канализации города / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов, С. И. Корягин, А. В. Мойса // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2017. – № 2(40). – С. 14-20.

9. **Аргучинцев, В. К.** Динамическая метеорология: учеб. пособие – 2-е изд., испр. и доп / В. К. Аргучинцев. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. – 179 с.

10. **Косарев, В. П.** Лесная метеорология с основами климатологии / В. П. Косарев, Т. Т. Андрющенко. – М.: Лань. – 2009. – 288 с.

11. Климат России: монография / под ред. д-ра геогр. наук, проф. Н. В. Кобышевой. – СПб: Гидрометеиздат, 2001. – 656 с.

Поступила в редакцию 20 октября 2022

THE IMPACT OF LANDSCAPE CHANGES ON STORMWATER RUNOFF

S. A. Antsiferov, N. V. Maslova, L. V. Gryzunova

Sergey Aleksandrovich Antsiferov, Senior lecturer of the Engineering Equipment Center, Togliatti State University, Togliatti, Russia, tel.: +7(905)306-65-38; e-mail: salan63@mail.ru

Natalia Viktorovna Maslova, Cand. Sc. (Tech.), Associate professor of the Center for architectural and structural solutions and for construction organization, Togliatti State University, Togliatti, Russia, tel.: +7(917)131-29-02; e-mail: nata773223@yandex.ru

Lyudmila V. Gryzunova, Master's student of the Design Center, Togliatti State University, Togliatti, Russia, tel.: +7(927)708-85-78; e-mail: umo20@mail.ru

The federal law No 416 *On water supply and water disposal* regulates legal relations in the field of public utilities. On the basis of regulatory and technical documents and norms, they calculate the volume of surface runoff and sign a contract with management facilities for wastewater disposal services. The actual conditions often differ from the design ones and, when switching to commercial relations, the calculated values of the amount of runoff are often several times greater than the actual one, or sometimes there is no runoff at all. The article presents the results of the survey and calculation of the actual amount of surface wastewater entering the storm sewer, depending on the amount of precipitation (rain), taking into account the microrelief of the territory of the School No. 10, Togliatti-city. We additionally researched the object under study, especially in areas where the hard surface was repaired and where a new curb stone and tile were laid. We clearly demonstrate that additional researches, calculation and construction of the longitudinal profiles are capable to increase the reliability of directions and slopes for drains.

Keywords: urban economy; utilities; storm sewer; water disposal; surface unorganized runoff; rain and meltwater; relief of the drainage basin.

REFERENCES

1. **Manuilov M. B., Moskovin V. M.** *The influence of surface runoff (rain and meltwater) on the ecological and technogenic situation in cities.* Water and ecology. 2016. No. 2. Pp. 35-47. No. 4. Pp. 48-74. (in Russian)

2. **Petrova N. P., Grigoriev A. A.** *The state and problems of housing and communal services in Russia.* Young scientist. 2020. No. 26(316). Pp. 115-117. (in Russian)

3. **Dodatko T., Pchelkin V., Artsishevsky L.** *Reform of housing and communal complex.* Economist. 2002. No. 8. Pp. 59-66. (in Russian)

4. **Marshalova A. S.** *The economic and social essence of the reform of the housing and communal services management system.* Region: Economics and Sociology. 2006. No. 2. Pp. 192-199. (in Russian)

5. **Menshutina Yu. A., Vereshchagina L. M., Kirin A. S., Fomicheva E. V., Logunova A. Yu.** *Recommendations for the calculation of systems for collecting, diverting and cleaning surface runoff of residential areas, enterprise sites and determining the conditions for its release into water bodies.* Methodical manual. Moscow, VODGEO Research INSTITUTE. 2015. 146 p. (in Russian)
6. **Pupyrev E. I.** *Integrated solutions in storm sewer systems.* Bulletin of the MGSU. 2018. Vol.13. Issue 5 (116). Pp. 651-659. (in Russian)
7. **Chupin V. R., Melekhov E. S., Nguyen T. A.** *Optimization of parameters of storm sewer systems.* News of universities. Investment. Construction. Realty. 2014. No. 1(6). Pp.73-80. (in Russian)
8. **Velikanov N. L., Naumov V. A., Koryagin S. I., Moisa A. V.** *Improvement of the storm sewer system of the city.* Technical and technological problems of the service. 2017. No. 2(40). Pp. 14-20. (in Russian)
9. **Arguchintsev V. K.** *Dynamic meteorology: textbook, manual.* 2nd ed., Irkutsk: Publishing House of Irkutsk State University. 2009. 179 p. (in Russian)
10. **Kosarev V. P., Andryushchenko T. T.** *Forest meteorology with the basics of climatology.* Moscow, Doe. 2009. 288 p. (in Russian)
11. *The climate of Russia: monograph.* N. V. Kobysheva et al. St. Petersburg: Hydrometeoizdat. 2001. 656 p. (in Russian)

Received 20 October 2022

Для цитирования:

Анциферов, С. А. Влияние изменений ландшафта на формирование ливневого стока / С. А. Анциферов, Н. В. Маслова, Л. В. Грызунова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 61-69. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.007.

FOR CITATION:

Antsiferov S. A., Maslova N. V., Gryzunova L. V. *The impact of landscape changes on stormwater runoff.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 61-69. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.007. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.008

УДК 628.161.2

ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ВОДЫ ФИЛЬТРАМИ С ПРЕССОВАННОЙ ЗАГРУЗКОЙ

А. В. Бахметьев, В. В. Помогаева, В. Ю. Хузин

Бахметьев Александр Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(951)859-46-65; e-mail: bahmetev1970@mail.ru

Помогаева Валентина Васильевна, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(950)753-28-86; e-mail: pomogaeva8@mail.ru

Хузин Владимир Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(908)136-88-49; e-mail: v.huzin@mail.ru

В статье рассматривается процесс обезжелезивания воды через фильтры с прессованной загрузкой. Обозначены проблемы потребления воды, содержащей растворенное железо. Приведены принципы обезжелезивания воды при переходе его из двухвалентного состояния в трехвалентное. Проведена оценка технологических показателей фильтрующих материалов при обезжелезивании воды. Рассмотрены основные типы фильтрующей загрузки. Предложено использовать фильтрацию через нейтральный фильтрующий материал, работающий без использования реагентов. Приведен принцип образования гидроксида (III) при окислении железа в условиях фильтрования. Детально рассмотрены процессы, определяющие скорости движения воды в фильтрующем материале. Проанализирован принцип определения линейной скорости фильтрования с учетом максимального количества значений, необходимых для определения основных параметров фильтра: фильтрующей загрузки, условий обезжелезивания, температуры, концентраций железа. Установлены факторы, влияющие на степень очистки воды от железа. Выполнены экспериментальные исследования обезжелезивания воды через фильтр с прессованной загрузкой. Рассмотрено два варианта движения воды в фильтре: через центр фильтра и от стенок корпуса к центру. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению потерь напора при фильтровании. Показана степень очистки воды от железа в условиях эксперимента. Определена железопоглощающая способность фильтра в зависимости от направления движения воды и потерь напора. Выявлен наиболее эффективный режим для максимального массообмена работы фильтра, с учетом регенерации фильтрующего материала. Показаны области применения рассматриваемого фильтра из нейтральной загрузки. Предложено применение нейтральной загрузки для улучшения качества воды как индивидуальных потребителей, так и в промышленном масштабе.

Ключевые слова: водоподготовка, удаление железа из воды, обезжелезивание, гидроксидный осадок.

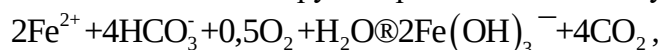
Одной из важнейших задач водоснабжения является обеспечение потребителей водой, безопасной в химическом отношении. Распространенной проблемой природных вод является большое содержание железа и марганца. Вода, насыщенная ионами железа при длительном применении может вызывать различные заболевания: от аллергических реакций и дерматитов до серьезных заболеваний кровеносной системы и внутренних органов (почек, печени, селезенки).

Существуют различные методы обезжелезивания в зависимости от концентрации и объема обрабатываемой вод, а также сопутствующих химических элементов. Основным принципом обезжелезивания воды является перевод двухвалентного железа Fe^{+2} в трех-

лентное Fe^{+3} . Двухвалентное железо находится в растворенном состоянии и практически не задерживается фильтрами. При переводе в трехвалентное железо за счет контакта воды с кислородом, или при введении реагентов (перманганат калия – KMnO_4 , сульфат алюминия – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) Fe^{+3} выпадает в осадок. Так же воду можно обрабатывать сильными окислителями, такими как хлор, озон. Недостатком введения реагентов в воду является их остаточная концентрация в очищенной воде, подаваемой потребителям. Вследствие чего перспективным методом является разработка и усовершенствование безреагентных методов удаления железа, например, через фильтры с разными загрузочными веществами. Фильтрующей загрузкой могут быть различные материалы, которые условно можно разделить на несколько типов [1...6]:

- ✓ нейтральные из диоксида кремния и алюмосиликатов;
- ✓ каталитические с оксидом марганца;
- ✓ повышающие pH и количество гидрокарбонатов с кальцитом.

В отсутствии марганца и нормальном pH, целесообразно применять нейтральные загрузки. Удаление из воды железа на такой загрузке происходит по следующей реакции:



при этом происходит окисление железа за счет перехода его из двухвалентного вида в трехвалентное. При окислении 10 мг гидроксида (II) и входящих в воду гидрокарбонатов (21,8 мг) требуется 1,43 мг кислорода в 1,6 мг воды, по расчету молекулярных масс соединений. В процессе реакции образуется 19,1 мг гидроксида (III) и 15,7 мг диоксида углерода. Гидроксид (III) оседает на фильтрующей загрузке, закупоривая поры фильтра. Окисление и образование осадка из соединений трехвалентного железа на поверхности фильтра происходит в течение первых 2...8 дней, катализируя основную реакцию [1].

Анализ работ [5, 7...11] позволяет рассматривать фильтрование с закупориванием пор, как процесс со структурной перестройкой исходной системы. Можно выделить два состояния системы:

- 1) суспензия, образованная частицами и сплошной фазой.
- 2) осадок, отложившийся на поверхности и в порах фильтра.

Рассматривая все системы, можно определить степень закупоренности пор фильтра, скорости образования и роста отложений на стенках пор фильтра, что в дальнейшем будет способствовать подбору технологических параметров, обеспечивающих максимальную производительность процесса, достигаемую за счёт сокращения времени регенерации в цикле «фильтрация-регенерация», снижению энергопотребления, затраченного на неэффективную работу (регенерацию фильтровального блока) [5, 7, 12].

Одним из основных параметров работы фильтра является скорость фильтрации. Для определения линейной скорости фильтрования, получены разные зависимости [2, 4, 5, 7...10], наиболее полное и точное решение данной проблемы, при выборе фильтра, можно решить при использовании формулы (1), полученной при преобразовании уравнения, приведенного в [13, с. 420]:

$$V = \left(\frac{L \cdot T^{0,4}}{a \cdot d \cdot [\text{Fe}]^p} \right)^{1,67}, \quad (1)$$

где V – линейная скорость фильтрования, м/ч; L – высота фильтрующей загрузки, см; T – температура, °C; d – средний диаметр зерен загрузки фильтров, мм; $[\text{Fe}]$ – концентрация общего железа в исходной воде, мг/л; a и p – коэффициенты, зависящие от соотношения концентраций железа Fe^{2+} к железу общему в исходной воде.

В формуле (1) учтено максимальное количество значений, которые необходимы для определения не только скорости, но и основных технических параметров фильтра: фильтрующей загрузки, условий обезжелезивания, температуры, концентраций железа. Эффективность очистки будет возрастать [1]:

- ✓ при увеличении толщины слоя загрузки ($1 \cdot L^{1,67}$);

- ✓ при повышении температуры ($1 \cdot T^{0,67}$);
- ✓ при уменьшении размера зерен и пор фильтрующей загрузки ($1/d^{1,67}$),
- ✓ при уменьшении концентрации железа в исходной воде ($1/[Fe]^{0,74}$).

Практический интерес представляет уменьшение диаметра зерен, что, как следует из уравнения (1), должно привести к увеличению эффективности фильтрования.

Для безреагентного удаления железа предлагается применение фильтров с прессованной пористой керамической загрузкой. Проведена оценка некоторых технологических показателей обезжелезивания воды. При проведении эксперимента использовались установка, схема которой представлена на рис. 1.

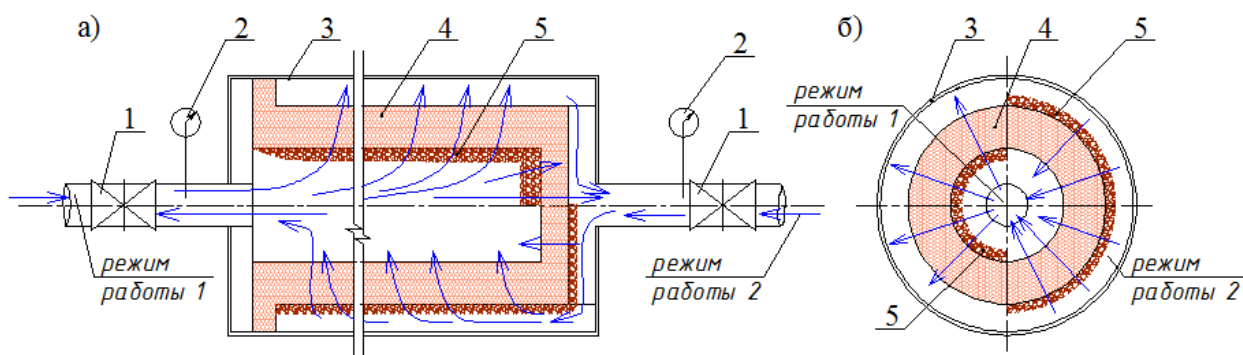


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: а – продольный разрез, б – поперечный разрез:
1 – вентиль; 2 – манометр; 3 – корпус фильтра; 4 – фильтр; 5 – осадок

Установка оборудована вентилями для регулирования количества подачи воды (поз. 1 рис.1), манометрами для измерения давления (поз. 2, рис. 1). Основным фильтрующим элементом является фильтр с размерами: высота 220 мм, диаметр внутренний 40 мм, внешний 70 мм, расстояние от корпуса до фильтра 15 мм. Размер пор фильтрующего материала 102 мкм. Фильтрующая поверхность, определенная аналитическим методом, составляет 0,0289 м². Пористость 0,002.

Направление движение воды возможно в двух направлениях: через центр фильтра (режим работы 1, рис.1) и от стенок корпуса к центру (режим работы 2, рис. 1).

Подача очищаемой воды осуществлялась в течении 4 суток. Замеры скорости и падения давления проводились с интервалом 1 раз в сутки. Скорость фильтрации определялась объемным методом и составляла: от 2,4 до 2,56 м/ч. При работе фильтра давление, определяемое манометрами, изменялось от 14 до 59 кПа. График изменения скорости и падения давления показан на рис. 2.

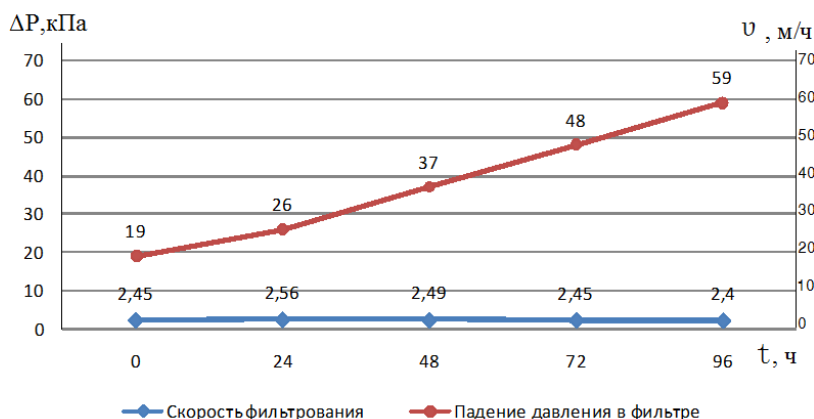


Рис. 2. Изменение параметров работы фильтра

Анализ результатов фильтрования при подаче воды внутрь патрона (режим работы 1, рис. 1), показал, что при снижении производительности фильтра, происходит улучшение технологического процесса фильтрования. При наружной подаче (режим работы 2, рис. 1), от стенок корпуса к центру, наблюдается снижение давления и скорости фильтрования. В случае отсутствия осадка на фильтрующем материале в начале эксперимента, производительность фильтра при наружной подаче воды выше, чем при внутренней подаче.

Для достижения стабильного результата и максимально быстрого образования гидроксидного осадка проведены эксперименты с внутренней подачей воды на спрессованный керамический фильтр. Результаты экспериментальных данных представлены на рис. 3. Эксперимент проводился с водой с содержанием железа от 5,63 до 5,81 мг/л. Такие концентрации железа были приняты для достижения быстрого образования осадка на поверхности фильтра. Степень очистки воды показана на рис. 3. По мере образования гидроксидной пленки происходит улучшение очистки воды.

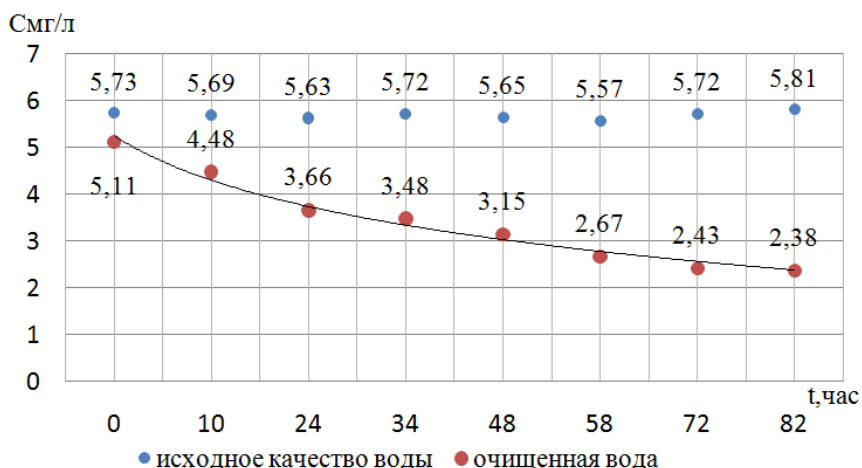


Рис. 3. Степень очистки воды

В условиях эксперимента расчетную производительность, м³/ч, можно определить в зависимости от площади фильтрования и скорости фильтрования. Расчет выполнен для двух вариантов: при подаче воды внутрь фильтра ($\Phi_{\text{вн}}$) и при наружной подаче ($\Phi_{\text{нар}}$) от стенок корпуса к центру. Площадь фильтра определена по наружной поверхности, выполненной в виде цилиндра. Продолжительность фильтроцикла в условиях эксперимента, ч, определялась по формуле:

$$T = \frac{1000 \cdot f \cdot h_{\text{сл}} \cdot \Gamma}{Q \cdot C_{\text{в}}}, \quad (2)$$

где f – площадь фильтра, м²; $h_{\text{сл}}$ – высота фильтрующей загрузки, м; Γ – грязеемкость фильтра, кг/м³; $C_{\text{в}}$ – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей на фильтр, $C_{\text{в}} = 1,5 \dots 1,0$ мг/л в условиях опыта.

За площадь фильтра была принята полная фильтрующая поверхность, на которой образуется гидроксидная пленка. Высота фильтрующей загрузки – толщина фильтра, так как вода подается под напором и распределяется равномерно по всей площади. Исходные данные и результаты экспериментальных и аналитических исследований показаны в таблице.

Производительность спрессованного фильтра при наружной подаче практически в два (1,9) раза больше, по сравнению с внутренней подачей. Перепад давления меняется незначительно. Продолжительность фильтроцикла остается постоянной, и не влияет на способ подачи воды, изменяется только при скорости фильтрования.

В эксперименте использовалась вода с содержанием железа, превышающим ПДК в 18...19 раз, для максимального образования гидроксидного осадка на фильтрующей поверхности. В реальных условиях, такие концентрации маловероятны. По результатам опыта

было проведено математическое моделирование для экспериментального спрессованного фильтра, при меняющейся начальной концентрации железа ($C_{исх}$) от 2 до 5 мг/л. Результаты моделирования представлены на рис. 4.

Определение основных характеристик работы фильтра

Характеристики фильтра	Подача воды при фильтровании					
	внутри фильтра ($\Phi_{вн}$)			наружной подаче ($\Phi_{нар}$)		
Диаметры наружный /внутренний, мм	70,00/40,00			70,00/40,00		
Толщина фильтра, $h_{с\bar{л}}$, мм	15,00			15,00		
Высота фильтрующего материала, L , мм	205			220		
Площадь фильтрующей поверхности, f , м ²	0,027004			0,052203		
Скорость фильтрования, м/с	1,1	1,9	2,5	1,1	1,9	2,47
Расчетная производительность, м ³ /ч:	0,029704	0,051308	0,0675	0,057423	0,099185	0,130506
Продолжительность фильтроцикла, T , $\frac{\text{час}}{\text{сут}}$	$\frac{279,5}{11,6}$	$\frac{161,8}{6,7}$	$\frac{123,0}{5,1}$	$\frac{279,5}{11,6}$	$\frac{161,8}{6,7}$	$\frac{123,0}{5,1}$

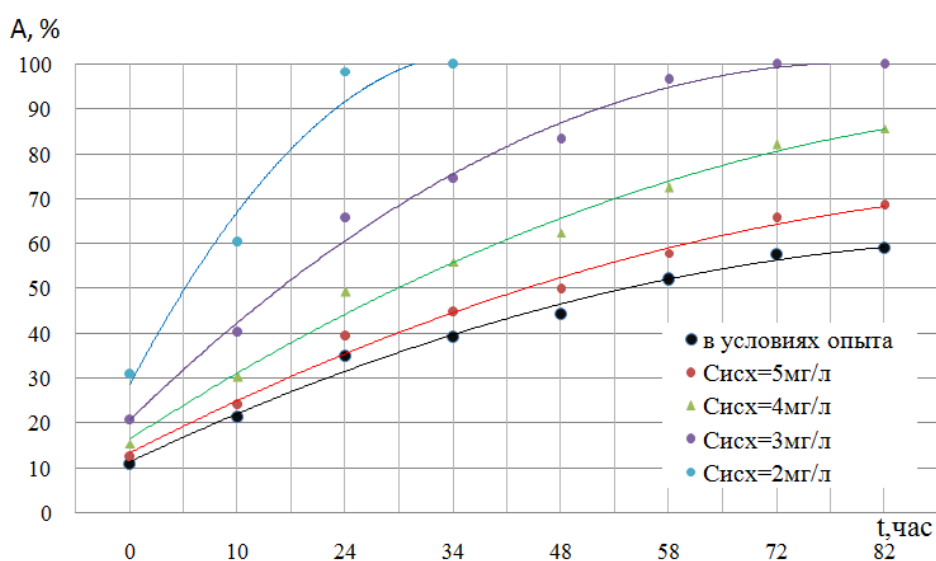


Рис. 4. Моделирование эффективности очистки воды с учетом экспериментальных данных

По результатам моделирования при $C_{исх} = 2$ мг/л эффективность очистки $A = 100$ % достигается после работы фильтра в течении 24 ч. При меньших концентрациях $C_{исх} = 1$ мг/л – через 6 ч. По мере образования гидроксидной пленки происходит улучшение очистки воды.

Опыты показали, что удаление из воды железа происходит за счет нескольких факторов:

- ✓ окисление за счет взаимодействия с кислородом;
- ✓ образование гидроксидной пленки и осадка на поверхности фильтра;
- ✓ фильтрации через гидроксидный осадок и дополнительное оседание Fe^{+3} ;
- ✓ оседание остаточных ионов железа внутри спрессованного фильтра, за счет его структуры.

Подача воды в центр спрессованного фильтра (режим работы 1 рис. 1), при снижении производительности, улучшает технологические параметры обезжелезивания воды и может

быть применена при использовании спрессованных фильтров как малогабаритных водоочистных установок для обезжелезивания воды. Наиболее эффективным методом очистки является подача воды при наружной подаче (режим работы 2 рис. 1), от стенок корпуса к центру, при котором фильтрующая поверхность гидроксидного осадка имеет наибольшую поверхность.

Восстановление фильтрующей способности спрессованного фильтра, по завершению его фильтроцикла, осуществляется обратной промывкой, против движения, принятого при фильтровании. Происходит смыв гидроксидного осадка и очищение пор фильтрующего материала. Применение спрессованного фильтра, при интенсивной промывке более эффективно, по сравнению с насыпными фильтрами, так как не приводит к выносу зерен загрузки фильтрующего материала.

Заключение.

Выполнены опыты по определению процесса обезжелезивания воды через фильтры с прессованной загрузкой. В результате определены особенности образования гидроксидного осадка для улучшения процесса обезжелезивания.

Проведена оценка некоторых технологических показателей обезжелезивания воды. Обоснована область применения фильтров с прессованной загрузкой, для удаления железа.

Результаты экспериментальных исследований могут обосновать выбор и технологическую оценку фильтра с учетом массообменных, энергетических и эксплуатационных параметров, для обезжелезивания воды, как индивидуальных потребителей, так и в промышленном масштабе.

Преимущество рассмотренного спрессованного фильтра заключается в отсутствии дополнительных реагентов при обезжелезивании воды, отсутствии потерь зерен загрузки фильтрующего материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Быков, В. В.** Обезжелезивание артезианской воды на мелкозернистых фильтрующих загрузках / В. В. Быков // Сантехника. – 2018. – Т. 3. – № 3. – С. 18-23.
2. **Дзюбо, В. В.** Влияние характеристик фильтрующих материалов на технологические параметры процесса фильтрования при водоподготовке / В. В. Дзюбо // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2019. – № 2(134). – С. 44-50.
3. **Блохин, А. А.** Сорбционное удаление железа(III) из растворов сульфата алюминия / А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин, М. А. Михайленко // Журнал прикладной химии. – 2021. – Т. 94. – № 6. – С. 805-810. – DOI 10.31857/S0044461821060141.
4. **Bahmetev, A.** Regularities of operation cartridge filters / A. Bahmetev, V. Khuzin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2020 International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2020, Sochi, 2020. – BRISTOL: IOP Publishing Ltd, 2020. – Pp. 032008. – DOI 10.1088/1757-899X/962/3/032008.
5. **Якубов, В. В.** Адсорбционные фильтровальные свойства фильтрующих загрузок водоочистных фильтров / В. В. Якубов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 1(13). – С. 30-40.
6. **Дзюбо, В. В.** Влияние характеристик материала фильтрующей загрузки на эксплуатационные параметры фильтров водоочистки / В. В. Дзюбо // Сантехника. – 2019. – Т. 1. – № 1. – С. 14-21.
7. **Таран, Ю. А.** Математическое описание процесса фильтрования с закупориванием пор фильтровальной перегородки / Ю. А. Таран, А. В. Козлов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2020. – Т. 2. – С. 99-102.

8. **Хужаёров, Б. Х.** Фильтрация суспензий с образованием несжимаемого осадка и заполнением пор фильтра твердыми частицами / Б. Х. Хужаёров // Инженерно-физический журнал. – 2011. – Т. 84. – № 6. – С. 1179-1187.

9. **Поляков, В. Л.** Теоретический анализ реагентного фильтрования водных суспензий при нерегулируемой скорости фильтрации / В. Л. Поляков // Теоретические основы химической технологии. – 2022. – Т. 56. – № 4. – С. 474-495. – DOI 10.31857/S0040357122030101.

10. **Бахметьев, А. В.** Малогабаритная установка для очистки железосодержащих вод / А. В. Бахметьев // Научно-технические проблемы систем теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения: Межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2002. – С. 22-24.

11. Удаление из воды соединений железа и марганца / Л. М. Кочетов, Б. С. Сажин, В. Б. Сажин, И. А. Попов, Г. И. Хазанов, М. А. Кипнис, О. Ю. Дорушенкова // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – Т. 24. – № 3(108). – С. 117-122.

12. **Бахметьев, А. В.** Исследование работы патронных фильтров при обезжелезивании воды / А. В. Бахметьев, В. В. Помогаева // E-Scio. – 2019. – № 6(33). – С. 289-295.

13. **Клячко, В. А.** Очистка природных вод / В. А. Клячко, И. Э. Апельцин. – Москва: Издательство литературы по строительству, 1971. – 429 с.

Поступила в редакцию 14 ноября 2022

WATER DEFERRIZATION THROUGH FILTERS WITH PRESSED LOADING

A. V. Bahmetev, V. V. Pomogaeva, V. Yu. Khuzin

Alexander Viktorovich Bahmetev, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Hydraulics, Water Supply and Sewerage, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(951)859-46-65; e-mail: bahmetev1970@mail.ru

Valentina Vasilyevna Pomogaeva, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Hydraulics, Water Supply and Sewerage, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(950)753-28-86; e-mail: pomogaeva8@mail.ru

Vladimir Yurievich Khuzin, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Hydraulics, Water Supply and Sewerage, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(908)136-88-49; e-mail: v.huzin@mail.ru

The article describes the process of water deferrization through filters with pressed loading. First we indicate the problems of consumption of water containing dissolved iron. Also we describe the principles of water deferrization during its transition from the divalent state into the trivalent state. We assessed technological indicators of filtering materials during water deferrization. As well we consider the main types of filter loading. We offer to use filtration through a neutral filter material that works without the use of reagents. We present the principle of hydroxide formation (III) during the oxidation of iron under filtration conditions. We consider in detail the processes that determine the speed of water movement in the filter material. As well we analyzed the principle of determining the linear filtration rate, taking into account the maximum number of values necessary to determine the main parameters of the filter: filter load, conditions of deferrization, temperature, iron concentration. We also determined factors influencing the degree of water purification from iron. We carried out experimental studies of water deferrization through a filter with a pressed loading. We considered two variants of water movement in the filter: through the center of the filter and from the walls of the container to the center. We present the results of experimental studies on the determination of pressure losses during filtration. Also we show the degree of water purification from iron under experimental conditions. We determined the iron-absorbing capacity of the filter depending on the direction of water movement and pressure loss. For maximum mass transfer,

the most efficient mode of filter operation was identified, taking into account the regeneration of the filter material. We show the fields of application of the considered filter from a neutral load. It is offered to use a neutral load to improve the quality of water both for individual consumers and in industrial scale.

Keywords: water treatment; removal of iron from water; deferrization; hydroxide sediment.

REFERENCES

1. **Bykov V. V.** *Iron removal of artesian water on fine-grained filter media.* V Sanitary engineering. 2018. Vol. 3. No. 3. Pp. 18-23. (In Russian)
2. **Dzyubo, V. V.** *Influence of characteristics of filtering materials on the technological parameters of the filtration process in water treatment.* Water treatment. Water supply. 2019. No. 2(134). Pp. 44-50. (In Russian)
3. **Blokhin A. A., Murashkin Yu. V., Mikhailenko M. A.** *Sorption removal of iron (III) from aluminum sulfate solutions.* Journal of Applied Chemistry. 2021. Vol. 94. No. 6. Pp. 805-810. – DOI 10.31857/S0044461821060141. (In Russian)
4. **Bahmetev A., Khuzin V.** *Regularities of operation cartridge filters.* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2020 International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2020, Sochi, 2020 – BRISTOL: IOP Publishing Ltd, 2020. – Pp. 032008. – DOI 10.1088/1757-899X/962/3/032008.
5. **Yakubov V. V.** *Adsorption filtering properties of filter media of water treatment filters.* Proceedings of the Nizhnevolszhsk agro-university complex: Science and higher professional education. 2009. No. 1 (13). Pp. 30-40. (In Russian)
6. **Dzyubo V.V.** *Influence of the characteristics of the material of the filter load on the operational parameters of water treatment filters.* Sanitary engineering. 2019. Vol. 1. No. 1. Pp. 14-21. (In Russian)
7. **Taran Yu. A., Kozlov A. V.** *Mathematical description of the filtration process with clogging of the pores of the filter partition.* Mathematical methods in engineering and technology. 2020. Vol. 2. Pp. 99-102. (In Russian)
8. **Khuzhayorov B. Kh.** *Filtration of suspensions with the formation of an incompressible precipitate and filling the filter pores with solid particles.* Engineering Physics Journal. 2011. Vol. 84. No. 6. Pp. 1179-1187. (In Russian)
9. **Polyakov, V. L.** *Theoretical analysis of reagent filtration of aqueous suspensions at unregulated filtration rate.* Theoretical foundations of chemical technology. 2022. Vol. 56. No. 4. Pp. 474-495. DOI 10.31857/S0040357122030101. (In Russian)
10. **Bahmetev A. V.** *Small-sized installation for the treatment of iron-containing water.* Scientific and technical problems of heat and gas supply, ventilation, water supply and sanitation systems: Interuniversity collection of scientific papers. Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2002. Pp. 22-24. (In Russian)
11. **Kochetov L. M., Sazhin B. S., Sazhin V. B., Popov I. A., Khazanov G. I., Kipnis M. A., Dorushenkova O. Y.** *Removal of iron and manganese compounds from water.* Advances in chemistry and chemical technology. 2010. Vol. 24. No. 3 (108). Pp. 117-122. (In Russian)
12. **Bahmetev A. V., Pomogaeva V. V.** *Research on the operation of cartridge filters during iron removal, E-Scio.* 2019. No. 6(33). Pp. 289-295.
13. **Klyachko V. A., Apeltsin I. E.** *Purification of natural waters.* Moscow. Publishing house of literature on construction. 1971. 429 p. (In Russian)

Received 14 November 2022

Для цитирования:

Бахметьев, А. В. Обезжелезивание воды фильтрами с прессованной загрузкой / А. В. Бахметьев, В. В. Помогаева, В. Ю. Хузин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 70-78. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.008.

FOR CITATION:

Bahmetev A. V., Pomogaeva V. V., Khuzin V. Yu. *Water deferrization through filters with pressed loading.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 70-78. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.008. (in Russian)

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.009

УДК 725.2:711.16

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗМЕЩЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В ГОРОДСКОЙ СТРУКТУРЕ

А. В. Шутка

Шутка Анна Викторовна, канд. арх. доцент кафедры градостроительства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(961)028-08-32; e-mail: Shutka.a@yandex.ru

Рассмотрен ряд примеров современной практики проектирования и строительства многофункциональных комплексов в структуре современного крупного города. Проведен анализ месторасположения комплексов в городской структуре, который определяет закономерности архитектурно-планировочного построения. Разработана классификация размещения многофункциональных комплексов в городе. Предложены мероприятия, позволяющие грамотно формировать генеральный план земельного участка, комплексно подходить к разработке архитектурно-пространственного решения.

Ключевые слова: градостроительство; многофункциональный комплекс; общественные пространства.

В крупных и крупнейших городах России широкое распространение получило проектирование и строительство многофункциональных комплексов [1, 2]. Городское общественное пространство усложняется и наполняется разнообразными функциями: административными, спортивно-оздоровительными, офисными, культурно-просветительскими, научно-познавательными, развлечения, торговли, общественного питания и др. [3, 4] Многофункциональные комплексы (МФК) являются главнейшими компонентами города, в которых объединены функции человеческой жизнедеятельности. Крупные МФК наиболее привлекательны для населения разнообразием функционального содержания, а, следовательно, возможностями разных видов деятельности [5, 6]. Основные варианты зонирования комплекса, используемые в современной практике: горизонтальное, вертикальное и комбинированное.

Архитектурно-пространственная структура многофункционального комплекса складывалась в исторической динамике. Первые объекты этой категории в России сформировались как бизнес-центры. В качестве иллюстрации на рис. 1 представлен бизнес-центр «Гвоздь» на проспекте Андропова в Москве. Функциональный набор бизнес-центра представлен различными гипермаркетами, ресторанами, боулинг-клубом.

Дальнейшее развитие среды многофункциональных комплексов связано с новым функциональным наполнением, усложнением структуры, концептуальным построением общественного пространства. Торгово-развлекательные комплексы получают наибольшее распространение в крупных городах России. На рис. 2 представлено архитектурное решение комплекса «Метрополис», созданное московским бюро ABD architects. Фасад комплекса сочетается с урбанистической средой района, в которой он находится. Крыша торгового центра прозрачная. По задумке архитекторов внутреннее пространство «Метрополиса» напоминает жилой квартал с улицами, соединенными между собой мостами.



Рис. 1. Пример первых многофункциональных комплексов в России. Москва.
Бизнес-центр «Гвоздь» на проспекте Андропова



Рис. 2. Пример торгово-развлекательного комплекса. «Метрополис».
Москва, Ленинградское шоссе, 2009 г.

В новых социально-экономических условиях при создании комплексов учитываются сферы коммерческих интересов и социальные потребности современного городского сообщества [7]. На формирование архитектурно-пространственной структуры многофункционального комплекса оказывают влияние следующие факторы: задание на проектирование, градостроительная ситуация, набор функций, авторская концепция [8, 9]. Ярким примером индивидуального подхода к проектированию является концепция многофункционального комплекса «Красные холмы», расположенного в г. Москва, Космодмианская набережная (рис. 3). Проект реализован в духе русских традиций, вызывает ассоциации с крепостными стенами, колокольней.



Рис. 3. Пример многофункционального комплекса «Красные холмы», Москва

Взаимосвязанная непрерывная система общественных пространств объединяет и здания, и городскую среду. Зарубежный опыт проектирования и строительства многофунк-

ональных комплексов демонстрирует развитую, насыщенную инфраструктуру; возможность гибкого перепрофилирования; высокую инвестиционную привлекательность; эффективное использование земельного участка и экономию ресурсов; концептуальное выстраивание архитектурно-художественного образа; активное развитие по вертикали [10]. Оригинальное проектное решение, с максимальным использованием городского пространства, реализовано в МФК Sliced Porosity Block в Чэнду, Китай (рис. 4). Комплекс включает пять башен, по периметру окружающих городскую площадь. Под землей расположен гигантский шестиуровневый торговый центр, а в самих башнях находятся апартаменты разного класса, офисы и гостиничная часть.



Рис. 4. Пример органичного включения многофункционального комплекса в городскую среду. МФК Sliced Porosity Block в Чэнду, Китай. Архитектор Стивен Холл

В настоящее время одним из важнейших аспектов проектирования многофункциональных общественных комплексов является внедрение принципов зеленого строительства. Экологический подход выражается в эффективном использовании новых технологий и материалов. Активизация поисков инновационных решений направлена на создание комфортных условий жизнедеятельности человека. Зеленые насаждения являются органической частью зданий. Пример реализации «зеленого проекта» представлен архитектурной студией Studio Daniel Libeskind (рис. 5). Монолтные стеклянные блоки фасадов как бы прорезаны «зелеными» включениями.

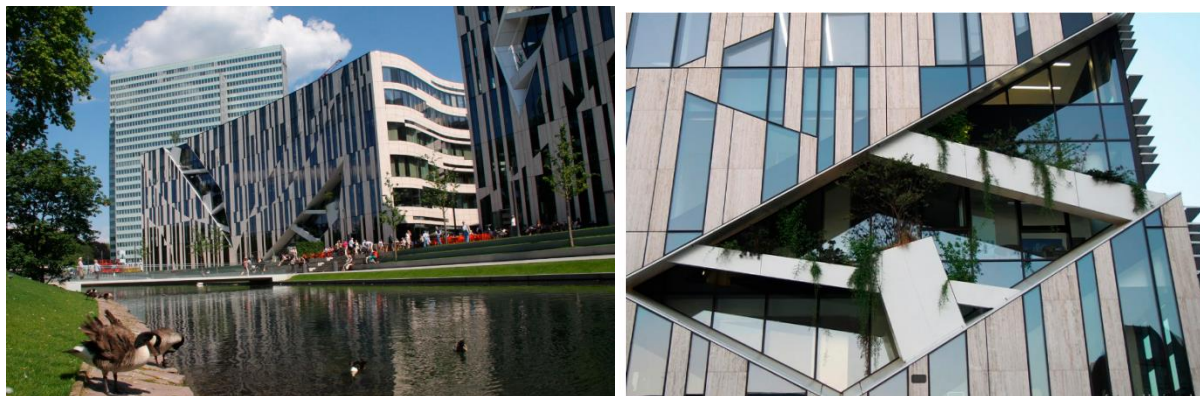


Рис. 5. Пример интеграции архитектуры и природы. МФК Ko-Bogen от Studio Daniel Libeskind

Многофункциональное здание должно не только объединять внутренние функции, но и связывать их с городским контекстом [8, 9].

На расположение многофункциональных комплексов в структуре города оказывают влияние следующие факторы: социально-экономические, технические, функционально-пространственные, эстетические (табл. 1).

Таблица 1

Основные группы факторов, учитываемых при проектировании МФК	
Признак объединения группы факторов	Перечень факторов, определяющих концепцию проектирования многофункционального комплекса
социально-экономические	✓ экономическая эффективность инвестиций и приемлемость стоимости объекта ✓ учет роста численности населения, увеличения плотности застройки ✓ перспективы строительства нового жилья ✓ учет условий жизни и уровня доходов населения
технические	✓ наличие инженерной инфраструктуры, обеспечивающей комфортное и безопасное пребывание людей; ✓ учет потребностей маломобильных групп населения; ✓ возможность интеграции в проект автоматических систем управления;
функционально-пространственные	✓ укрупнение, кооперирование в одном комплексе различных общественных учреждений; ✓ освоение подземного пространства; ✓ организация парковочного пространства; ✓ логистическая структура перемещения пассажирского и грузового транспорта; ✓ безопасность и удобство перемещения посетителей и персонала.
эстетические	✓ создание уникального архитектурно-художественного образа; ✓ интегрирование здания в окружающую среду; ✓ формирование эстетического вида

Приемы градостроительных предложений при размещении многофункциональных комплексов основываются на качественном различии функциональных программ. Формирование архитектурно-планировочной структуры происходит под влиянием характеристик города и выбранной территории: административно-политическое и культурное значение города (столичные, административные центры); народно-хозяйственный профиль города; значение участка размещения в городской среде (городской центр, районный центр, улица, открытое общественное пространство); характер транспортно-пешеходных связей; преобладающая функция (жилая, торговая, спортивная и т.п.).

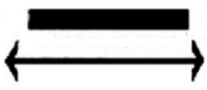
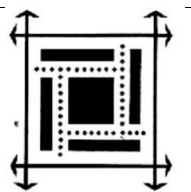
Можно выделить три основных типа расположения многофункциональных комплексов в структуре города: локальное, линейное, пространственное (табл. 2).

Локальное. Примером такого размещения может служить многофункциональный комплекс с центром художественной гимнастики Ирины Винер в Москве, на ул. Верейская (рис.6, а). Проект архитектурного бюро «Остоженка». Единое общественное пространство – пешеходный бульвар соединяет две части комплекса: спортивно-общественную и офисно-жилую. Первая часть включает Центр художественной гимнастики и гостиницу. Вторая часть – апартотель и офисное здание.

Линейное. Примером может служить Торонто Итон Центр – это торгово-офисный комплекс в центре Торонто, Канада (рис. 6, б). Торговый пассаж организован вдоль улицы Йонг-стрит. Многоуровневое пространство соединено подземной сетью с офисными башнями. Фасадное решение комплекса поддерживает сомасштабность человеку и формируют городско уличный пейзаж.

Таблица 2

Варианты расположения VAR в архитектурно-планировочной структуре города

Тип расположения МФК в структуре города	Схема	Характеристика
локальное		Компактный, расположен на отрывной территории (площади)
линейное		Расположен вдоль линейной планировочной структуры (улицы, набережной)
пространственное		Интегрирован в систему городского общественного пространства

Пространственное. Пример – Citigroup Center, Ситигруп-центр Нью-Йорк США. Был спроектирован архитектором Хью Стаббинсом вместе с помощником архитектора Emery Roth & Sons. Башни в 59 этажей, включают офисы и торговые залы. Этажи башни имеют конструкцию «стропильной трубы». Фасад выполнен из анодированного алюминия и отражающих стеклянных панелей (рис.6, в).. У основания свай находится трехэтажный торговый зал. Самый нижний уровень, соответствующий нижнему вестибюлю, включает в себя озелененный атриум высотой 26 м с потолочным окном размером 27 на 30 м. Витрины магазинов были спроектированы так, чтобы сливаться с площадью и улицей, с одинаковыми поверхностями пола и прозрачными наружными стенами. Магазины были задуманы как эмблема города, корпоративный символ и достопримечательность для туристов. Главный вестибюль находится в середине фасада на Лексингтон-авеню, который через пешеходный мост обеспечивает вход в церковь Святого Петра. В структуру включены: офисы духовенства, лекционные помещения, хоровые залы, кинотеатр «Черный ящик», библиотека, кухня, детский сад. Ансамбль комплекса дополняют: открытая площадь, крытая пешеходная зона и аркада, проходящая через весь городской квартал.

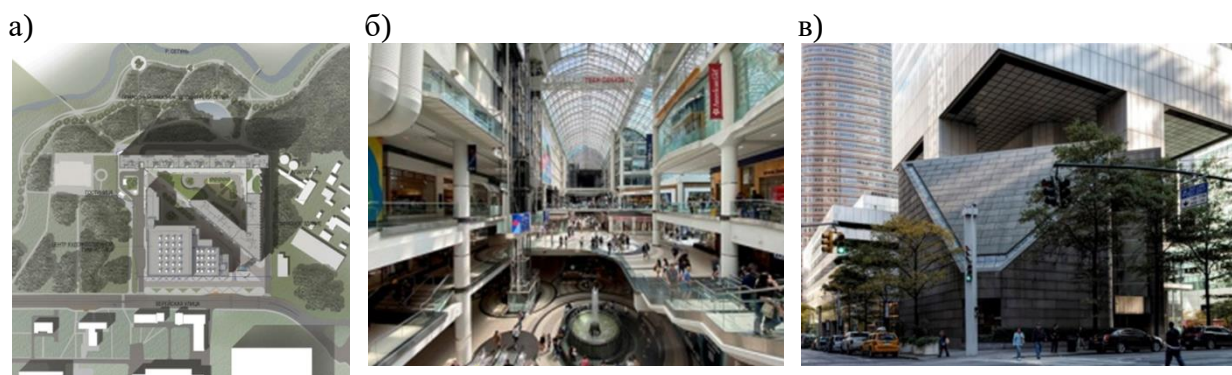


Рис.6. Примеры расположения многофункционального комплекса в структуре города:
а – локальное; б – линейное; в – пространственное

Многофункциональные комплексы являются социально-значимыми и активно используемыми «точками притяжения» в структуре общественных пространств. Размещение многофункционального комплекса в городской структуре на основе закономерностей призвано способствовать целостному пространственному решению, архитектурно-художественной и эмоциональной выразительности.

Заключение.

В результате проведенного исследования выявлены следующие закономерности архитектурно-планировочного построения многофункционального комплекса:

- ✓ сложная полифункциональная структура определяет индивидуальность общественного пространства;
- ✓ использование подземного пространства обеспечивает рациональнее вертикальное функционирование комплекса;
- ✓ активная работа с рельефом отвечает тенденции создания искусственного рельефа – геопластики;
- ✓ замещение озеленения с помощью использования зеленой кровли и включение зеленых насаждений в структуру фасадных решений;
- ✓ обязательное включение в структуру МФК торговой функции;
- ✓ гармоничное вписание объема в градостроительную ситуацию достигается композиционными приемами, основанными на нюансе, тождестве, ритме

Предложена классификация размещения многофункциональных комплексов в городе: локальное; линейное; пространственное.

Определены мероприятия, позволяющие грамотно формировать генеральный план земельного участка, комплексно подходить к разработке архитектурно-пространственного решения: проведение грамотного градостроительного анализа; концептуальное построение архитектуры здания; соответствие структуры МФК требованиям внешней городской среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бойко, А. А.** Особенности проектирования первых многофункциональных жилых комплексов / А. А. Бойко // Аллея науки. – 2018. – Т. 4. – № 11(27). – С. 442-446.
2. **Литовченко, Т. А.** Обобщенный анализ перспективы развития многофункционального высотного строительства в России / Т. А. Литовченко, К. Ю. Подолько // Синергия Наук. – 2017. – № 18. – С. 669-673.
3. **Александрова, А. В.** Принципы формирования многофункциональных территорий и комплексов / А. В. Александрова // Молодой ученый. – 2021. – № 24(366). – С. 63-65.
4. **Гайкова, Л. В.** Особенности архитектурно-планировочных решений торгово-общественных комплексов, размещенных в исторических центрах крупных городов / Л. В. Гайкова, А. И. Степанченко // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2019. – № 3. – С. 38.
5. **Быкова, Г. И.** Приемы планировки и застройки территории при формировании многофункциональных комплексов / Г. И. Быкова, М. А. Гриппас // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2018. – № 7(162). – С. 30-37.
6. **Николаев, А. Л.** К вопросу проектирования общественных многофункциональных комплексов / А. Л. Николаев, Ф. Д. Мубаракшина // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 11. – С. 219-224.
7. **Шприц, М. Л.** Методы организации инвестиционно-строительной деятельности при возведении многофункциональных комплексов / М. Л. Шприц // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2013. – № 163. – С. 98-106.
8. **Шутка, А. В.** Градостроительное проектирование ландшафтов. Основы проектирования ландшафтов: учебное пособие/ А. В. Шутка, Е. И. Гурьева. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2020. – 77 с.
9. **Шутка, А. В.** Градостроительное проектирование ландшафтов: Парк: учебное пособие / А. В. Шутка, Е. И. Гурьева. – Воронеж: Издательство ВГТУ, 2021. – 158 с.

10. **Перлова, Е. В.** Об особенностях многофункциональных комплексов недвижимости и особой роли регионального фактора при их расположении / Е. В. Перлова // Транспортное дело России. – 2011. – № 5. – С. 5-6.

Поступила в редакцию 20 ноября 2022

URBAN PLANNING ASPECTS OF A MULTIFUNCTIONAL COMPLEX ARRANGEMENT IN URBAN AREA

A. V. Shutka

Anna Viktorovna Shutka, Cand. Sc. (Architecture), Associate Professor at the Department of Urban Planning, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(961)028-08-32; e-mail: Shutka.a@yandex.ru

The article considers a number of examples of modern practice of designing and building multifunctional complexes in the structure of a modern large city. We carried out the analysis of the location of complexes in the urban structure, which determines the patterns of architectural and planning construction. We developed a classification of arrangement of multifunctional complexes in the city. As well we offered the measures that allow to competently create the master plan of the land plot, to comprehensively approach the development of architectural and spatial solutions.

Keywords: urban planning; multifunctional complex; public spaces.

REFERENCES

1. **Boyko A. A.** *Design features of the first multifunctional residential complexes.* Alley of Science. 2018. T. 4. No. 11(27). Pp. 442-446. (in Russian)
2. **Litovchenko T. A., Podolko K. Yu.** *Generalized analysis of prospects for the development of multifunctional high-rise construction in Russia.* Synergy of Sciences. 2017. No. 18. Pp. 669-673. (in Russian)
3. **Alexandrova A. V.** *Principles of the formation of multifunctional territories and complexes* Young scientist. 2021. No. 24(366). Pp. 63-65. (in Russian)
4. **Gaikova L. V., Stepanchenko A. I.** *Features of architectural and planning solutions of commercial and public complexes located in the historical centers of large cities.* International Journal of Applied Sciences and Technologies Integral. 2019. No. 3. Pp. 38. (in Russian)
5. **Bykova G. I., Grippas M. A.** *Methods of planning and development of the territory in the formation of multifunctional complexes.* Land management, cadastre and land monitoring. 2018. No. 7(162). Pp. 30-37. (in Russian)
6. **Nikolaev A. L., Mubarakshina F. D.** *On the issue of designing public multifunctional complexes.* Innovations and investments. 2018. No. 11. Pp. 219-224. (in Russian)
7. **Syringe M. L.** *Methods of organization of investment and construction activities in the construction of multifunctional complexes.* Proceedings of the A. I. Herzen Russian State Pedagogical University. 2013. No. 163. Pp. 98-106. (in Russian)
8. **Shutka A. V., Guryeva E. I.** *Urban planning design of landscapes. Fundamentals of landscape design: a textbook.* Voronezh, VSTU Publishing House. 2020. 77 p. (in Russian)
9. **Shutka A. V., Guryeva E. I.** *Urban planning design of landscapes: Park: textbook.* Voronezh: VSTU Publishing House. 2021. 158 p. (in Russian)

10. **Perlova E. V.** *About the features of multifunctional real estate complexes and the special role of the regional factor in their location.* Transport business of Russia. 2011. No. 5. Pp. 5-6. (in Russian)

Received 20 November 2022

Для цитирования:

Шутка, А. В. Градостроительные аспекты размещения многофункционального комплекса в городской структуре / А. В. Шутка // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 79-86. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.009.

FOR CITATION:

Shutka A. V. *Urban planning aspects of a multifunctional complex arrangement in urban area.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 79-86. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.009. (in Russian)

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

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.010

УДК 628.315.21

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАМЕРЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ КОМБИФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

А. А. Ширниех

Ширниех Альберт Албиерович, аспирант кафедры экологии и промышленной безопасности, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Российская Федерация, тел: +7(499)263-68-93; e-mail: al-3x@mail.ru

Задача по обеспечению требований санитарных правил и норм с каждым годом становится всё сложнее. Требования становятся все жестче, стоки грязнее, а их объёмы всё больше. Для решения этой проблемы необходимы новые методы очистки воды, один из которых предлагается автором и заключается в использовании комбинированного фильтра. С помощью современных технологий компьютерного моделирования рассмотрена конструкция камеры и оптимизировано конструкторское решение для достижения наилучшего результата. Приведены результаты моделирования камеры перемешивания при различных вариантах организации перелива. Проведен сравнительный анализ двух способов дозирования реагентов: в камеру перемешивания и в патрубок исходной воды. Исследованы линии движения потоков, в результате выявлено, что в нижней части камеры перемешивания из-за ровного днища образуются завихрения, которые будут разрушать образовавшиеся хлопья. Для решения этой проблемы предложено добавить на нижнюю часть камеры конусную вставку для более плавного протекания потока. Предлагаемая конструкция камеры перемешивания позволит не только повысить эффективность водоподготовки, но и уменьшить площади, занимаемые оборудованием.

Ключевые слова: водоподготовка; эффективность фильтрования; коагуляция; ANSYS; интенсификация фильтрования.

В выпущенном Министерством природных ресурсов и экологии РФ проекте Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды в 2020 году», а также в ежегодных докладах Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации»: Москва, 2006 – 2021), можно сказать, что объем водозабора воды в периоде с 2000 по 2020 колеблется в диапазоне 85...62 млрд м³, а объем сброса загрязненных сточных вод в диапазоне 20...11 млрд м³. При этом объем сброса загрязненных сточных вод в среднем составляет 33,8 %. Часть сточных вод различных предприятий перед сбросом в водоёмы не очищается или очищается не в полной мере. Одной из причин этого является недостаточно развитые способы очистки. Для решения этой проблемы необходимо разрабатывать и внедрять высокоэффективные схемы очистки воды.

На сегодняшний день можно утверждать, что использование только одного метода очистки воды не используется практически нигде. Для достижения современных нормативных показателей качества воды (Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»), будь то требования к качеству питьевой

воды или требования водоочистки для сброса ее в водоемы, необходим комплексный подход к решению.

Фильтры осветлительные являются наиболее распространённым способом очистки воды, и интенсификация процессов фильтрования будет иметь наиболее широкую область применения. Наиболее перспективным способом повышения эффективности фильтрования и малоизученным является интенсификация с помощью добавления реагентов в струйном режиме в камеру хлопьеобразования, которая будет располагаться непосредственно в самом фильтре.

На сегодняшний день существует большое количество способов интенсификации процесса коагуляции с помощью различных способов дозирования коагулянта. Например, Салмин С. М. в своей работе [1] использует гидравлический смеситель с контуром рециркуляции, где предусмотрена контактная камера. Повышение эффекта осветления природной воды после ее двухступенчатой очистки фильтрованием, согласно [1] может составлять от 2 до 5 %.

В работе Портнова Т. М. [2] рассмотрено введение коагулянта в поток через лучевой распределитель, что благодаря быстрому распределению коагулянта в объеме обрабатываемой воды на первой стадии коагуляции позволяет получить экономию коагулянта на 10...20 %.

Существует множество других способов дозирования коагулянта, например, с помощью П-образного коллектора [3], через эжектор [4], цилиндрические камеры смешивания каплевидного сечения [5], статические струйные смесители с дискообразными элементами [6] или смесители с гидравлическим рассеиванием [7].

Все предлагаемые способы дозирования реагентов в своем процессе основаны на интенсификации первой ступени коагуляции – перекинетическая коагуляция [8], когда вероятность встреч частиц во всех направлениях одинакова. Сближение частиц происходит вследствие броуновского движения [9]. При перемешивании ускоряется рост частиц в результате их столкновений, увеличивается взаимосвязь и образуются прочные хлопья. Однако все предлагаемые способы дозирования имеют один общий недостаток, процесс хлопьеобразования и улавливания этих хлопьев находится либо в разных камерах, либо разделены длинным трубопроводом, что при движении из камеры в камеру по патрубкам приводит к разрушению образовавшихся хлопьев.

Предлагаемое авторами решение основано на камере перемешивания [10], расположенной в самом фильтре, что позволяет избежать описанной выше проблемы.

Согласно [10] предлагается следующая конструкция камеры перемешивания (рис. 1).

Принцип работы предлагаемой камеры заключается в следующем. В камеру перемешивания через патрубок исходной (грязной) воды и патрубок подачи раствора реагента подаются соответственно исходная вода и реагент (коагулянт). Расположенные внутри камеры перемешивания плавающие перемешивающие элементы под действием напора исходной воды будут перемешивать реагенты и саму исходную воду, что повысит эффект очистки воды. Далее обработанная реагентом вода подается через нижний и верхний перелив в чашу успокаивания и в корпус самого фильтра соответственно. В этих чашах, за счет времени перетекания из чаши в корпус будет наблюдаться процесс хлопьеобразования. Образованные хлопья поступают на фильтровальную загрузку, где и будут задержаны.

Перед сборкой камеры и ее установки, с помощью компьютерного моделирования многофазных течений [11] под размеры фильтровальной колонны (диаметр 10 см) в системе конечно-элементного анализа ANSYS выполнена модель камеры перемешивания.

В результате моделирования потоков было выявлено, что предлагаемая на рис. 1 конструкция камеры является не самым оптимальным решением. Во время моделирования возникли следующие задачи:

✓ как обеспечить минимально возможные прозоры нижнего перелива, чтобы из камеры не вымывалась перемешивающая загрузка и при этом не увеличить скорость потока

в переливе для обеспечения плавного перетекания потока воды без разрушения образовавшихся хлопьев;

- ✓ необходимо подобрать оптимальные размеры верхнего перелива;
- ✓ как обеспечить оптимальное перемешивание потока исходной воды и реагентов;
- ✓ определить необходимость и конструкцию конусной вставки на нижней части перемешивающей камеры для обеспечения плавного потока воды и исключения образования застойных зон;
- ✓ подобрать оптимальные размеры всех составляющих камеры исходя из имеющихся габаритов фильтровальной колонны.

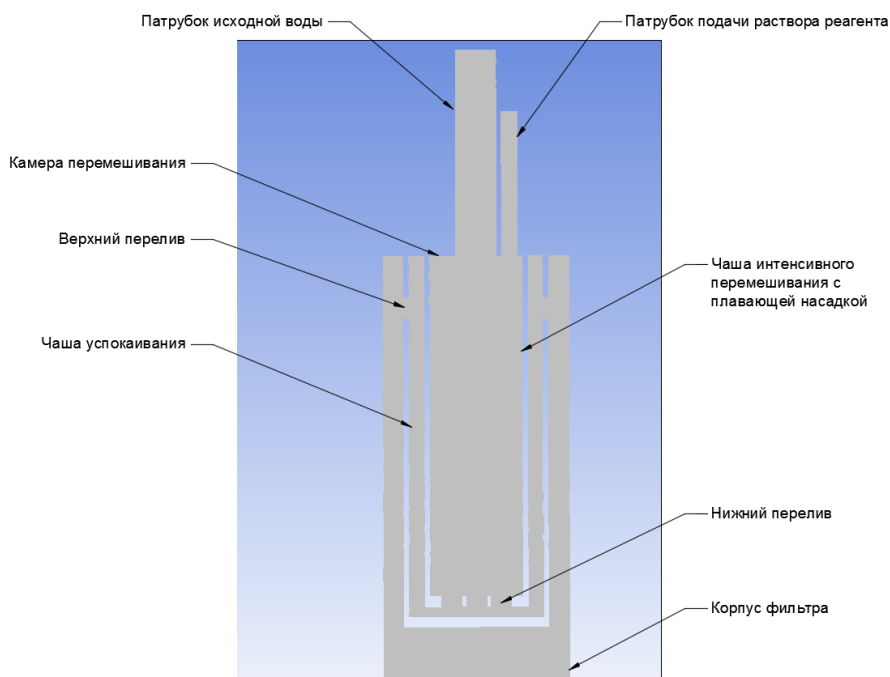


Рис. 1. Модель камеры перемешивания (срез проточной части)

Для решения всех выше перечисленных вопросов было рассмотрено 34 различных модели камеры перемешивания. В частности, для определения конструкции нижнего перелива было рассмотрено 16 моделей, для верхнего перелива – 3 модели, для определения способа дозирования реагента – 7 моделей, для определения конусной вставки – 8 моделей. Оптимальное конструктивное решение камеры перемешивания представлено на рис. 2.

Самым сложным вопросом во время моделирования было исполнение нижнего перелива. Необходимо было обеспечить защиту выноса перемешивающей загрузки (размер и тип которой еще не определен) и плавный перелив потока. Принципиально было рассмотрено два различных подхода.

Первый подход – выполнение перелива в дне чаши интенсивного перемешивания (рис. 3). Рассматривались отверстия разных диаметров и щели разной ширины в дне чаши. Вне зависимости от типа отверстий результат был практически одинаковым. При попытках обеспечить плавный перелив за счет уменьшения скорости течения, получались большие отверстия, в которые потенциально могла просочиться перемешивающая загрузка. Уменьшение размера отверстий приводило к повышению скорости течения в них, но обеспечивалась защита от выноса. Эта проблема возникает из-за ограниченной площади поверхности дна.

Второй подход – выполнение перелива в стенках камеры перемешивания (рис. 4). Это решение помогло значительно увеличить площадь поверхности. Во втором варианте исполнения рассматривалось различное количество разрезов в стенке (4, 8 или 16) и их высота. Оптимальным было принято 16 разрезов высотой 50 мм. Сравнивая рис. 3, б, в с рис. 4, б,

в, можно увидеть существенную разницу в скоростях в нижнем переливе и отсутствие резких изменений в движении потока.

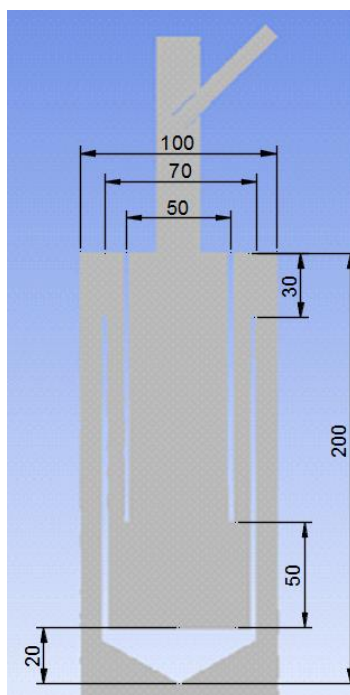


Рис. 2. Улучшенная модель камеры перемешивания (срез проточной части)

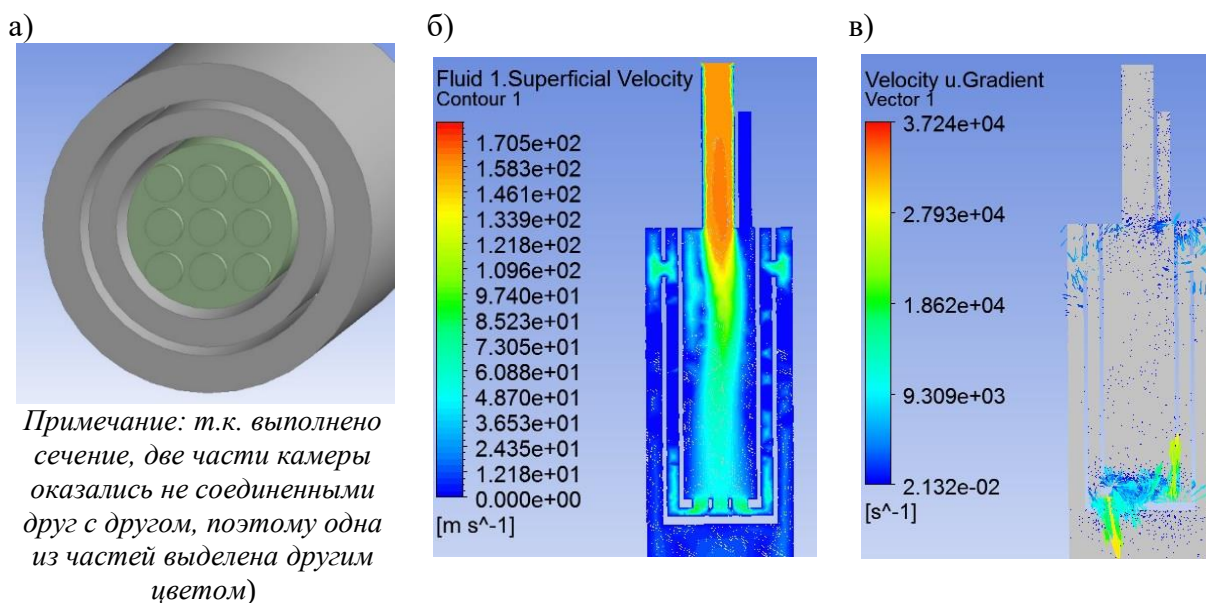


Рис. 3. Результаты моделирования при выполнении перелива в дне чаши камеры перемешивания:
а – разрез проточной части камеры перемешивания; б, – изменение скорости течения потока;
в – изменение градиента скорости

Определение оптимальной конструкции верхнего перелива основывалось на минимизации скорости движения жидкости в перегибе между камерой и фильтром.

Важным вопросом моделирования был выбор способа дозирования реагентов в поток. На рис. 5 представлено распределение в долях объема дозируемого реагента в объеме камеры. Рассматривались различные углы патрубка дозирования относительно корпуса камеры (рис. 5, а), но все они приводили к одному результату, вводимый объем реагента смешивался к стенке чаши и распределялся неравномерно из-за большого потока исходной воды (в модели не учтены перемешивающие элементы, на данном этапе рассматривается лишь

конструкция камеры). На рис. 5, б реагенты дозируются через патрубок исходной воды (патрубок дозирования реагентов при этом врезан внутрь), что позволяет обеспечить перед камерой равномерное распределения реагентов по всему объему, а уже в самой камере с помощью перемешивающей загрузки обеспечить перемешивание, что ускорит рост хлопьев.

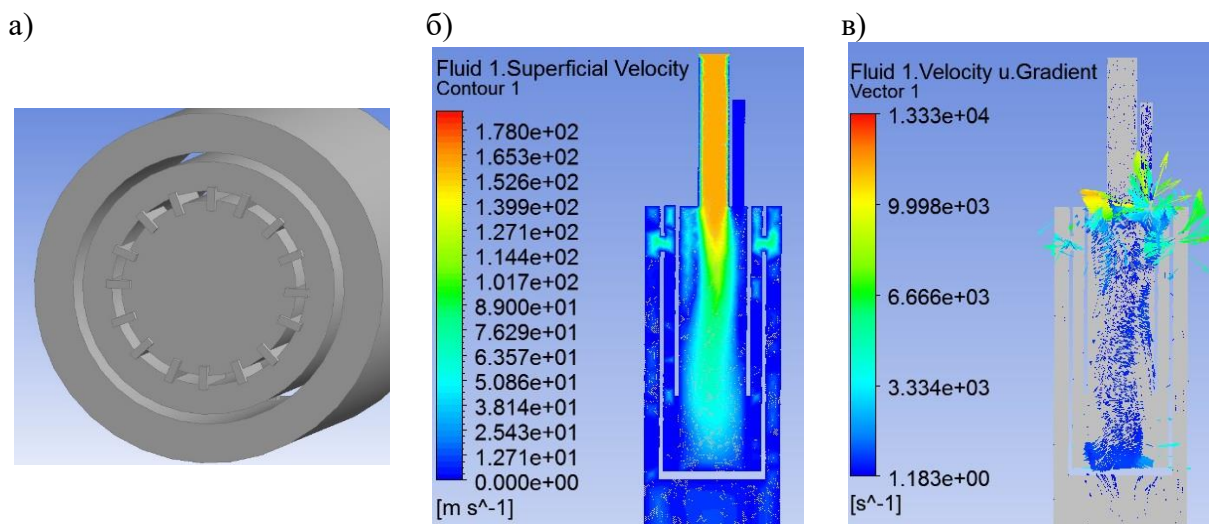


Рис. 4. Результаты моделирования при выполнении перелива в стенках камеры перемешивания:
 а – разрез проточной части камеры перемешивания; б, – изменение скорости течения потока;
 в – изменение градиента скорости

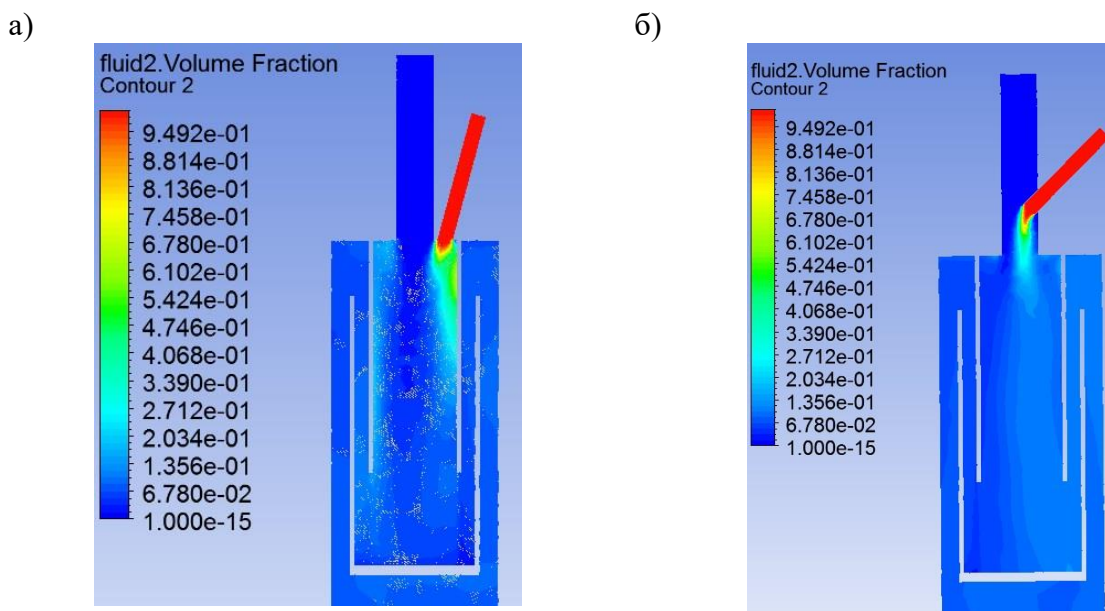


Рис. 5. Моделирование способа дозирования реагентов:
 а – дозирование реагентов в камеру перемешивания; б – дозирование реагентов в патрубок
 исходной воды

На рис. 6 представлены линии движения потока с цветовым сопровождением скорости. В процессе моделирования было выявлено, что в нижней части камеры перемешивания из-за ровного дна образуются завихрения, которые будут разрушать образовавшиеся хлопья (рис. 6, а). Для решения этой проблемы предлагается добавить на нижнюю часть камеры конусную вставку для более плавного протекания потока (рис. 6, б, в).

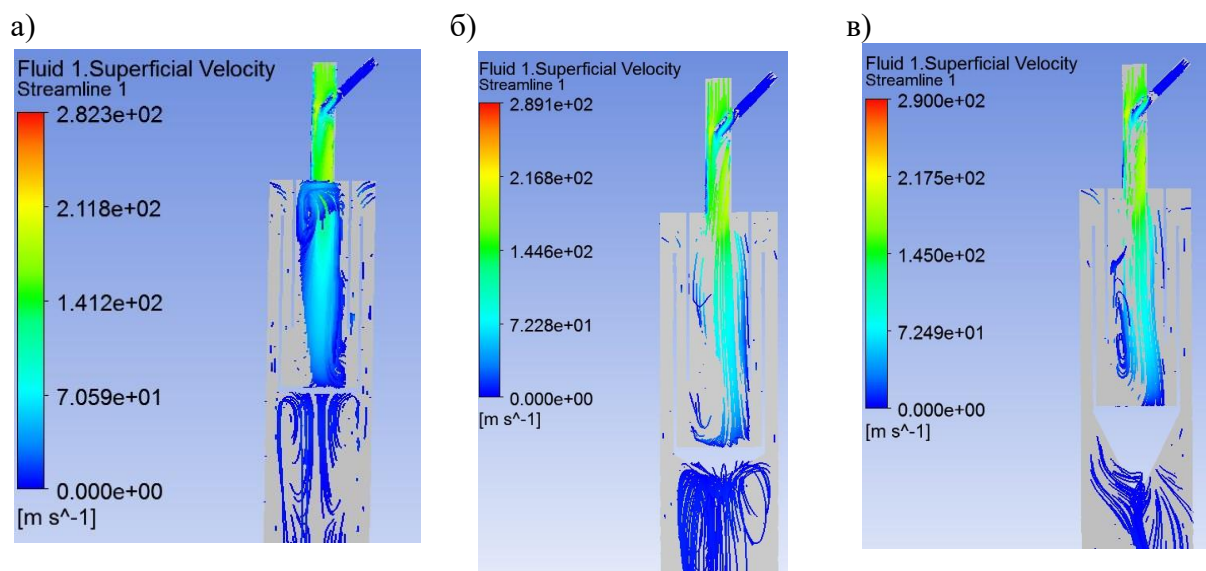


Рис. 6. Моделирование конусной вставки:

а – камера перемешивания без конусной вставки, б – камера перемешивания с конусной вставкой 20 мм; в – камера перемешивания с конусной вставкой высотой 70 мм

Заключение.

Предложено конструктивное решение комбинированного фильтра для очистки сточных вод. Особенностью предлагаемой конструкции является размещение внутри фильтра камера перемешивания, к которой присоединяется патрубок реагентного дозирования. Благодаря такому конструктивному решению и наличию перемешивающих элементов, расположенных внутри, существенно повышается эффективность протекания процессов коагулирования.

В результате компьютерного моделирования камеры перемешивания были установлены оптимальные размеры всех конструктивных элементов, определены способы исполнения нижнего и верхнего перелива, выбран способ дозирования и обоснована необходимость добавления конусной вставки на дно камеры.

Полученные результаты моделирования послужат основой для создания физической модели комбинированного фильтра для проведения натурных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Салмин, С. М.** Коагуляция примесей природных вод с использованием крупнозернистой контактной загрузки: канд. тех. наук: 05.23.04 / Сергей Михайлович Салмин; Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2015. – 149 с.
2. **Портнова, Т. М., Стуликов, И. Г., Федотов, О. И.** Способ введения коагулянта в процессе водоподготовки. пат. RU 2 657 903 С1 (Российская Федерация). Патентообладатели: Государственное унитарное предприятие «Водоканал Санкт-Петербурга». – № 2017125305; заявл. 14.07.2017; – опубл. 18.06.2018, Бюл. № 17. – 12 с.
3. **Афанасьев, В. С., Кирюхина, Н. В., Воропай, А. С., Размайцев, Г. Н., Сергеев, Ю. Ю., Феклисов Д., Ю.** Устройство для очистки воды путем перемешивания коагулянта и/или химического реагента с водой. пат. RU 88010 U1 (Российская Федерация). Патентообладатели: ООО «ТЭРОС-МИФИ». – № 2009109360/22; – опубл. 27.10.2009. – 12 с.
4. **Александров, Р. А., Курчатов, И. М., Феклисов, Д. Ю.** Устройство дозирования и смешения реагентов. пат. RU 163042 U1 (Российская Федерация). Патентообладатели: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ). – № 2015156438/05; – опубл. 10.70.2016. – 14 с.

5. **Александров, В. А., Какалов, И. Л., Курсанов, Н. П., Чуносков, Д. В.** Статический струйный смеситель. пат. RU 163042 U1 (Российская Федерация). Патентообладатели: Закрытое Акционерное Общество «ДАР/ВОДГЕО». – № 2008105998/22; – опубл. 20.08.2008. – 18 с.
6. **Хемпельроланд, К., Мункельт, Э.** Статическое смесительное устройство, разгрузочное устройство и контейнер для хранения с смесительным устройством, использование смесительного устройства и способ разгрузки. пат. WO2005049186A2 (Германия, Франция). – опубл. 02.06.2005. – 27 с.
7. **Герасимов, Г. Н.** Технический справочник по обработке воды. Том 2 / Г. Н. Герасимов. – Санкт-Петербург: Издательство «Новый журнал», Degremont, 2007. – 1696 с.
8. **Дерябин, В. А.** Физическая химия дисперсных систем: учебное пособие / В. А. Дерябин, Е. П. Фарафонов. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2015. – 88 с.
9. **Фридрихсберг, Д. А.** Курс коллоидной химии: учебник для вузов 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Издательство Химия, 1984. – 368 с.
10. **Ксенофонтов, Б. С.** Комбифильтр для очистки воды. пат. RU 209470 U1 (Российская федерация) Патентообладатель: Ксенофонтов Борис Семенович. – № 2021132892; – опубл. 16.03.2022. – 4 с.
11. **Шарай, Е. Ю.** Компьютерное моделирование многофазных течений при решении задач техносферной безопасности: учеб. пособие / Е. Ю. Шарай; под ред. В. А. Девисилова. – Москва: Издательство ИНФРА-М, 2019. – 128 с.

Поступила в редакцию 17 сентября 2022

COMPUTER SIMULATION OF THE MIXING CHAMBER OF A COMBIFILTER FOR WASTEWATER TREATMENT

A. A. Shirniekh

Albert Albierovich Shirniekh, postgraduate student of the Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, tel.: +7(499)263-68-93; e-mail: al-3x@mail.ru

The task of ensuring the requirements of sanitary rules and regulations is becoming more and more difficult every year. The requirements are getting tougher, the drains are dirtier, and their volumes are increasing. To solve this problem, new methods of water purification are needed. We offer one which consists in using a combined filter. With the help of modern computer modeling technologies, we consider the camera design, and the design solution is optimized to achieve the best result. We presented the results of modeling the mixing chamber for various versions of overflow organization. We carried out a comparative analysis of two methods of dosing reagents: into the mixing chamber and into the source water pipe. We investigated the flow lines, and as a result it was revealed that vortices formed in the lower part of the mixing chamber due to the flat bottom may destroy the flakes formed. To solve this problem, we offer to add a cone insert to the lower part of the chamber for a smoother flow. The proposed design of the mixing chamber will not only increase the efficiency of water treatment, but also reduce the area occupied by the equipment.

Keywords: water treatment; filtration efficiency; coagulation; ANSYS; filtration intensification.

REFERENCES

1. **Salmin S. M.** *Coagulation of impurities of natural waters using coarse-grained contact loading*. Penza. 2015. 149 p. (in Russian)

2. **Portnova T. M., Stulikov I. G., Fedotov O. I.** *Method of introduction of coagulant in the process of water treatment*. Pat. RU 2 657 903 C1 (Russia). Patent holders: State Unitary Enterprise Vodokanal of St. Petersburg. No. 2017125305; Appl. 14.07.2017; – publ. 18.06.2018, Bul. No. 17. 12 p. (in Russian)
3. **Afanasyev V. S., Kiryukhina N. V., Voropai A. S., Razmaytsev G. N., Sergeev Yu. Yu., Feklistov D. Yu.** *Device for water purification by mixing coagulant and/or chemical reagent with water*. Pat. RU 88010 U1 (Russia). Patent holders: LLC TEROS-MEPHI. No. 2009109360/22; publ. 27.10.2009. 12 p. (in Russian)
4. **Alexandrov R. A., Kurchatov I. M., Feklistov D. Yu.** *Device for dosing and mixing reagents*. Pat. RU 163042 U1 (Russian Federation). Patent holders: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education "National Research Nuclear University" (NRU MEPhI). No. 2015156438/05; publ. 10.70.2016. 14 p. (in Russian)
5. **Alexandrov V. A., Kakalov I. L., Kursanov N. P., Chunosov D. V.** *Static jet mixer*. Pat. RU 163042 U1 (Russian Federation). Patent Holders: Closed Joint Stock Company DAR/VODGEO. No. 2008105998/22; publ. 08/20/2008. 18 p. (in Russian)
6. **Hempelroland K., Munkelt E.** *Static mixing device, unloading device and storage container with mixing device, use of mixing device and method of unloading*. Pat. WO2005049186A2 (Germany, France). publ. 02.06.2005. 27 p. (in English)
7. **Gerasimov G. N.** *Technical handbook on water treatment, vol. 2*. St. Petersburg, Publishing house Novy zhurnal, Degremont, 2007. 1696 p. (in Russian)
8. **Deryabin V. A.** *Physical chemistry of dispersed systems: textbook*. Ekaterinburg, Publishing Ural Publishing House. University. 2015. 88 p. (in Russian)
9. **Friedrichsberg D. A.** *Course of colloid chemistry. Studies for universities 2nd ed., reprint. and added*. Leningrad: Chemistry Publishing House. 1984. 368 p. (in Russian)
10. **Ksenofontov B. S.** *Combifilter for water purification*. Pat. RU 209470 U1 (Russian Federation) Patent holder, Ksenofontov Boris Semenovich. No. 2021132892; publ. 16.03.2022. 4 p. (in Russian)
11. **Sharai E. Yu.** *Computer modeling of multiphase flows in solving problems of technosphere safety: textbook*. Moscow, INFRA-M Publishing House. 2019. 128 p. (in Russian)

Received 17 September 2022

Для цитирования:

Ширниех, А. А. Компьютерное моделирование камеры перемешивания комбифильтра для очистки сточных вод / А. А. Ширниех // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 87-94. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.010.

FOR CITATION:

Shirniekh A. A. *Computer simulation of the mixing chamber of a combifilter for wastewater treatment*. Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 87-94. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.010. (in Russian)

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.011

УДК 69.003.13

СРАВНЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

М. Е. Дементьева, И. В. Кожевникова, С. Е. Соколова

Дементьева Марина Евгеньевна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищного коммунального комплекса, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(916)353-18-31; e-mail: 7dem@mail.ru

Кожевникова Ирина Витальевна, студент кафедры механики грунтов и геотехники, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(977)153-24-46; e-mail: irina.kozhevnikova.99@mail.ru

Соколова Светлана Евгеньевна, студент кафедры механики грунтов и геотехники, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(977)885-13-14; e-mail: svetlana-98@mail.ru

В статье представлен обзор преимуществ и недостатков современных теплоизоляционных материалов, проанализированы их эксплуатационно-технические характеристики. Объектом исследований являлась теплоизоляция трубопроводов как способ повышения энергетической эффективности здания. Целью исследования являлось изучение проблем и перспектив применения инновационных теплоизоляционных окрасочных покрытий трубопроводов отопления и горячего водоснабжения при капитальном ремонте жилищного фонда. Проанализированы данные государственного доклада о состоянии энергосбережения и направлениях повышения энергетической эффективности в нашей стране. Выполнен аналитический обзор научных исследований основных тенденций применения теплоизоляционных окрасочных покрытий, а также изучен опыт их применения. Составлена матрица сравнения теплоизоляционных материалов по технико-экономическим, технологическим и эксплуатационным характеристикам, которая может быть применима для обоснования целесообразности использования теплоизоляционных окрасочных покрытий при капитальном ремонте трубопроводов. Определен перечень факторов, препятствующих внедрению теплоизоляционных окрасочных покрытий в практику эксплуатации.

Ключевые слова: энергоэффективность; энергосбережение; устойчивое развитие; эксплуатация; критерии сравнения; квалитетическая оценка.

Ключевым направлением устойчивого развития жилищно-коммунального хозяйства является энергосбережение и повышение эффективности использования энергетических ресурсов. По данным ежегодного государственного доклада Министерства экономического развития РФ жилищно-коммунальное хозяйство является одним из наиболее энергоемких секторов экономики, наряду с такими отраслями, как электроэнергетика, обрабатывающая промышленность и транспорт (рис. 1).

Государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в соответствии с Федеральным законом N261-ФЗ приводит к ежегодному снижению энергоемкости ВВП страны. Среди факторов, оказывающих влияние на потребление топливно-энергетических ресурсов, можно выделить технологический фактор, который отражает целесообразность внедрения энергоэффективных материалов, обо-

рудования, технологических процессов. Этот фактор является главным индикатором мониторинга эффективности политики энергосбережения. Так, в 2020 году за счет технологического фактора было сэкономлено около 6,2 миллионов тонн условного топлива, из которых 1,86 миллионов приходится на экономию в ЖКХ (рис. 2).



Рис. 1. Потребление топливно-энергетических ресурсов в различных секторах экономики России по данным аналитического отчета Минэкономразвития РФ

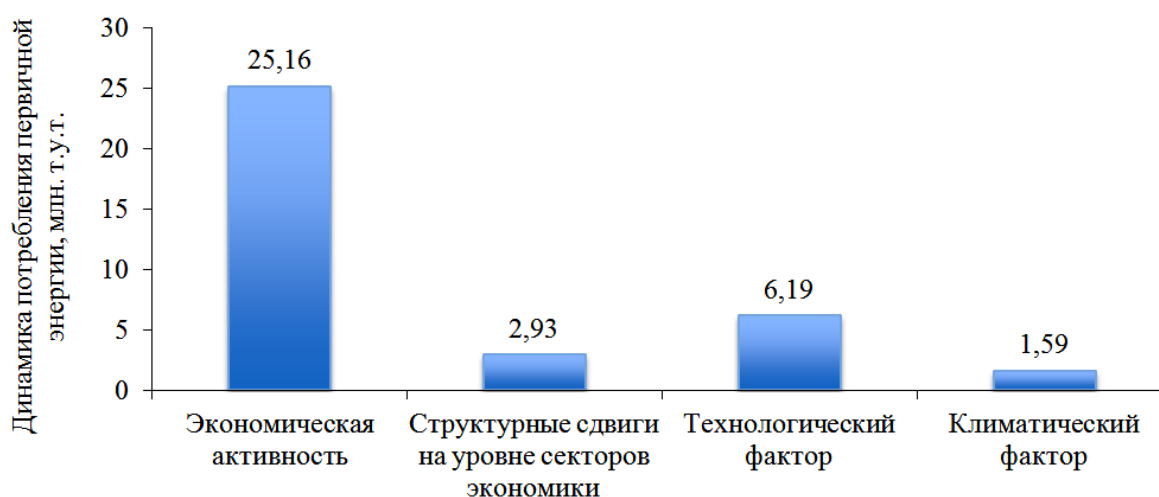


Рис. 2. Влияние различных факторов на снижение потребления топливно-энергетических ресурсов в России по данным аналитического отчета Минэкономразвития РФ

Вместе с тем, в докладе Минэкономразвития РФ отмечено, что это самый низкий показатель с 2016 года. Данный факт подтверждает проблему недостаточных объемов внедрения инновационных технологий высокой энергетической эффективности, что обосновывает актуальность исследований в данном направлении.

Аналитический обзор научных исследований энергоэффективных мероприятий при капитальном ремонте зданий [1...4] показывает, что в теплоснабжении, как одной из энергоемких систем, наибольшие потери теплоты происходят при транспортировке теплоносителя и составляют порядка 15 %. Среди перечня мероприятий, в наибольшей степени способствующих энергосбережению и повышению энергетической эффективности при эксплуатации жилищного фонда, утвержденного приказом Минстроя России N98 от 15.02.2017, можно отметить теплоизоляцию домовых трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения в подвале и на чердаке.

Поэтому объектом исследования является теплоизоляция домовых трубопроводов как способ повышения энергетической эффективности здания. Предметом исследования являются характеристики теплоизоляции как технологический фактор принятия энергоэффективного в эксплуатации решения. Целью работы является исследование проблем и перспектив применения современных теплоизоляционных окрасочных покрытий трубопроводов отопления и горячего водоснабжения при капитальном ремонте жилищного фонда. В

задачи исследования входит выполнение сравнительного анализа эксплуатационно-технических характеристик теплоизоляции из различных материалов, изучение технологии выполнения теплоизоляционных окрасочных покрытий и оценка факторов, препятствующих их внедрению в практику эксплуатации.

На сегодняшний момент приведенным выше приказом Минстроя РФ рекомендованы к применению современные теплоизоляционные материалы в виде скорлуп и цилиндров. В обычной практике капитального ремонта применяются минеральная вата, на которую приходится большая часть производимой теплоизоляции (рис. 3), а также пенополистирол (ППС), пенополиуретан (ППУ), вспененный полиэтилен и каучук [5].

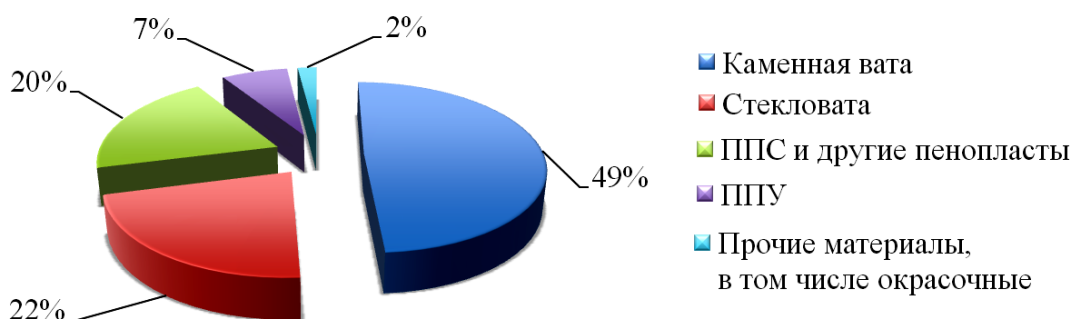


Рис. 3. Структура рынка теплоизоляционных материалов по данным маркетинговых исследований экспертов компаний – производителей теплоизоляционных материалов

Наличие качественной теплоизоляции не просто помогает поддерживать постоянную температуру теплоносителя и снижать прямые затраты за счет уменьшения непроизводительных потерь теплоты, более рационального использования и экономии тепловой энергии при потреблении, но и серьезным образом влияет на качество эксплуатации в целом систем отопления и горячего водоснабжения. Так, например, в случае аварийных ситуаций эффективная теплоизоляция предотвращает замерзание трубопроводов. Помимо этого, она позволяет предупреждать образование конденсата, уменьшать влияние внешних воздействий на трубопровод, тем самым обеспечивая нормативный срок эксплуатации. Снижение тепловых потерь в подвалах и на чердаках позволяет обеспечить нормативные параметры температурно-влажностного режима в этих помещениях и проектную долговечность ограждающих конструкций.

В обычной практике проектирования принято рассматривать несколько альтернативных вариантов устройства теплоизоляции, оценивая их преимущества и недостатки с точки зрения технико-экономических характеристик, соответствия условиям эксплуатации, требованиям энергоэффективности, технологичности производства работ. При выборе утеплителя учитывают его стоимость, теплопроводность, термостойкость, пожарную безопасность, влагостойкость, биологическую и химическую стойкость, плотность. Вместе с тем такие показатели, как долговечность, ремонтпригодность, стоимость ремонтных работ, приобретающие значимость при преследующей эксплуатации, не всегда учитываются на этапе проектирования.

Сегодня наиболее применимы для теплоизоляции трубопроводов минераловатные утеплители, которые относятся к группе негорючих материалов, что является их серьезным преимуществом. Привлекательность этого материала обосновывается значительным опытом применения, который подтверждает сокращение теплопотерь примерно в 3,5 раза при использовании готовых скорлуп, при этом теплопотери составляют порядка 8...10 %. Однако, имея массовое распространение, минераловатная теплоизоляция довольно быстро теряет свои эксплуатационные свойства вследствие того, что материал имеет водопоглощение на порядок большее по сравнению с другими рассматриваемыми теплоизоляционными

материалами. К тому же из минеральной ваты в процессе эксплуатации могут выделяться пары фенола и газообразный формальдегид.

Получившая распространение чуть более 20 лет назад ППУ изоляция выполняется по принципу «труба в трубе». Она состоит из двух труб, представляющих собой внутреннюю несущую и внешнюю защитную оболочки, зазор между которыми заполнен пенополиуретаном. Материал обладает достаточно высокой износостойкостью, устойчивостью к набуханию, обеспечивает высокую сохранность тепла – теплопотери составляют порядка 1...2 %. Важным эксплуатационным преимуществом является возможность осуществления оперативно-дистанционного контроля влажности материала на основе установленного сигнального провода. Высокотехнологичное исполнение позволяет снизить затраты на строительные работы, однако при повреждении или увлажнении изоляции заменить ее отдельно нельзя, ремонт можно выполнить только полной заменой участка трубопровода. Также к основным недостаткам можно отнести меньший температурный диапазон применимости, склонность к воспламеняемости. Помимо этого, опыт эксплуатации показывает, что при отсутствии дополнительной влагозащитной оболочки, например, в виде полиэтилена снижается срок службы трубопроводов за счет интенсификации коррозии.

Следующим популярным материалом является вспененный полиэтилен, представляющий собой эластичное полотно, цилиндры и скорлупы с закрытой ячеистой структурой. К преимуществам использования трубчатых утеплителей из вспененного полиэтилена следует отнести малый вес, высокую устойчивость к воздействию различных химических веществ. Несмотря на простоту монтажа, его сроки несколько увеличивает относительная жесткость материала. К тому же материал имеет наименьший температурный диапазон эксплуатации, за счет чего склонен к усадке и поэтому требует периодических дополнительных работ по восстановлению просевшей изоляции. Серьезным недостатком также является низкая пожарная безопасность, что требует дополнительных затрат на устройство защитной оболочки. При горении материал может выделять уксусную кислоту, формальдегид, оксиды углерода, т.е. является экологически небезопасным.

Наиболее молодая изоляция из вспененного каучука представляет собой пенообразный материал с закрытой губчатой структурой, не поддерживающей самостоятельного горения. Он имеет более широкий температурный диапазон применения, нежели чем вспененный полиэтилен при практически идентичной теплопроводности. За счет плотного прилегания к трубе препятствует образованию конденсата и, следовательно, коррозионным процессам. В числе недостатков материала можно выделить более высокую стоимость по сравнению со вспененным полиэтиленом.

Особенность традиционной теплоизоляции заключается в необходимости дополнительной защиты самой изоляции от внешних воздействий, обязательности устройства крепежей в виде стяжек, колец, термолент и т.п. К тому же устройство финишного покрытия требуется и с эстетической точки зрения. Помимо этого, жесткие скорлупные и цилиндрические утеплители рассчитаны на трубу определенной формы и размера, поэтому их проблематично использовать на других типоразмерах труб. Несмотря на достаточную долговечность рассматриваемых изоляционных материалов, в случае преждевременного износа потребуется замена изоляции на довольно большом участке трубопровода.

Сейчас строительная отрасль активно развивается, появляются инновационные энергоэффективные материалы, к которым можно отнести и теплоизоляционные окрасочные покрытия. Анализ научных исследований [6...9] показывает, что на сегодняшний день они находят все большее применение в строительстве при утеплении крыш, стен, потолков зданий и сооружений, наружных и внутренних инженерных сетей и оборудования на них. Теплоизолирующий эффект достигается за счет так называемых микросфер, которые бывают двух основных видов. Первый вид – это микросферы, которые считаются побочным продуктом высокотемпературного сгорания угля и являются отходами производства. Покрытия на их основе характеризуются более низким качеством, поскольку производитель не

может регулировать такие параметры как форма, размер, прочность стенки, плотность сферы, но при этом покрытие имеет высокую плотность. Второй вид – это искусственно выращенные сферы из разных материалов, например, керамики, полимеров, стекла, силикона. Они довольно высокого качества, поскольку у производителя есть возможность контролировать прочность стенок сфер и их плотность. В таких материалах полимерная матрица заполнена сферами полностью, из-за чего они имеют низкий вес и меньшую плотность.

Материал, напоминающий по консистенции обычную краску или пасту, можно наносить на поверхность любой, даже самой сложной формы. Технология нанесения не отличается высокой сложностью и не требует специального оборудования. Нанесение осуществляется в несколько слоев, обычно от 2 до 6, как вручную, так и механизированным распылением. Производители утверждают, что 1 слой краски по теплоизоляционным свойствам равноценен минеральной вате толщиной 50 мм, а отражательная способность 1 м² поверхности эквивалентна 50 м² фольги. Конечно, такое покрытие требует предварительной подготовки поверхности, к тому же необходим технологический перерыв между нанесением каждого слоя, зависящий от температуры окружающей среды и составляющий от 2 до 12 часов для полного высыхания. При этом теплоизоляционные краски обладают одним из самых низких показателей теплопроводности и водопоглощения, высокой плотностью и адгезией к поверхности, обеспечивая тем самым дополнительно антикоррозионную защиту. Материал не горюч, не токсичен и экологически безопасен. Достаточно широкий температурный диапазон применения, химическая и биологическая стойкость, сопротивляемость к механическим воздействиям, эстетичность позволяют применять материал в различных эксплуатационных условиях без затрат на дополнительную защиту. Например, при утеплении трубопроводов на холодном чердаке следует учитывать, что это помещение с высокой влажностью и продуваемостью. При резком похолодании возможно образование «мостиков холода», с которыми прекрасно справляется теплоизоляционная краска. Еще одним преимуществом этого материала является высокая ремонтпригодность по сравнению с рассмотренными выше материалами, поскольку при износе восстановлению подлежит только поврежденный участок.

Перспективность применения теплоизоляционных окрасочных покрытий также подтверждается Фондом инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО, для которого эксперты Экологического союза разработали стандарт экологической сертификации «Листок жизни» по жизненному циклу СТО МОН 2.41-2018 «Зелёные» стандарты в наноиндустрии. Материал лакокрасочный теплоизоляционный. Требования к «зеленой» продукции и экологической безопасности по жизненному циклу».

Выбор оптимальной технологии высокой энергетической эффективности для теплоизоляции трубопроводов сводится к выбору многокритериального метода принятия решения [10]. В качестве методологического инструмента для наглядного представления результатов многопараметрического сравнительного анализа основных эксплуатационно-технических характеристик рассмотренных теплоизоляционных материалов использована лестничная диаграмма, на которой наименьшие показатели характеризуют лучшее решение (рис. 4).

Наибольшую значимость специалисты присваивают обязательным по законодательству критериям, следующими по значимости идут технологические и экономические критерии, среди эксплуатационных критериев наибольшая значимость придается долговечности и экологичности.

При оценке весомости альтернативных вариантов изоляционных покрытий использована квалиметрическая система оценок, где значимая эффективность обозначена оценкой «3», посредственная – оценкой «2», и минимальная – оценкой «1». Результаты экспертной оценки теплоизоляционных материалов показывают очевидные преимущества окрасочных покрытий.

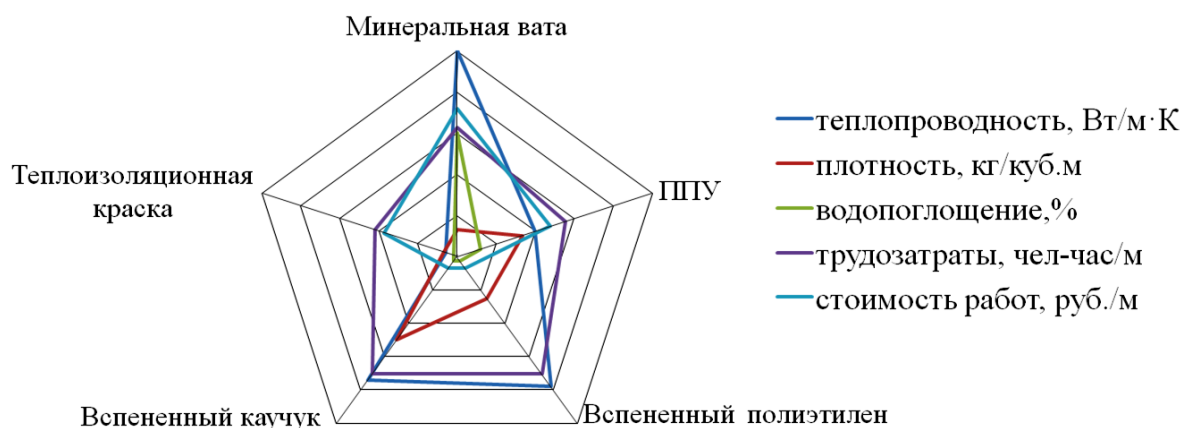


Рис. 4. Эксплуатационно-технические характеристики теплоизоляционных материалов

Интегральная оценка конкурентных преимуществ рассматриваемых материалов выполнена на основе метода парных сравнений и представлена в виде матрицы (таблица).

Матрица сравнения теплоизоляционных материалов трубопроводов, рекомендуемых к применению при капитальном ремонте жилищного фонда

Критерии 1-го уровня			Критерии 2-го уровня, весомость альтернатив для различных теплоизоляционных материалов				
Признак объединения критериев	Наименование критерия	Весомость	минеральная вата	ППУ	вспененный полиэтилен	вспененный каучук	теплоизоляционная краска
Обязательные по законодательству	Теплопроводность	0,15	3	3	3	3	3
	Форма выпуска	0,04	3	3	3	3	3
	Горючесть	0,15	3	1	2	2	3
Экономические	Стоимость работ	0,07	1	2	3	3	2
	Стоимость материалов	0,07	2	3	3	3	1
Технологические	Ремонтопригодность	0,07	2	1	2	2	3
	Простота монтажа	0,07	1	2	3	3	3
	Трудоемкость	0,1	1	2	1	1	3
Эксплуатационные	Долговечность	0,06	2	3	3	2	2
	Эстетичность	0,01	1	1	1	1	3
	Атмосферостойкость	0,04	1	2	2	2	3
	Химическая и биостойкость	0,04	3	2	2	3	3
	Плотность	0,03	2	3	3	3	2
	Водопоглощение	0,02	1	2	3	3	3
	Температура применения	0,02	3	2	1	2	1
	Экологичность	0,06	2	3	2	3	3
	ИТОГО	1,00	2,09	2,18	2,38	2,44	2,66

Предложена двухуровневая система сравнения, которая учитывает как критерии, оценивающие соответствие материалов требованиям законодательства, так и критерии оценки эффективности материалов с технико-экономической, технологической и эксплуатационной точек зрения. Весомость критериев сравнения определена на основе опроса экспертов – специалистов отрасли.

Несмотря на достаточный список преимуществ теплоизоляционная краска все еще не активно применяется в строительных работах. Зачастую это связано с инертностью мышления, ведь многие потенциальные потребители придерживаются мнения, что краска не может иметь такую низкую теплопроводность, поскольку это противоречит законам физики.

Однако различные теплоизоляционные окрасочные покрытия не только запатентованы и их коэффициент теплопроводности был подтвержден расчетным путем и экспериментами, но и прошли экологическую сертификацию и имеют положительный опыт эксплуатации с точки зрения энергоэффективности [11, 12]. Анализ факторов, препятствующих внедрению в практику эксплуатации теплоизоляционных окрасочных покрытий, показывает, что нередко потребители, не ознакомившись с инструкцией применения, сталкиваются с проблемой их низкой эффективности. Как показывает практика это связано с нарушением технологии производства работ, выбором материала, несоответствующего условиям эксплуатации. В этом случае важно проконсультироваться со специалистом в области применения конкретного покрытия, а также необходимо строго соблюдать технологию нанесения. Только тогда можно добиться максимальных результатов по энергосбережению. Кроме того, многие потребители не могут найти расчет на определение количества слоев нанесения покрытия в нормативных документах. На сегодняшний момент эти данные предоставляют сами производители материалов в зависимости от области и условий их применения.

Заключение.

Выполнен анализ эксплуатационно-технических характеристик теплоизоляционных материалов трубопроводов отопления и горячего водоснабжения, применяемых при капитальном ремонте жилищного фонда.

Проведено многопараметрическое сравнение рассматриваемых типов тепловой изоляции, Интегральная оценка конкурентных преимуществ рассматриваемых материалов выполнена на основе метода парных сравнений. Используемая двухуровневая система сравнения учитывает критерии, оценивающие соответствие материалов требованиям законодательства, а также эффективность материалов с технико-экономической, технологической и эксплуатационной точек зрения.

На основании разработанной матрицы сравнения сделан вывод о том, что теплоизоляционные окрасочные покрытия являются хорошей альтернативой традиционным теплоизоляционным материалам. При этом следует отметить, что существующая на сегодняшний момент проблема внедрения теплоизоляционных окрасочных покрытий в практику эксплуатации связана, во-первых, с инертностью мышления, а во-вторых, с отсутствием нормативно-технической документации с подробно проработанной технологией производства работ, расчетом требуемого количества слоев, расхода материала с учетом особенностей условий эксплуатации, что служит основанием для продолжения исследований в данном направлении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ технического состояния тепловых сетей / А. А. Мерциев, Д. В. Лобанов, К. В. Гармонов, Ю. А. Воробьева, С. С. Певцов // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2021. – № 2. – С. 49-52.
2. 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.
3. Дементьева, М. Е. Перспективы планирования энергосбережения при эксплуатации объектов сложившейся застройки городов / М. Е. Дементьева // Естественные и технические науки. – 2014. – № 9-10(77). – С. 390-391.
4. Кононова, М. С. Влияние теплозащитных характеристик тепловой сети на температурный режим системы горячего водоснабжения / М. С. Кононова, Ю. А. Воробьева, А. В. Забара // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 4 (15). – С. 48-54.

5. **Павлов, М. В.** Современные теплоизоляционные материалы для повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий и энергоэффективности инженерных систем / М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов, В. П. Березина // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения. – 2020. – № 1. – С. 81-87.
6. **Клявлин, М. С.** Изучение возможности использования термолкраски для утепления здания / М. С. Клявлин, Д. А. Халфина, А. И. Сакаева // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 2017. – Т. 20. – № 2(65). – С. 43-52.
7. **Березина, В. П.** Результаты применения энергосберегающего жидкокерамического изоляционного покрытия в централизованном теплоснабжении / В. П. Березина // Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности». – Могилев, МГОУ ВО БРУ, 2020. – С. 158.
8. **Байков, И. Р.** Исследование свойств жидких керамических теплоизоляционных материалов / И. Р. Байков, О. В. Смородова, С. В. Китаев // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2018. – Т. 10. – № 5. – С. 106-121.
9. **Клявлин, М. С.** Исследование жидкого керамического теплоизоляционного материала для утепления зданий / М. С. Клявлин, Д. А. Халфина // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – № 4(110). – С. 210-220.
10. **Дементьева, М. Е.** Многокритериальная оптимизация при выборе рационального решения утепления фасада в процессе планирования капитального ремонта зданий / М. Е. Дементьева // Научное обозрение. – 2016. – № 1. – С. 8-12.
11. **Карпов, Д. Ф.** Стационарный метод и устройство для определения коэффициента теплопроводности инновационных жидкокерамических теплоизоляционных материалов / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, В. П. Березина // Доклады XXII Международной молодежной научной конференции, «Севергеоэкотех-2021». – Ухта, УГТУ, 2021. – С. 555-558.
12. Определение коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции при нестационарном тепловом режиме / М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов, Д. А. Погодин, В. А. Агафонов, К. Ю. Беляев, П. С. Березин, Н. С. Туманова, А. Е. Тихов, М. П. Ермалюк, В. П. Березина // Механизация строительства. – 2015. – № 12 (858). – С. 37-41.

Поступила в редакцию 11 ноября 2022

COMPARISON OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF HEAT-INSULATING PAINT COATINGS OF PIPELINES DURING MAJOR REPAIRS OF THE HOUSING FACILITIES

M. E. Dement'eva, I. V. Kozhevnikova, S. E. Sokolova

Marina Evgen'evna Dement'eva, Cand. Sc.(Tech.), Associate Professor the Department of Housing and Communal Services, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, tel.: +7(916)353-18-31; e-mail: 7dem@mail.ru

Irina Vital'evna Kozhevnikova, student of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, tel.: +7(977)153-24-46; e-mail: irina.kozhevnikova.99@mail.ru

Svetlana Evgen'evna Sokolova, student of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, tel.: +7(977)885-13-14; e-mail: svetlana-98@mail.ru

The article presents an overview of the advantages and disadvantages of modern thermal insulation materials, analyzes their operational and technical characteristics. The object of the research was the thermal insulation of pipelines as a way to improve the energy efficiency of a building. The aim of the research was to study the problems and prospects for the use of innovative heat-insulating paint coatings for heating and hot water supply pipelines during the overhaul of housing stock. We analyzed the data of the governmental report on the state of

energy saving and directions for increasing energy efficiency in our country. We carried out an analytical research of scientific studies on the main trends in the use of heat-insulating paint coatings, and the experience of their application. We compiled a matrix for comparing heat-insulating materials in terms of technical, economic, technological and operational characteristics, which can be used to justify the feasibility of using heat-insulating paint coatings during major repairs of pipelines. As well we determined a list of factors preventing the introduction of heat-insulating paint coatings into operational practice.

Keywords: energy efficiency; energy saving; sustainable development; exploitation; criteria of comparison; qualitative assessment.

REFERENCES

1. **Mershchiev A. A., Lobanov D. V., Garmonov K. V., Vorobyova Y. A., Pevtsov S. S.** *Analysis of technical condition of heat networks*. High technologies in the construction complex. 2021. No. 2. Pp. 49-52. (in Russian)
2. **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. (in Russian)
3. **Dement'eva M. E.** *Prospects for planning energy saving in the operation of objects of the existing urban development*. Natural and technical sciences. 2014. No. 9-10 (77). Pp. 390-391. (in Russian)
4. **Kononova M. S., Vorob'eva Y. A., Zabara A. V.** *The influence of the thermal protection characteristics of the heat network on the temperature mode of the hot water system*. Housing and utilities infrastructure. 2020. No. 4(15). Pp. 48-54. (in Russian)
5. **Pavlov M. V., Karpov D. F., Berezina V. P.** *Modern thermal insulation materials for improving the thermal protection properties of building structures and energy efficiency of engineering systems*. Scientific and technical problems of improvement and development of gas power supply systems. 2020. No. 1. Pp. 81-87. (in Russian)
6. **Klyavlin M. S., Khalfina D. A., Sakaeva A. I.** *Studying the possibility of using thermal paint for building insulation*. Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin). 2017. T. 20. No. 2(65). Pp. 43-52. (in Russian)
7. **Berezina V. P.** *Results of application of energy-saving liquid-ceramic insulating coating in district heating*. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, New materials, equipment and technologies in industry. Mogilev, MGOU VO BRU. 2020. Pp. 158. (in Russian)
8. **Baikov I. R., Smorodova O. V., Kitaev S. V.** *Investigation of properties of liquid ceramic thermal insulation materials*. Nanotechnologies in construction: a scientific internet-journal. 2018. T. 10. No. 5. Pp. 106-121. (in Russian)
9. **Klyavlin M. S., Khalfina D. A.** *Study liquid ceramic thermal insulation material for buildings*. Problems of collection, preparation and transport of oil and petroleum products. 2017. No. 4 (110). Pp. 210-220. (in Russian)
10. **Dement'eva M. E.** *Multicriteria optimization in the choice of rational solutions of thermal insulation of facade in the process of planning major repairs of buildings*. Scientific review. 2016. No. 1. Pp. 8-12. (in Russian)
11. **Karpov D. F., Pavlov M. V., Berezina V. P.** *Stationary method and device for determining the thermal conductivity of innovative liquid ceramic heat-insulating materials*. Reports of the XXII International Youth Scientific Conference, Severgeocotech-2021. Ukhta. USTU. 2021. Pp. 555-558. (in Russian)
12. **Pavlov M. V., Karpov D. F., Pogodin D. A., Agafonov V. A., Belyaev K. Yu., Berezina V. P., Tumanova N. S., Tikhov A. E., Ermalyuk M. P., Berezina V. P.** *Determination of*

thermal conductivity factor of liquid heat insulation under non-stationary thermal conditions. Mechanization of construction. 2015. No. 12(858). Pp. 37-41. (in Russian)

Received 11 November 2022

Для цитирования:

Дементьева, М. Е. Сравнение технико-экономических показателей теплоизоляционных окрасочных покрытий трубопроводов при капитальном ремонте жилищного фонда / М. Е. Дементьева, И. В. Кожевникова, С. Е. Соколова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 95-104. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.011.

FOR CITATION:

Dement'eva M. E., Kozhevnikova I. V., Sokolova S. E. *Comparison of technical and economic indicators of heat-insulating paint coatings of pipelines during major repairs of the housing facilities.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 95-104. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.011. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.012

УДК 338.465

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СФЕРЫ ЖКХ

И. А. Провоторов, И. С. Кудрявцева, И. И. Переславцева

Провоторов Иван Анатольевич, д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры цифровой и отраслевой экономики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(908)131-84-89; e-mail ivanprovotorov@yandex.ru

Кудрявцева Ирина Сергеевна, старший преподаватель кафедры инноватики и строительной физики имени профессора И.С. Суровцева, аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(952)546-94-18; e-mail ikud@cchgeu.ru

Переславцева Инна Игоревна, канд. экон. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(903)654-27-75; e-mail innapb@mail.ru

Статья посвящена тематике повышения энергетической эффективности сферы ЖКХ за счет внедрения цифровых технологий. Отмечено, что несмотря на длительную политику по обеспечению энергетической эффективности, достичь существенной трансформации отрасли не удалось. Современный этап характеризуется активным внедрением цифровых решений. Проранжированы стадии энергетического потока по мере возрастания потенциала для роста энергоэффективности. Сделан вывод, что в контексте цифровых трансформаций наибольший потенциал имеет сфера конечного потребления. Цифровизацию сферы ЖКХ с целью повышения энергоэффективности следует рассматривать со многих позиций, в том числе следует учитывать воздействие на различные категории стейкхолдеров. Выделены основные стейкхолдеры процесса повышения энергоэффективности в сфере ЖКХ за счет цифровых трансформаций, определены их основные роли в проектах. Условие наличия в проекте основных стейкхолдеров, которые имеют четкое понимание и объективные оценки своих выгод, является обязательным для обеспечения реализуемости проектов повышения энергоэффективности за счет цифровых трансформаций. На основе предложенной модели выделено 3 типа проектов повышения энергетической эффективности за счет цифровизации по степени их реализуемости. В процессе разработки и структурирования проектов по повышению энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий необходимо четко представлять состав участников и определять их эффективность на различных стадиях жизненного цикла проекта. В случае, если расчеты показывают невыгодность проекта для стейкхолдеров, необходима корректировка его параметров, иначе вероятность его успешной реализации будет достаточно низкой. Представленный в данной статье подход позволяет на стадии разработки определить потенциальную реализуемость проектов повышения энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий, оценить эффекты для различных стейкхолдеров; осуществить, в случае необходимости, корректировку первоначальных условий.

Ключевые слова: энергоэффективность; жилищно-коммунальное-хозяйство; цифровая трансформация; экономическая эффективность; стейкхолдер.

Тематика жилищно-коммунального хозяйства находится в фокусе научных исследований на всем современном этапе развития России, и ей посвящено множество научных исследований. В большинстве исследований отмечается широкий перечень проблем, характерных для современного состояния сферы жилищно-коммунального хозяйства [1...2]. Для преодоления имеющихся недостатков предлагаются различные механизмы: совершенствование тарифной политики, привлечение в отрасль частных средств (в том числе на условиях

концессионных соглашений), внедрение инноваций, повышение энергоэффективности и другие [3...4]. В последние годы решение задач по развитию ЖКХ активно рассматривается в контексте цифровизации и цифровой трансформации. В результате направление цифровизации сферы ЖКХ на уровне Правительства России декларируется как стратегическое¹. Однако говорить о полномасштабном цифровом преобразовании отрасли не приходится. Одной из причины этого является недостаточный уровень научного обеспечения процессов цифровой трансформации.

Последние годы характеризуются достаточно широким внедрением цифровых инструментов в сферу ЖКХ, которые используются в процессе оплаты жилищно-коммунальных услуг, в деятельности коммунальных предприятий, в системах контроля и учета [5...6]. Цифровые трансформации происходят и в важном для отрасли направлении – повышении энергетической эффективности.

Тематика энергосбережения и энергоэффективности активно развивается в РФ на протяжении нескольких десятилетий. В начале 00-х гг. XX века в данном направлении представителями научного и отраслевого сообщества был проведен ряд исследований, что в итоге формализовалось в разработке и утверждении ряда законов и программ развития, направленных на решение задачи полномасштабного перевода сферы ЖКХ на современный мировой уровень энергетической эффективности². О масштабах неэффективности в сфере ЖКХ в России в тот период можно судить по различным данным. Так отчет об энергоэффективности Всемирного Банка [7] содержит информацию о том, что объем неэффективного использования энергии в России равен годовому потреблению первичной энергии во Франции. Этот пример наглядно демонстрирует потенциал для совершенствования систем ЖКХ в Российской Федерации. Несмотря на достижение определенных успехов в этом направлении в последние десятилетия, следует отметить, что задача принципиального повышения энергетической эффективности в сфере ЖКХ в полной мере не выполнена.

Одним из актуальных трендов является исследование тематики повышения энергоэффективности как одного из важных показателей, направленных на обеспечение устойчивое развитие городов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 37120-2020 «Устойчивое развитие сообщества», в котором утверждается, что «сокращение потребления электроэнергии зданиями также может привести к сокращению выбросов парниковых газов и их «экологического следа», что может помочь в борьбе с изменением климата...».

Для активизации процессов цифровой трансформации ЖКХ с целью повышения энергетической эффективности необходимо на основе оценки и систематизации современных экономических процессов выработать теоретико-практические подходы, учитывающие особенности секторов (производство энергии; транспортировка энергии; конечное потребление энергии); специфические свойства услуг сферы ЖКХ, неоднородность отраслей, входящих в состав ЖКХ, учесть роль повышения энергоэффективности для обеспечения устойчивого развития.

Если говорить про потенциал повышения энергоэффективности в сфере ЖКХ [8] на современном этапе, то его следует рассматривать детально по стадиям энергетического потока – рис. 1.

Представленные на рис. 1 стадии энергетического потока расположены по мере возрастания потенциала для роста энергоэффективности. По мнению авторов, наибольший потенциал имеет сфера конечного потребления, так как недостатки системы учета, характеристик зданий и сооружений приводят к достаточно высоким потерям. Также достаточно

¹ Распоряжение Правительства РФ от 27 декабря 2021 г. № 3883-р «О стратегическом направлении в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства РФ до 2030 г.».

² Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

высокие потери происходят в процессе транспортировки энергии от производителя до конечного потребителя. На уровне же производства (добычи) энергии потенциал для роста энергоэффективности зачастую невысок, ввиду того, что производящие предприятия за последние годы приведены в достаточно высокий уровень технологической готовности. Указанный выше подход должен учитывать стадию жизненного цикла объекта энергетики, отраслевые и территориальные особенности, назначение объекта.

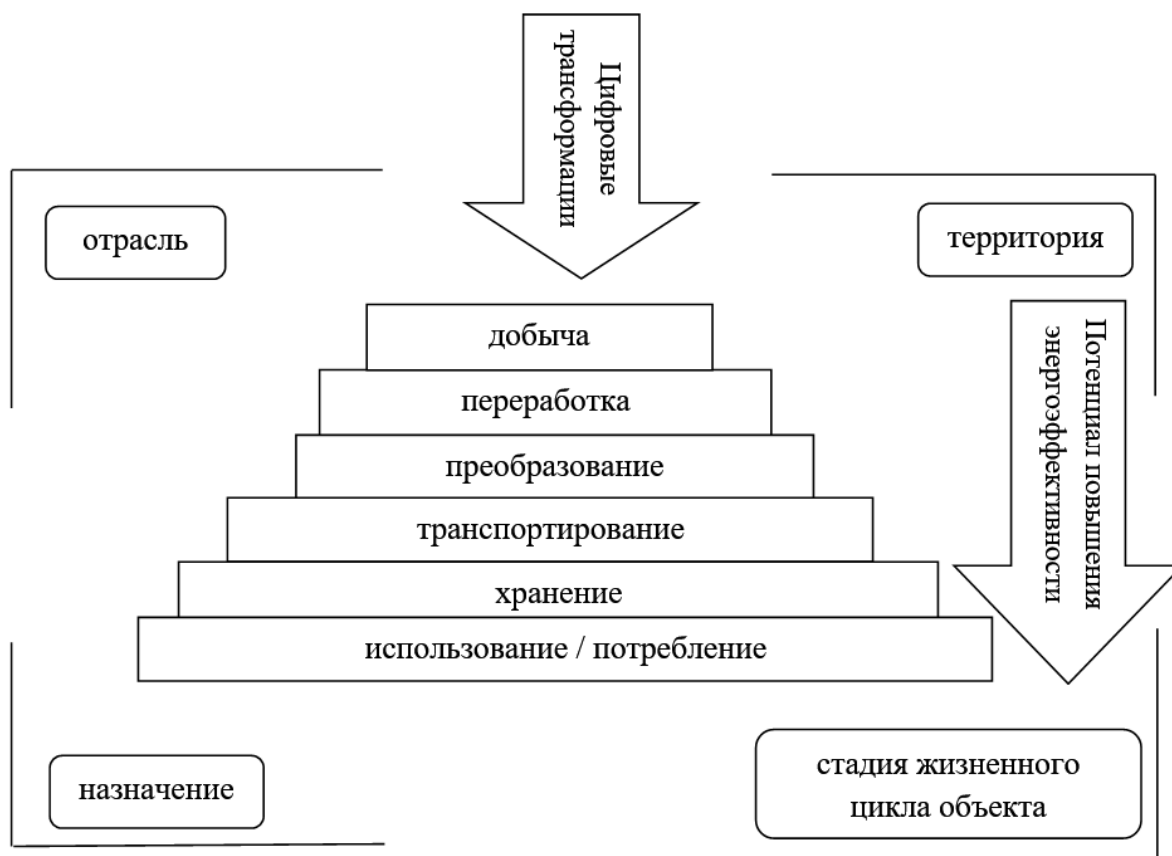


Рис. 1. Структура потенциала для повышения энергоэффективности в сфере ЖКХ за счет цифровых трансформаций

Но, независимо от особенностей объектов энергетики, современный этап развития характеризуется широкомасштабным проникновением цифровых технологий, что позволяет говорить о цифровой трансформации объектов, процессов и в целом сферы энергетики [9]. В настоящее время на повестке дня стоит задача увеличения объемов и скорости цифровых трансформаций в сфере ЖКХ в России для обеспечения коренной перестройке отрасли на новый технологический уклад. Для этого целесообразно в перечне программ и механизмов, направленных на повышение энергоэффективности, выделить лучшие практики и дать оценку их ключевых параметров, обеспечивающих высокую эффективность. В качестве одного из лучших бенчмарков рассмотрим механизм энергосервисных контрактов.

Энергосервисные контракты служат примером достаточно эффективной политики по повышению энергетической эффективности. В рамках таких проектов энергосервисная компания за свой счет внедряет энергосберегающие технологии в государственные или муниципальные организации. А получаемая экономия на определенном контракте временном периоде распределяется между энергосервисной компанией и заказчиком. Несмотря на наличие определенных сложностей в плане внедрения энергосервисных контрактов, динамика их заключения в последние годы показывает эффективность и востребованность. При этом созданная нормативно-правовая база является достаточно стандартной для реализации

проектов повышения энергоэффективности. Институциональные, макроэкономические, финансовые условия также не имеют существенных особенностей. Сравнительно более высокая успешность и достаточно широкое распространение энергосервисных контрактов, по мнению авторов данной статьи, является следствием ясных и понятных выгод (экономических эффектов) для всех стейкхолдеров проекта.

Цифровизацию сферы ЖКХ с целью повышения энергоэффективности следует рассматривать со многих позиций, в том числе следует учитывать воздействие на различные категории стейкхолдеров в процессе реализации инвестиционно-строительного проекта [10] – рис. 2.

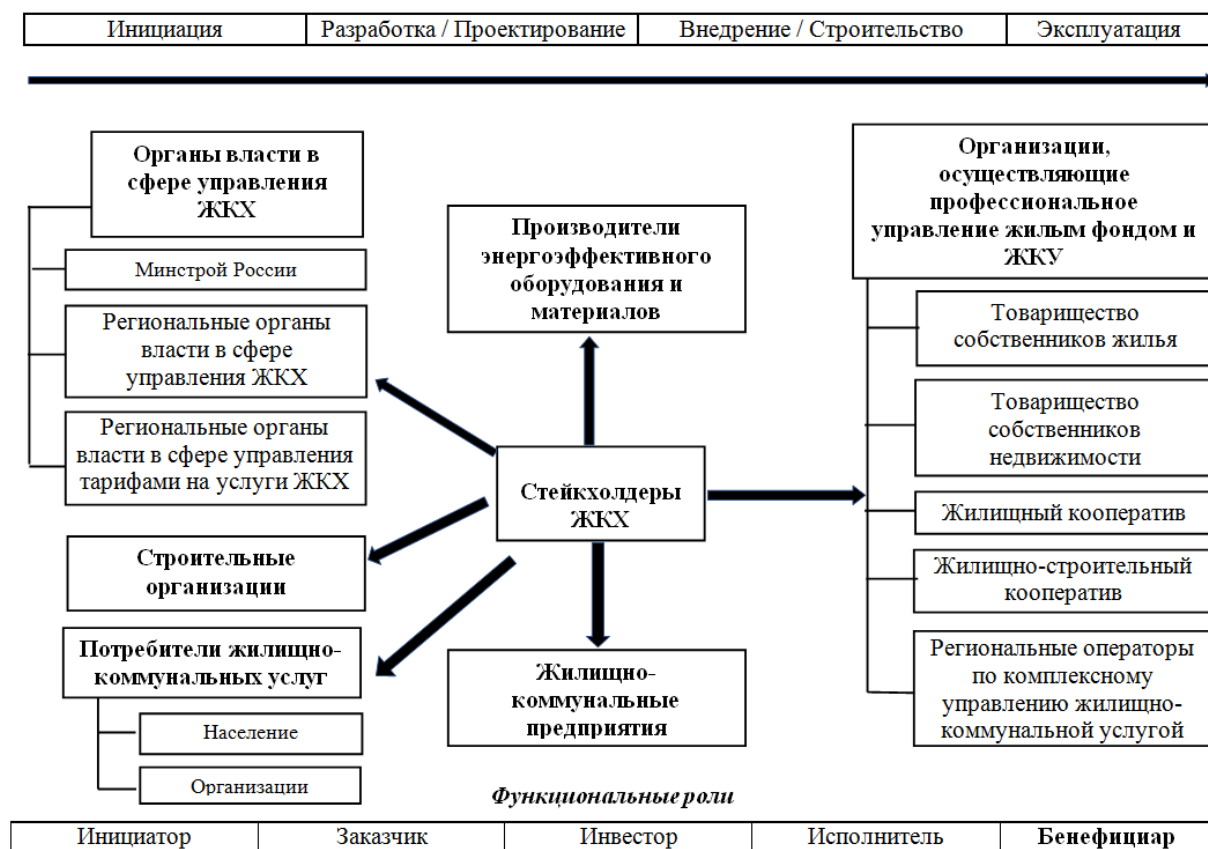


Рис. 2. Стейкхолдеры повышения энергоэффективности в сфере ЖКХ за счет цифровых трансформаций и их функциональные роли

В рамках предложенного подхода выделены основные участники (стейкхолдеры) процесса повышения энергоэффективности в сфере ЖКХ за счет цифровых трансформаций. В качестве основных функциональных ролей предлагается выделить инициатора, заказчика, инвестора, исполнителя и бенефициара. Отметим при этом, что выделенный перечень стейкхолдеров и их функциональных ролей не является полным и всеобъемлющим (особенно с учетом специфики конкретного проекта), однако позволяет выделить ключевых участников и их роли в проекте. В контексте повышения энергоэффективности важно идентифицировать бенефициаров (выгодоприобретателей). Бенефициар, по своей сути не является функциональной ролью, а является итогом участия стейкхолдера в проекте в определенной роли. Условие наличия в проекте основных стейкхолдеров, которые имеют четкое понимание и объективные оценки своих выгод, является обязательным для обеспечения реализуемости проектов повышения энергоэффективности за счет цифровых трансформаций.

В самом общем виде возникающая от реализации проекта по повышению энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий суммарная эффективность ($\Sigma_{\text{сумм}}$) является суммой эффективности отдельных стейкхолдеров на горизонте реализации проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{сумм}} = \sum_{t=0}^n \mathcal{E}_t^i, \quad (1)$$

где t – номер шага расчёта на горизонте жизненного цикла реализации проекта повышения энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий; $\mathcal{E}_t^i$ – эффективность для i -го стейкхолдера на t -ом шаге расчета.

Эффективности проекта повышения энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий определяется на основе сопоставления возникающих эффектов и расходов на горизонте жизненного цикла реализации проекта. В качестве эффектов будет выступать экономия, возникающая в результате повышения энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий, которая определяется по формуле:

$$\text{Экономия} = \Pi_{\text{баз}} - \Pi_{\text{эн. циф.}}, \quad (2)$$

где $\Pi_{\text{баз}}$ – базовое потребление энергетических ресурсов в стоимостной форме, руб; $\Pi_{\text{эн. циф.}}$ – потребление энергетических ресурсов с учетом реализации проекта по повышению энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий в стоимостной форме, руб.

В качестве расходов будут выступать инвестиции (Инв_{*t*}), необходимые для реализации проекта по повышению энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий, и дополнительные затраты, возникающие на стадии эксплуатации (Зат_{*t*}) на t -ом шаге расчета.

В соответствии с действующими методическими указаниями по оценке инвестиционных проектов в качестве показателя эффективности наиболее целесообразно использовать чистый дисконтированный доход (ЧДД). В связи с этим формула [1] преобразуется в следующий вид:

$$\mathcal{E}_{\text{сумм}} = \sum_{t=0}^n \frac{\mathcal{E}_t^i - \text{Зат}_t^i}{(1+a_t^i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{\text{Инв}_t^i}{(1+a_t^i)^t} \quad (3)$$

где $\mathcal{E}_t^i$ – экономия для i -го стейкхолдера на t -ом шаге расчета, руб.; Зат_{*t*}^{*i*} – дополнительные затраты, возникающие на стадии эксплуатации для i -го стейкхолдера на t -ом шаге расчета, руб.; a_t^i – норма дисконта для i -го стейкхолдера на t -ом шаге расчета, доли ед. Инв_{*t*}^{*i*} – инвестиции, необходимые для реализации проекта по повышению энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий для i -го стейкхолдера на t -ом шаге расчета, руб.

Исходя из представленной выше модели, выделим три типа проектов повышения энергетической эффективности за счет цифровизации по степени их реализуемости:

1) все основные стейкхолдеры проекта на каждой стадии жизненного цикла имеют показатель эффективности $\mathcal{E}_t^i \geq 0$.

2) все основные стейкхолдеры проекта за весь жизненный цикл проекта имеют показатель эффективности $\mathcal{E}_t^i \geq 0$, однако на отдельных стадиях жизненного цикла один или несколько основных стейкхолдеров имеют показатель эффективности $\mathcal{E}_t^i < 0$.

3) один или несколько основных стейкхолдеров проекта имеют показатель эффективности $\mathcal{E}_t^i < 0$ за весь жизненный цикл проекта.

Соответственно, данные типы проектов расположены по мере снижения вероятности их реализации. Проекты первого типа, с большой долей уверенности могут быть осуществлены. В проектах второго типа на отдельных стадиях жизненного цикла один или несколько стейкхолдеров несут убытки, что может привести к их выходу из проекта и его прекращению, несмотря на то, что проект в целом для них эффективен. Третий же случай предполагает наличие в проекте участников, терпящих в результате его реализации убытки. И в данном случае, если эти участники имеют возможность оказать воздействие на реализуемость проекта, они могут сделать его нежизнеспособным. Соответственно, в процессе разработки и структурирования проектов повышения энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий необходимо четко представлять состав участников и определять их эффективность на различных стадиях жизненного цикла проекта. В случае, если расчеты показы-

вают нецелесообразность проекта для стейкхолдеров, необходима корректировка его параметров, иначе вероятность успешной реализации проекта будет достаточно низкой.

Заключение.

Предложен методический подход к определению потенциальной реализуемости проектов повышения энергоэффективности на стадии их разработки. Подход основан на внедрении цифровых технологий и оценке эффектов для различных стейкхолдеров. В случае необходимости предусмотрена корректировка первоначальных условий.

Представленный подход имеет ряд допущений. Так, предполагается, что экономия от реализации проектов по повышению энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий может быть достоверно определена и спрогнозирована. Также нужно учитывать многообразие типов проектов. Проекты повышения энергоэффективности за счет внедрения цифровых технологий могут реализовываться для всего объекта, его части либо для отдельных энергосберегающих мероприятий. Проекты могут иметь тип Greenfield (новое строительство) и Brownfield (преобразование существующего объекта). Стейкхолдеры могут иметь другие цели, помимо коммерческих. Так государственные и общественные структуры в проектах подобного рода нацелены на получение общественных, народнохозяйственных, экологических, отраслевых и региональных эффектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сазонов, С. П.** Жилищно-коммунальное хозяйство: проблемы и решения / С. П. Сазонов, Д. Ю. Завьялов // Финансы. – 2006. – № 1. – С. 19-21.
2. **Провоторов, И. А.** Определение барьеров для осуществления инновационной деятельности в строительстве / И. А. Провоторов, Я. А. Рогачева // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2016. – № 3. – С. 19-24.
3. **Воротынцева, А. В.** Реализация концессионных проектов в ЖКХ в условиях экономической нестабильности / А. В. Воротынцева, И. А. Провоторов // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2016. – № 3. – С. 35-39.
4. **Ряховская, А. Н.** Финансовая, ценовая и тарифная политика в сфере ЖКХ: основные проблемы, направления решения / А. Н. Ряховская // Эффективное антикризисное управление. – 2013. – № 2(77). – С. 58-65.
5. **Гумба, Х. М.** Цифровизация как основа обеспечения энергоэффективности строительства и жилищно-коммунального хозяйства / Х. М. Гумба, Е. И. Киселева, Я. Л. Сонин, И. С. Саввина // Экономика и предпринимательство. – 2020. – № 3(116). – С. 1148-1153.
6. **Гумба, Х. М.** Энергоэффективность и экологичность как основа обеспечения устойчивых конкурентных преимуществ субъектов инвестиционно-строительной сферы / Х. М. Гумба, Я. А. Андрюнина, Е. И. Киселева // Актуальные вопросы архитектуры и строительства: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. – 2020. – С. 272-277.
7. **Энергоэффективность в России: скрытый резерв. Отчет.** International finance corporation, The World bank / Г. Саркисян, Я. Горбатенко, С. Солодовников и др. – Москва: [б. и.], 2008. – 162 с.
8. **Шипкова, Е. В.** Реализация потенциала энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве России и Волгоградской области / Е. В. Шипкова, Н. И. Борисова, А. В. Борисов // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 3-2(68). – С. 439-444.
9. **Гаранин, М. А.** Внедрение продуктов цифровой экономики в сферу жилищно-коммунального хозяйства / М. А. Гаранин, Е. К. Чиркунова, В. В. Авсиевич // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. – 2020. – № 3(27). – С. 44-54.

10. **Киселева, Е. И.** Формирование устойчивых конкурентных преимуществ в строительстве путем повышения энергоэффективности: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Киселева Елена Ивановна. – Воронеж, 2021. – 196 с.

Поступила в редакцию 22 ноября 2022

INCREASE IN ENERGY EFFICIENCY IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE HOUSING AND COMMUNAL SERVICES SECTOR

I. A. Provotorov, I. S. Kudryavtseva, I. I. Pereslavl'tseva

Ivan Anatolyevich Provotorov, Dr. Sc. (Economics), Professor at the Department of Digital and Industrial Economics, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(908)131-84-89; e-mail: ivanprovotorov@yandex.ru
Irina Sergeevna Kudryavtseva, senior lecturer at the Department of Innovation and Building Physics named after professor I. S. Surovtsev, postgraduate student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(952)546-94-18; e-mail ikud@cchgeu.ru

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(903)654-27-75; e-mail: innapb@mail.ru

The article is devoted to the topic of increase in energy efficiency of the housing and communal services sector due to the introduction of digital technologies. It is noted that despite the long-term policy to ensure energy efficiency, it was not possible to achieve a significant transformation of the industry. The current stage is characterized by the active implementation of digital solutions. The stages of the energy flow are ranked as the potential for increasing energy efficiency increases. It is concluded that in the context of digital transformations, the sphere of final consumption is of the greatest potential. The digitalization of the housing and communal services sector in order to increase energy efficiency should be considered from many perspectives, including the impact on various categories of stakeholders. We identified the main stakeholders of the process of increasing energy efficiency in the housing and communal services sector through digital transformations, and determined their main roles in projects. The condition of having the main stakeholders in the project, who have a clear understanding and objective assessment of their benefits, is mandatory to ensure the feasibility of energy efficiency projects through digital transformations. Based on the proposed model, we identified 3 types of projects to improve energy efficiency through digitalization according to the degree of their feasibility. In the process of developing and structuring projects to improve energy efficiency through the introduction of digital technologies, one should clearly understand the composition of the participants and determine their effectiveness at various stages of the project life cycle. If the calculations show that the project is unprofitable for stakeholders, one should adjust its parameters, otherwise the probability of its successful implementation will be quite low. The approach presented in this article allows us to determine the potential feasibility of projects to improve energy efficiency through the introduction of digital technologies, to assess the effects for various stakeholders and to make adjustments to the initial conditions, if necessary.

Keywords: energy efficiency; housing and communal services; digital transformation; economic efficiency; stakeholder.

REFERENCES

1. **Sazonov S. P., Zavyalov D. Yu.** *Housing and communal services: problems and solutions*. Finance. 2006. No. 1. Pp. 19-21. (in Russian)
2. **Provotorov I. A., Rogacheva Ya. A.** *Definition of barriers for the implementation of innovative activities in construction*. FES: Finance. Economy. Strategy. 2016. No. 3. Pp. 19-24. (in Russian)

3. **Vorotyntseva A. V., Provotorov I. A.** *Implementation of concession projects in housing and communal services in conditions of economic instability*. FES: Finance. Economy. Strategy. 2016. No. 3. P. 35-39. (in Russian)
4. **Ryakhovskaya A. N.** *Financial, price and tariff policy in the sphere of housing and communal services: main problems, directions of solution*. Effective anti-crisis management. 2013. No. 2(77). Pp. 58-65. (in Russian)
5. **Gumba H. M., Kiseleva E. I., Sonin Ya. L., Savvina I. S.** *Digitalization as a basis for ensuring energy efficiency in construction and housing and communal services*. Economics and Entrepreneurship. 2020. No. 3(116). Pp. 1148-1153. (in Russian)
6. **Gumba H. M., Andryunina Ya. A., Kiseleva E. I.** *Energy efficiency and environmental friendliness as a basis for ensuring sustainable competitive advantages of the subjects of the investment and construction sector*. Actual issues of architecture and construction: materials of the XIII Intern. sci.-tech. conf. 2020. Pp. 272-277. (in Russian)
7. **Sargsyan G., Gorbatenko Y., Solodovnikov S.** *Energy efficiency in Russia: a hidden reserve. Report*. International finance corporation, the World bank. Moscow. 2008. 162 p. (in Russian)
8. **Shipkova E. V., Borisova N. I., Borisov A. V.** *Realization of the energy saving potential in the housing and communal services of Russia and the Volgograd region*. Economy and entrepreneurship. 2016. No. 3-2(68). Pp. 439-444. (in Russian)
9. **Garanin M. A., Chirkunova E. K., Avsievich V. V.** *Implementation of digital economy products in the sphere of housing and communal services*. Actual problems of economics and management. 2020. No. 3(27). Pp. 44-54. (in Russian)
10. **Kiseleva E. I.** *Formation of sustainable competitive advantages in construction by improving energy efficiency*. Thesis. Voronezh. 2021. 196 p. (in Russian)

Received 22 November 2022

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Провоторов, И. А. Повышение энергетической эффективности в условиях цифровой трансформации сферы ЖКХ / И. А. Провоторов, И. С. Кудрявцева, И. И. Переславцева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 105-112. – DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.012.

FOR CITATION:

Provotorov I. A., Kudryavtseva I. S., Pereslavl'tseva I. I. *Increase in energy efficiency in the context of digital transformation of the housing and communal services sector*. Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 105-112. DOI 10.36622/VSTU.2022.23.4.012. (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 911046