

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Construction and industrial safety

Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture

№ 40(92) – 2026

Основан в 1996 году.

Выходит 4 раза в год (ежеквартально)

Учредитель:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»), 295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовым коммуникациям (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-61830 от 18 мая 2015 г.

Включен в утверждённый ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата наук, доктора наук

Главный редактор
Федоркин Сергей Иванович, советник РААСН, д.т.н., проф.
(КФУ им.В.И. Вернадского)

Заместители главного редактора:
Любомирский Николай Владимирович, советник РААСН,
д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)
Николенко Илья Викторович, советник РААСН,
д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)

Редакционная коллегия:
Абдулгасис У.А., д.т.н., проф. (КИПУ, Симферополь)
Аверкова О.А., д.т.н., проф. (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород);
Бакаева Н.В., д.т.н., проф. (ЮЗГУ, Курск);
Бекиров Э.А., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь);
Беспалов В.И., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону)
Ветрова Н.М., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Экологическая
безопасность»;
Гузнецков В.Н., д.пед.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва);
Дворецкий А.Т., советник РААСН, д.т.н., проф. (КФУ им. В.И.
Вернадского, Симферополь);
Зайцев О.Н., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Инженерное обеспечение»;
Маилян Д.Р., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-
Дону);
Нагаева З.С., член-корреспондент РААСН, д.арх., проф. –
руководитель раздела «Градостроительство»
Невзоров А.Л., советник РААСН, д.т.н., проф. (САФУ им. М.В.
Ломоносова, Архангельск);
Несветаев Г.В., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-
Дону);
Пищулина В.В., д.арх., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);
Самбурский Г.А., советник РААСН, д.т.н., проф. (РХТУ имени Д.
И. Менделеева, Москва)
Сергейчук О.В., д.т.н., проф. (КНУСА, Киев, Украина);
Скибин Г.М., д.т.н., проф. (ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова,
Новочеркасск);
Тер-Мартirosян А. З., д.т.н., проф. (НИУ МГСУ, Москва)
Толстой М.Ю., к.т.н., доц. (ИРНИТУ, Иркуток);
Федосов С.В., академик РААСН, д.т.н., проф. (МГСУ, Москва)
Федюк Р.С., советник РААСН, д.т.н., доцент (ДВФУ, Владивосток);
Цопа Н.В., советник РААСН, д.э.н., проф. (КФУ
им. В.И. Вернадского, Симферополь);
Чемодуров В.Т., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь);
Шаленный В.Т., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Строительство»;
Шейна С.Г., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-
Дону);
Щербаков В.И., д.т.н., доц. (ВГТУ, Воронеж);
Югов А.М., д.т.н., проф. (ДонНАСА, Макеевка)

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 40(92) – 2026
научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
(протокол № 2 от 24.03.2026)

Координатор выпуска: *И.В. Николенко*
Верстка: *Г.Р. Биленко*

Редакция Института «Академия строительства и
архитектуры» ФГАОУ ВО «КФУ им.
В.И. Вернадского»

Адрес редакции: 295006, Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Павленко, д. 3
e-mail: rio@napks.ru

Подписан в печать 13.05.2026.
Формат А4.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 9,7.
Тираж 100 экз.
Дата выхода в свет 14.05.2026

Издатель: федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Крымский федеральный университет имени
В.И. Вернадского».

Издательство: ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»
<http://cfuv.ru>, io_cfuv@mail.ru
(3652) 60-84-98,

295007, Республика Крым, г. Симферополь,
проспект Академика Вернадского, 4, каб. 400Б

Отпечатано в типографии ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»
Адрес типографии 295000, Республика Крым,
г. Симферополь, бульвар Ленина, 5/7

Распространяется бесплатно.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

Мокрова Н.В., Мокрова М.М. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПАРКОВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ	5
--	---

Раздел 2. Строительство

Зайченко Н.М., Лахтарина С.В., Лахтарина Н.Н. КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДОНБАССА	15
--	----

Боронина Л.В., Бодня М.С., Добринская А.А., Сухов А.С. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПАРКОВОЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ: НОРМАТИВНЫЕ РЕГЛАМЕНТЫ И ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ	25
---	----

Раздел 3. Инженерное обеспечение

Мартьяшева В.А., Ваядаев К.В., Резяпов Т.Р., Резяпов Б.Р., Баландина А.Г. ДИАГНОСТИКА ВЫТЯЖНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ НА СКЛАДАХ ХИМИЧЕСКОГО ЦЕХА ТЭЦ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ РАБОТЫ	33
---	----

Гусенцова Я.А., Красногрудов А.В., Родыгина М.М., Высоцкая Н.Д. ПРИМЕСНЫЕ ЧАСТИЦЫ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ	41
---	----

Ангелюк И.П., Федюшко Ю.М., Топорен С.С. ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА ПТИЧНИКА НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	47
---	----

Сяо Чжэньсинь, Гульков А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАКУПОРКИ ГИДРАТАМИ ПРИРОДНОГО ГАЗА	53
--	----

Чемодуров В.Т., Литвинова Э.В. СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАК МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ	59
---	----

Шуршилин Е.А., Олехнович Я.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ СЕКЦИОННОГО ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ НАРУЖНЫХ СТЕНОВЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУАССОНА	67
---	----

Раздел 4. Экологическая безопасность

Продоус О.А., Шлычков Д.И., Челоненко А.Г. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ С ВНУТРЕННИМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ	77
---	----

Список авторов	83
-----------------------	----

Руководство для авторов	84
--------------------------------	----

CONTENT

Section 1. Town planning

<i>Mokrova N.V., Mokrova M.M.</i> ORGANIZATION AND DESIGN OF MULTI-LEVEL PARKING COMPLEXES IN THE CONDITIONS OF AN URBAN AGGLOMERATION	5
--	---

Section 2. Construction

<i>Zaichenko N.M., Lakhtarina S.V., Lakhtarina N.N.</i> COMPOSITE BINDERS BASED ON DONBASS INDUSTRIAL WASTE	15
<i>Boronina L.V., Bodnya M.S., Dobrinskaya A.A., Sukhov A.S.</i> ENSURING FIRE SAFETY OF PARKING SPACES FOR ELECTRIC VEHICLES: REGULATORY REGULATIONS AND DESIGN DECISIONS	25

Section 3. Engineering Support

<i>Martyashova V.A, Vazhdaev K.V, Rezyapov T.R, Rezyapov B.R, Balandina A.G</i> DIAGNOSTICS OF EXHAUST VENTILATION SYSTEMS IN THE CHEMICAL SHOP WAREHOUSE OF THE CHP AND WAYS OF IMPROVING THEIR OPERATION	33
<i>Gusentsova Ya.A., Krasnogradov A.V., Rodygina M.M., Vysotskaya N.D.</i> ADDITIONAL PARTICLES IN A TURBULENT MIXING FLOW	41
<i>Angeluck I.P., Fedyushko Yu.M., Toporen S.S.</i> OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION OF POULTRY HOUSE MICROCLIMATE SYSTEMS BASED ON DYNAMIC ENERGY MODELING	47
<i>Xiao Zhenxin, Gulkov A.N.</i> RESEARCH ON TECHNOLOGY TO PREVENT NATURAL GAS HYDRATE BLOCKAGE	53
<i>Chemodurov V.T., Litvinova E.V.</i> MASS SERVICE SYSTEM AS A MODEL OF HARDWARE SYSTEM OPERATION STUDY CONSTRUCTION FACILITIES	59
<i>Shurshilin E.A., Olekhnovich Ya.A.</i> MODELING THE DESTRUCTION OF SECTIONAL CLADDING A LAYER OF EXTERNAL WALL ENCLOSING CONSTRUCTIONS USING THE POISSON DISTRIBUTION	67

Section 4. Environmental safety

<i>Prodous O.A., Shlychkov D.I., Chelonenko A.G.</i> QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF OPERATION OF WATER SUPPLY PIPELINES AND DRAINAGE NETWORKS WITH INTERNAL DEPOSITS	77
<i>List of authors</i>	83
<i>Authors Guide</i>	84

Раздел 1. Градостроительство

УДК 725.3; 69.036

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПАРКОВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИМокрова¹ Н.В., Мокрова² М.М.¹ ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В.Плеханова»,
117997, Москва, Стремянный пер., д.36,

E-mail: mokrovanv55@gmail.com

² ФГБОУ ВО «МАРХИ»,

107031, Москва, ул. Рождественка, д. 11/4,

E-mail: margarita_m_m@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы проектирования парковочного пространства, которые выполнены на основе комплексного подхода, учитывающего особенности градостроительной политики, требования жителей района, а также всех участников дорожного движения. В ходе архитектурного проектирования реализованы пространственные решения, предложены характеристики объекта строительства, выбраны современные строительные материалы, инсоляционные решения. Предложено организацию парковочных зон выполнять таким образом, чтобы они были легко доступны для всех категорий пользователей, включая людей с ограниченными возможностями, а в ходе проектирования использованы современные технологии и материалы, которые минимизируют негативное воздействие на окружающую среду

Предмет исследования: исследование посвящено проблемам организации парковочных пространств в крупных городах и агломерациях, представляющим важную задачу современного городского планирования. Статья рассматривает разнообразные подходы к формированию эффективных парковочных комплексов, учитывая особенности градостроительной политики и транспортные потребности населения. Приведён сравнительный анализ отечественного и международного опыта организации перехватывающих парковок, обозначены перспективные тенденции в развитии многоуровневых парковочных сооружений с учетом требований устойчивого развития, интеграции с транспортными сетями и инновационных технологий.

Материалы и методы: авторами предложены обоснованные проектные решения по организации автоматизированного многоуровневого парковочного комплекса в московском регионе. Выполнено территориальное планирование и организации парковочного пространства, а также архитектурное проектирование с использованием технологий информационного моделирования, программных продуктов AutoCAD, Revit, среды BIM-Revit для синхронизации доступа к файлам.

Результаты: авторский проект предусматривает оптимальное расположение парковочного комплекса относительно остановок общественного транспорта и зон повышенной активности, отмечен применением современных конструктивно-технических решений. На основе ситуационного анализа и транспортной схемы обоснован генплан, детально разработаны и визуализированы поэтажные планы, разрезы, проекции, выполнен рендеринг. Обоснована идея автоматизации процесса парковки, предусматривающая внедрение мобильных приложений для бронирования мест и электронных платежей, что облегчает ее использование и снижает нагрузку на транспортную сеть.

Выводы: особый акцент сделан на вопросы выбора пространственно-архитектурных решений перехватывающего паркинга, способы зонирования и организации пространства, удобства использования парковочных зон, интеграции с общественным транспортом, использованию современных материалов, безопасности, инсоляции и, таким образом, экологической устойчивости.

Ключевые слова: архитектурное проектирование, автоматическая многоуровневая автостоянка, перехватывающий паркинг

ВВЕДЕНИЕ

Организация парковочных пространств в крупных городах и агломерациях является одной из важнейших задач городского планирования. Градостроительная политика тесно связана с формированием городских агломераций, критерии выделения которых различаются в зависимости от страны. К признакам, объединяющим территории в единую агломерацию, обычно относят: преобладание урбанизированных зон; непосредственную близость густозаселённых районов (городов, посёлков, населённых пунктов), расположенных рядом с основным городом (городом-ядром), без значительных разрывов между ними. При этом значительная доля трудоспособного населения осуществляет маятниковые миграции. Не

менее 10–15% жителей пригородных городов ежедневно отправляются на работу, учёбу или культурно-развлекательные мероприятия в центр основной городской зоны или ядро агломерации. При выделении агломераций не принимаются во внимание такие факторы, как административное устройство регионов и прямое физическое расстояние между населёнными пунктами. Транспортная структура предполагает интеграцию систем парковки и перехватывающей парковки (P&R) в городскую среду, которую относят к основополагающему элементу транспортного планирования [1].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Проблемам территориального планирования, организации транспортной доступности объектов и

организации парковочных зон в пределах агломераций посвящено много исследований [2-3]. В частности, рассмотрены возможные пути решения проблемы организации парковочных пространств в современном городе [4], представлены варианты проектирования и сооружения парковочных комплексов, в которых учтены экологические, экономические и эстетические требования к объектам городской инфраструктуры. Проблематика характера для каждого региона, так Новосибирская агломерация [5] развивает транспортную инфраструктуру в условиях повышения уровня автомобилизации населения, роста транспортного спроса, загрузки «отдельных участков улично-дорожной сети в утренние и вечерние часы». В Казани «для разгрузки центральных магистралей города и улучшения связи между районами предлагается создание транспортно-пересадочных узлов, в состав которых будут входить перехватывающие парковки, посадочные терминалы, стоянки такси и т.п.» [6]. Проблема организации транспортно-пересадочных узлов и перехватывающих парковок характерна и для Ростова-на-Дону [7], решению транспортных проблем также способствуют обходные автомобильные дороги и транспортно-пересадочные комплексы. Проблемы организации парковочных мест есть и в Тюмени. Следует отметить, что проектирование паркингов в большей части случаев связано с их реализацией в условиях существующей городской застройки [8].

Особенно остро проблема парковочных мест стоит в крупных городах [9], особое внимание уделяется особенностям архитектуры паркингов и их конструкциям, использованию современных объёмно-планировочных решений, а также используемым материалам. Перехватывающие парковки должны быть вписаны в структуру города, работать в условиях энергоэффективности и энергосбережения, в частности предлагается использование солнечных батарей [9]. Принципы организации перехватывающих парковок в Санкт-Петербурге и Москве позволяют решать определенные проблемы организации транспортной доступности [10]. Рассмотренные причины появления пробок, а также способы размещения автомобилей на парковке дают возможность прогнозировать развитие проектов перехватывающих парковок.

Основные направления Программы развития транспортного комплекса Москвы до 2030 г. проанализированы в работе [11]. Транспортная система столицы обусловлена ускорением жизни мегаполиса и стремительно меняется, обеспечивая высокий уровень комфорта передвижения пассажиров городского транспорта. Москва имеет инновационный подход к застройке парковочного пространства методом поэтажной конструкции, но подобные решения реализованы не повсеместно, проект запущен на нескольких парковках перехватывающего типа. Важное внимание должно быть уделено обратной связи от граждан при

застройке общих и придомовых территорий. Можно обобщить, что пути решения проблем транспортной доступности разные, и одним из способов борьбы с перегруженностью улично-дорожной сети личным автотранспортом особенно в центральной части города является строительство перехватывающих парковок [12]. Существуют предложения использования подземного пространства при организации парковок [13]. Данное решение особенно полезно в условиях сложившейся плотной застройки. Широко известен зарубежный опыт проектирования транспортных узлов с использованием подземного пространства [14-15], который позволяет повысить эффективность пешеходно-транспортных связей. Утверждается [16], что организация городского подземного пространства может обеспечить от 25% до 40% дополнительных площадей. Опыт внедрения механизированных многоуровневых паркингов имеется в разных странах [17], приведены практические примеры устранения дефицита свободных территорий, борьбы с острой нехваткой парковочных мест.

Статья [18] выделяет в зарубежной практике на примере Англии, Франции и Германии пять основных современных тенденций организации многоуровневых парковочных сооружений: устойчивость, технологии, интеграция, дизайн и многофункциональность. По мнению авторов «Устойчивость включает использование экологически чистых материалов и возобновляемых источников энергии. Технологии содержат системы распознавания номерных знаков, автоматизированные парковочные системы и мобильные приложения. Интеграция предполагает связь парковок с общественным транспортом. Дизайн фокусируется на гармоничном внедрении в окружающую среду. Многофункциональность позволяет использовать парковки для других целей, таких как розничная торговля и офисные помещения». Вертикальная парковка является эффективным решением особенно в условиях растущего спроса на парковочные места и ограниченности пространства мегаполисов, характеризуется удобством и экологической чистотой, а в первую очередь машиноместимостью. Рассматривая роль автопаркингов в современных мультимодальных транспортных узлах [19], отмечают эффективность мобильности «благодаря выделенным зонам посадки/высадки и доступа к автомобилям каршеринга, интегрированным пешеходным и велодорожкам предоставляя широкий сектор вариантов транзита». Адаптивные автостоянки обеспечивают необходимое количество парковочных мест в условиях прогнозируемого спроса, подстраиваясь под текущий тип транспортной системы [20]. К архитектурно-планировочным средствам адаптации автостоянок по мнению авторов можно отнести свободную планировку с широким шагом колонн, высоту этажа и вертикальную организацию помещения, с точки зрения инженерно-

технологической организации – полумеханизированные парковочные устройства, узлы соединения несущего каркаса и модульные элементы наружных ограждающих конструкций.

Новые решения в сфере функционирования автомобильных парковок в условиях мегаполисов обладают инвестиционной привлекательностью и нацелены на увеличение эффективности [21], они призваны решить проблемы перегруженности дорог, комплексного управления парковочным пространством. Зарубежный опыт использования технологических решений для городской среды, названных «умная улица», «умная парковка», «умный город» [22], использует модель сервисов IoT (Internet Of Things), которая успешно функционирует и способствует развитию процессов городского управления. В последнее время значительный интерес связан с интеллектуализацией систем управления парковочным пространством [23]. Утверждается, что организация «парковки на основе нейронной сети позволит сократить расходы и более точно определять свободные парковочные места на выбранном пространстве». Проблемы организации транспорта связывают с безопасностью дорожного движения и состоянием окружающей среды [24]. Системы «умных» парковок, интегрированные также с системами навигации, дают возможность управлять расположением транспорта на улицах мегаполиса, организуя онлайн-поиск, бронирование и оплату парковочных мест. Гибкие транзитные системы созданы на основе модели Logit [25] предназначены для «определения оптимального местоположения объектов посадки и высадки и учета выбора режима пользователями», предложенная авторами методология предоставляет идеи для поддержки развертывания систем парковки. Оценка систем Park-and-Ride (PnR) на основе статистического моделирования Монте-Карло и матрично-геометрических аналитических методов для анализа сети очередей является основой повышения устойчивости транспорта [26].

Значимо взаимодействие зеленых насаждений с парковочными сооружениями, предложены нестандартные пути расширения парковочных

комплексов в вертикальном направлении. Социально-экономическое развитие страны характеризуется ростом мобильности во всех сферах общественной жизни, для сохранения конкурентных преимуществ территории требуются эффективные пути сообщения, высокоразвитая транспортная система [27]. Подобные вопросы решаются и на государственном уровне [28]. Аналитический доклад, подготовленный коллективом МГУ имени М.В.Ломоносова, отражает результаты сопоставления ведущих российских и зарубежных городов по уровню развития транспортного комплекса. Индекс развития транспортного комплекса охватывает: качество транспортных услуг, их доступность, безопасность дорожного движения, воздействие транспорта на окружающую среду, эффективность грузовой логистики.

Проблема организации парковочных мест при возрастающей транспортной нагрузке не может быть решена раз и навсегда [29]. Развитие Московской агломерации в части транспортной доступности требует по мнению авторов «общей Концепции, основу которой должны составлять теоретические исследования, использование опыта уже существующих систем» и нормативной базы. Таким образом рассмотрены перспективы развития системы организации парковочных мест, острой и актуальной проблемы крупных мегаполисов. Существующие решения в ряде случаев не выполняют своих функций, требуют заранее подготовленных регламентирующих документов, в том числе экономического характера, в ряде случаев организации въезда и выезда или работы в плохих погодных условиях, например. Организация парковочных мест на уровне отдельной территории, например района, станции метро могут значительно повысить эффективность системы в целом, в том числе с использованием новых архитектурно-планировочных решений, современных экологических материалов, конфигурации интеллектуальных устройств и систем управления. Целью данного исследования является организация и проектирование многоуровневого парковочного комплекса на северо-востоке Москвы.

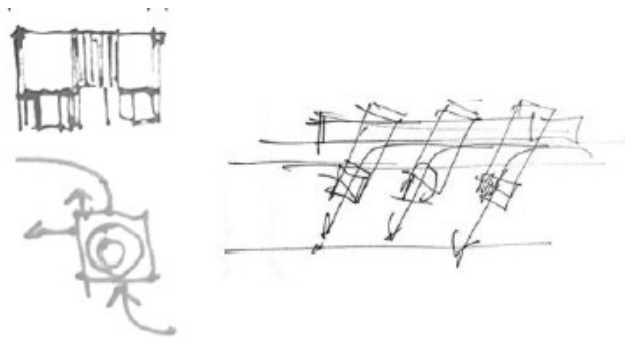
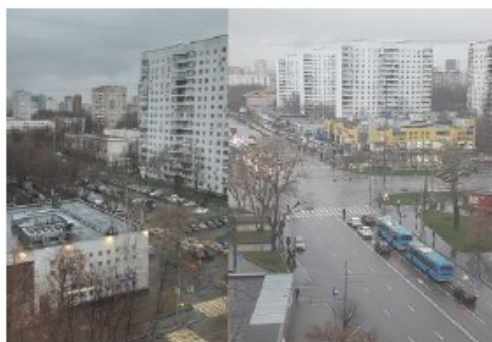


Рис. 1. Анализ и выбор территории
Fig. 1. Analysis and selection of territory

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для достижения поставленной цели обоснован выбор территории (рис.1) и реализовано проектирование надземного многоуровневого паркинга в районе станции метро и во взаимном расположении с жилой застройкой, торговыми комплексами и станцией метро, обеспечивая



Рис. 2. План генплан
Fig. 2. General plan

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Отметим, что системы парковки и перехвата (PNR) способствуют уменьшению заторов в густонаселенных городских районах, предоставляя транзитные возможности [30], а «критическими переменными проектирования являются местоположение пересадочных станций, вместимость SAV и соединительные линии пересадочных станций». Для крупного мегаполиса особенно важно стратегическое размещение перехватывающих парковок [31], это позволяет эффективно использовать объектов транспортной среды.

В районе станций метро, пересадочных пунктах особенно остро стоит проблема организации парковочных мест. Сосредоточенность большого количества жилых домов, торговых центров, образовательных учреждений и офисных зданий, обуславливает осложнение проблемы организации удобных и безопасных мест для парковки автомобилей [32]. В настоящей работе выполнен анализ территории в районе станции метро Бабушкинская на северо-востоке Москвы, предложен вариант планирования пространства и проект многоэтажной автостоянки. Важность проблемы обусловлена ограниченностью количества свободных земельных участков под организацию парковок, несоответствием существующей инфраструктуры парковок современным требованиям безопасности и комфорта, на существующих парковках отсутствуют системы видеонаблюдения, освещения

удобный доступ для автомобилистов, предложено введение платной парковки, проанализирован вопрос доступности тарифов и наличия мест для льготных категорий граждан.

Проектирование выполнено с использованием программных продуктов AutoCAD и Revit. Среда BIM Revit синхронизирует общий доступ к файлам. В ходе проектирования выполнена планировка пешеходных зон, детально разработана схема движения, что подтверждено разработкой генплана (рис. 2)

и охраны, автотранспорт жителей Подмосквья припаркован вблизи метро в течение дня во дворах домов. Актуально предоставление парковочных зон рядом с транзитными станциями, имеющих транспортное сообщение в пределах агломерации [33], и организация и проектирование парковки в настоящей работе оправданы.

Основная цель проектирования – создание инфраструктуры для стоянки автомобилей, с целью уменьшения количества машин, оставленных на улицах и во дворах, снижения нагрузки на существующие парковки, что повлияет на общий уровень безопасности, в том числе при организации дорожного движения. Объектом разработки выбрана автоматическая многоэтажная автостоянка. Участок строительства, площадью 0.74 га, расположен в Бабушкинском районе Северо-Восточного административного округа города Москвы, свободен от строений; рельеф незначителен. С запада участок ограничен пешеходной зоной при панельном двенадцатиэтажном жилом доме; с юго-западной и северо-западной сторон – коммерческими зданиями, в пределах 300 м находится станция метро Бабушкинская и остановки автобуса до станции Лосиноостровская, в 600 м – трамвайные остановки до Останкино и Медведково. Проезд автотранспорта осуществляется по двум дублёрам.

Проектируемый объект встраивается в существующую среду, не перекрывая пути потоков пешеходов, располагается в соответствии с благоприятными условиями инсоляции для ближайшего жилого дома на оптимальном расстоянии 30 м. Парковочный объект выполняет

функцию перехватывающего паркинга для временной стоянки, позволяет уменьшить нагрузку на придомовые территории.

Рассмотрим основные проектные решения. Два прямоугольных объёма: первый, одноэтажный, параллелен улице, вмещает помещение сектора ежедневного обслуживания, технического осмотра (ТО) и мелкого технического ремонта (ТР), служебные и бытовые помещения; второй, пятиэтажный – сектор неотапливаемого паркинга, с наибольшей высотной отметкой по парапету +

18.980 м и общей площадью – 480 кв.м (рис.4). Объём установлен на опоры – проезды для автотранспорта (3.6 м), не пересекающиеся с пешеходной зоной. Жесткость здания обеспечивается колоннами, безраскосными фермами, плитами

перекрытия. Перекрытия на отметках +4,480 м, +18,380 м – монолитные, покрытие по стальному профилированному настилу Н114 (рис. 5). Безраскосными фермы перекрывают пролёт 9.2 м.



а) ситуационный план



в) транспортная схема

Рис. 3. Карта-схема района
Fig. 3. Scheme map of the area

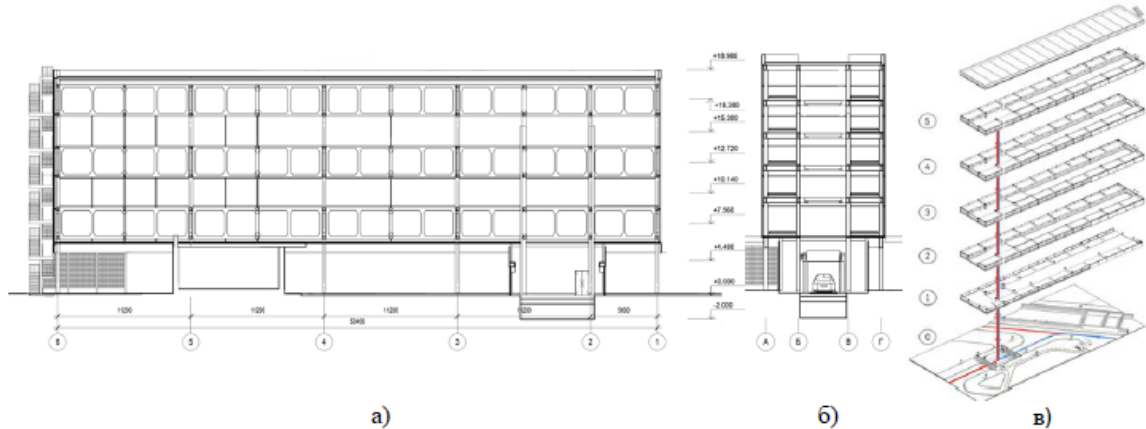


Рис. 4. Пятиэтажный сектор неотапливаемого паркинга:
а) Разрез 1-1, б) Разрез 4-4, в) развернутый план этажей
Fig. 4. Five-story unheated parking sector:
а) Section 1-1, б) Section 4-4, в) Unfolded floors plan

Фасад – металлические гладкие фасадные панели на обрешётке из металлических профилей, соединение «в замок» (рис.5). Кровля плоская со смешанно организованным водостоком. Лестничные марши и площадки – металлическая на косоуре. Светопрозрачные конструкции – структурное остекление с заполнением

атмосферостойким силиконовым герметиком, основа стоично-ригельная система. Таким образом, план первого этажа здания, план типового этажа приведен на рисунке 4, аксонометрия на рис. 5.

Визуализация пространственных решений разработанного проекта многоуровневого перехватывающего паркинга приведена на рис. 6.

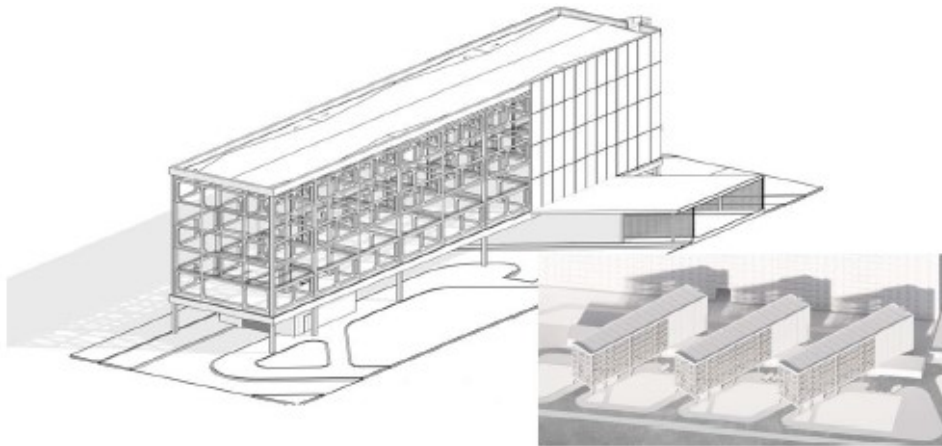
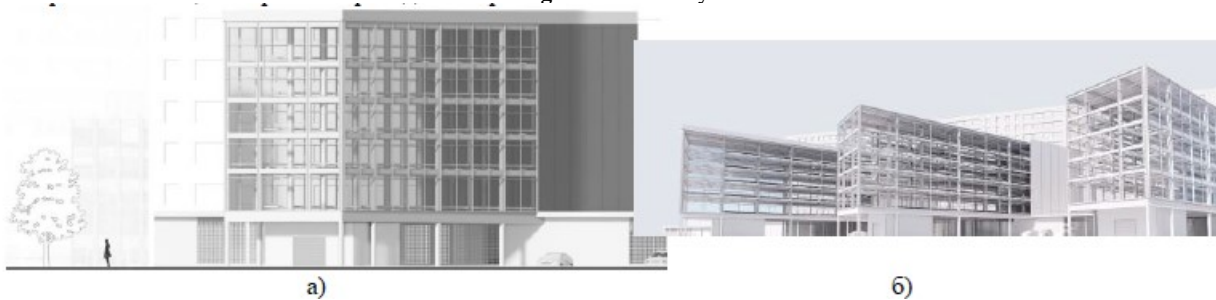


Рис. 5. Аксонометрия

Fig. 5. Axonometry



а)

б)

Рис. 6. Автоматический перехватывающий паркинг:

а) сектор паркинга, б) общий вид

Fig. 6. Automatic intercepting park-and-ride system:

а) parking sector, б) general view

Организация парковочных зон выполнена таким образом, чтобы они были легко доступны для всех категорий пользователей, включая людей с ограниченными возможностями. В ходе проектирования использованы современные технологии и материалы, которые минимизируют негативное воздействие на окружающую среду (рис. 6). Выполнена интеграция с городской инфраструктурой, в том числе с общественным транспортом, созданы условия для удобной пересадки с личного автомобиля на общественный транспорт, что способствует снижению загруженности дорог.

ВЫВОДЫ

Проектирование парковочного пространства выполнено на основе комплексного подхода, учитывающего особенности градостроительной политики, требования жителей района, а также всех участников дорожного движения. В ходе архитектурного проектирования реализованы пространственные решения, предложены характеристики объекта строительства, выбраны современные строительные материалы, инсоляционные решения. Предложенные решения учитывают особенности транспортной схемы рассматриваемого района, при сохранении пешеходной структуры. Строительство данного объекта позволит улучшить транспортную ситуацию, повысить безопасность и комфорт автомобилистов. Использование современных

информационных технологий позволит организовать систему оплаты и контроль наличия свободных мест, забронировать их через мобильное приложение, что упростит процесс поиска парковки и сократит время ожидания. Преимуществом проекта помимо архитектурно-пространственных решений является применение энергосберегающих технологий, например светодиодного освещения, применение экологически чистых строительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Ortega J., Tóth J., Péter T. Planning a Park and Ride System: A Literature Review. *Future Transp.* 2021,1, P. 82 – 98. DOI 10.3390/futuretransp1010006.
- 2.Зюзин П.В. Транспортные системы городов России: современное состояние и перспективы развития: докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. 80 с.
- 3.Стадничук Н.Н. Ямилова В.В. Особенности проектирования парковок в условиях современной городской среды // *История и педагогика естествознания.* 2015. № 4. С. 54 – 56.
- 4.Xia B, Wu J, Wang J, Fang Y, Shen H, Shen J. Sustainable Renewal Methods of Urban Public Parking Spaces under the Scenario of Shared Autonomous Vehicles (SAV): A Review and a Proposal // *Sustainability.* 2021. № 13 (7).

5. Сецков С.А. Принципы организации перехватывающих парковок на примере Новосибирской агломерации // Вестник современных исследований. 2020. № 6-7(36). С. 7 – 9.
6. Николаева Р.В., Попова И.И. Развитие транспортно-пересадочных узлов в г. Казани // Техника и технология транспорта. 2019. № 4(15). С. 14.
7. Аханова А.С., Солодовченко И.Ю. Развитие транспортно-пересадочных узлов в городе Ростова-на-Дону // Мир транспорта и технологических машин. 2018. № 1(60). С. 101 – 106.
8. Приказчиков А.С., Молоканов В.В. Строительство и проектирование многоэтажных паркингов в условиях существующей городской застройки // Инновации и инвестиции. 2020. № 6. С. 243 – 246.
9. Чайко Д.С. Перехватывающие парковки и гаражные комплексы в структуре современного города // Естественные и технические науки. 2015. № 6(84). С. 607 – 617.
10. Годнев А.А. Перехватывающие парковки как способ борьбы с транспортной загруженностью мегаполиса // Системный анализ и логистика. 2020. № 4(26). С. 115 – 121. DOI 10.31799/2007-5687-2020-4-115-121.
11. Харламова П.И. Развитие дорожной инфраструктуры города Москвы путем инновационного подхода к застройке парковочного пространства методом поэтажной конструкции // Инновации и инвестиции. 2024. № 5. С. 636 – 638.
12. Николаева Р.В., Ершова А.Н. Повышение эффективности работы улично-дорожной сети путем создания системы "перехватывающих" парковок // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. № 1(79). С. 2 – 4.
13. Кожокару Т.В., Диндиенко М.П. Использование подземного пространства при проектировании транспортно-пересадочного узла // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. 2018. № 1. С. 203 – 205.
14. Goel R.K., Singh B., Zhao J., Underground Infrastructures, Planning, Design, and Construction. Butterworth-Heinemann, 2012. 352 p.
15. Bobylev N. Underground space as an urban indicator: Measuring use of subsurface, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 55, 2016, P. 40-51, DOI 10.1016/j.tust.2015.10.024.
16. Cao S-J., Leng J., Qi D., Kumar P., Chen T., Sustainable underground spaces: Design, environmental control and energy conservation, Energy and Buildings, Vol. 257, 2022, 111779, DOI 10.1016/j.enbuild.2021.111779.
17. Манухина Л.А. О проблемах создания современного парковочного пространства в России и за рубежом // Экономика и предпринимательство. 2017. № 9-4(86). С. 1017 – 1021.
18. Демьянович Н.С. Многоуровневые парковочные сооружения: тенденции организации // Архитектура: Сборник научных трудов. Минск : Белорусский национальный технический университет, 2024. С. 193 – 199.
19. Малышева Е.В. Место автостоянки в будущих транспортных системах // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство : сборник статей 79-й всероссийской научно-технической конференции, Самара: Самарский государственный технический университет, 2022. С. 435 – 440.
20. Малышева Е.В. Особенности проектирования адаптивных автостоянок // Приволжский научный журнал. 2021. №2 (58). С. 182 – 187.
21. Дуванова И.А. Автомобильные стоянки и парковки в мегаполисах // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 12(39). С. 43 – 56.
22. Хорошавина К.А., Захарова Е.В. Обзор зарубежных проектов внедрения Интернета вещей для городской среды // Молодежный научный вестник. 2017. № 4(16). С. 143 – 149.
23. Утегелова К.М. Технология умной парковки с применением нейронной сети // II Международная научная конференция по междисциплинарным исследованиям: сборник статей, Екатеринбург: Общество с ограниченной ответственностью "Институт Цифровой Экономики и Права", 2023. С. 189 – 191.
24. Баязитов Ф.А., Баязитов Г.А., Филиппов В.Н., Филиппова К.В. Анализ современных технологий умных парковок // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2023. № 2(23). С. 39 – 46.
25. Henry E., Furno A., El Faouzi N-E, Rey D., Locating park-and-ride facilities for resilient on-demand urban mobility, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 158, 2022, 102557, DOI 10.1016/j.tre.2021.102557.
26. Nakamura A., Ferracina F., Sakata N., Noguchi T., Ando H., Reducing Total Trip Time and Vehicle Emission through Park-and-Ride – methods and case-study, Journal of Cleaner Production, Vol. 493, 2025, 144860, DOI 10.1016/j.jclepro.2025.144860.
27. Пьянкова С.Г., Заколюкина Е.С. Управление цифровой транспортной инфраструктурой региона // Управление. 2024. Т. 15, № 1. С. 70 – 82. DOI 10.29141/2218-5003-2024-15-1-5.
28. Мачерет Д.А., Ледней А.Ю. Перспективы развития транспортной инфраструктуры // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 5(78). С. 16 – 22.
29. Власов Д.Н., Данилина Н.В. Современное состояние и перспективы развития системы перехватывающих парковок в московской агломерации // Градостроительство. 2014. № 4(32). С. 36 – 39.
30. Bahk Y., Hyland M., An S., Re-envisioning the Park-and-Ride concept for the automated vehicle (AV) era with Private-to-Shared AV transfer stations, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 181, 2024, 104009, DOI 10.1016/j.tra.2024.104009.
31. Rezaei S, Khojandi A, Haque A.M., Brakewood C., Jin M., Cherry C.R., Park-and-ride facility location

optimization: A case study for Nashville, Tennessee, Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, Vol. 13, 2022, 100578, DOI 10.1016/j.trip.2022.100578.

32. Гузенко А.В. Развитие городского пассажирского транспорта мегаполиса: проблемы и перспективы // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 321. С. 135 – 138.

33. Zhao X., Chen P., Jiao J., Chen X., Bischak C., How does 'park and ride' perform? An evaluation using longitudinal data, Transport Policy, Vol. 74, 2019, P. 15 – 23, DOI 10.1016/j.tranpol.2018.11.004.

REFERENCES

1. Ortega J., Tóth J., Péter T. Planning a Park and Ride System: A Literature Review. Future Transp. 2021,1, P. 82 – 98. DOI 10.3390/futuretransp1010006.

2. Zjuzin P.V. Transport systems of Russian cities: current status and development prospects: dokl. k XXIII Jasinskoy (Aprel'skoj) mezhdunar. nauch. konf. po problemam razvitiya jekonomiki i obshhestva, M.: Izd. dom Vyshey shkoly jekonomiki, 2022. 80 p.

3. Stadnichuk N.N. Jamilova V.V. Features of parking design in a modern urban environment // Istorija i pedagogika estestvoznaniya. 2015. № 4. P. 54 – 56.

4. Xia B, Wu J, Wang J, Fang Y, Shen H, Shen J. Sustainable Renewal Methods of Urban Public Parking Spaces under the Scenario of Shared Autonomous Vehicles (SAV): A Review and a Proposal // Sustainability. 2021. № 13 (7).

5. Seckov S.A. Principles of organizing intercepting parking using the example of the Novosibirsk agglomeration // Vestnik sovremennyh issledovaniy. 2020. № 6-7(36). P. 7 – 9.

6. Nikolaeva R.V., Popova I.I. Development of transport hubs in Kazan // Tehnika i tehnologija transporta. 2019. № 4(15). P. 14.

7. Ahanova A.S., Solodovchenko I.Ju. Development of transport hubs in Rostov-on-Don // Mir transporta i tehnologicheskikh mashin. 2018. № 1(60). P. 101 – 106.

8. Prikazchikov A.S., Molokanov V.V. Construction and design of multi-storey parking garages in the existing urban environment // Innovacii i investicii. 2020. № 6. P. 243 – 246.

9. Chajko D.S. Park-and-ride facilities and garage complexes in the structure of a modern city // Estestvennye i tehnicheskie nauki. 2015. № 6(84). P. 607 – 617.

10. Godnev A.A. Park and ride facilities as a way to combat traffic congestion in the metropolis // Sistemnyy analiz i logistika. 2020. № 4(26). P. 115 – 121. DOI 10.31799/2007-5687-2020-4-115-121.

11. Harlamova P.I. Development of Moscow's road infrastructure through an innovative approach to parking space development using a floor-by-floor construction method // Innovacii i investicii. 2024. № 5. P. 636 – 638.

12. Nikolaeva R.V., Ershova A.N. Improving the efficiency of the street and road network by creating a system of "intercepting" parking // Nauka i tehnika v dorozhnoy otrasli. 2017. № 1(79). P. 2 – 4.

13. Kozhokaru T.V., Dindienko M.P. Using underground space in the design of a transport hub // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. I.I. Polzunova. 2018. № 1. P. 203 – 205.

14. Goel R.K., Singh B., Zhao J., Underground Infrastructures, Planning, Design, and Construction. Butterworth-Heinemann, 2012. 352 p.

15. Bobylev N. Underground space as an urban indicator: Measuring use of subsurface, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 55, 2016, P. 40-51, DOI 10.1016/j.tust.2015.10.024.

16. Cao S.-J., Leng J., Qi D., Kumar P., Chen T., Sustainable underground spaces: Design, environmental control and energy conservation, Energy and Buildings, Vol. 257, 2022, 111779, DOI 10.1016/j.enbuild.2021.111779.

17. Manuhina L.A. On the challenges of creating modern parking spaces in Russia and abroad // Jekonomika i predprinimatel'stvo. 2017. № 9-4(86). P. 1017 – 1021.

18. Dem'janovich N.S. Multi-level parking structures: organizational trends // Arhitektura: Sbornik nauchnyh trudov. Minsk : Belorusskij nacional'nyj tehnicheskij universitet, 2024. P. 193 – 199.

19. Malysheva E.V. The Place of Parking in Future Transport Systems // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Arhitektura i gradostroitel'stvo : sbornik statej 79-j vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Samara: Samarskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet, 2022. P. 435 – 440.

20. Malysheva E.V. Design Features of Adaptive Parking // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2021. № 2 (58). P. 182 – 187.

21. Duvanova I.A. Parking lots and parking in megacities // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2015. № 12(39). P. 43 – 56.

22. Horoshavina K.A., Zaharova E.V. A review of international projects implementing the Internet of Things in the urban environment // Molodezhnyj nauchnyj vestnik. 2017. № 4(16). P. 143 – 149.

23. Utegelova K.M. Smart parking technology using neural networks // II Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija po mezhdisciplinarnym issledovanijam: sbornik statej, Ekaterinburg: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "Institut Cifrovoj Jekonomiki i Prava", 2023. P. 189 – 191.

24. Bajazitov F.A., Bajazitov G.A., Filippov V.N., Filippova K.V. Analysis of modern smart parking technologies // Informacionnye tehnologii. Problemy i reshenija. 2023. № 2(23). P. 39 – 46.

25. Henry E., Furno A., El Faouzi N-E, Rey D., Locating park-and-ride facilities for resilient on-demand urban mobility, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 158, 2022, 102557, DOI 10.1016/j.tre.2021.102557.

26. Nakamura A., Ferracina F., Sakata N., Noguchi T., Ando H., Reducing Total Trip Time and Vehicle Emission through Park-and-Ride – methods and case-study, Journal of Cleaner Production, Vol. 493, 2025, 144860, DOI 10.1016/j.jclepro.2025.144860.

27. P'jankova S.G., Zakoljukina E.S. Management of the region's digital transport infrastructure //

Upravlenec. 2024. Т. 15, № 1. P. 70 – 82. DOI 10.29141/2218-5003-2024-15-1-5.

28. Macheret D.A., Lednej A.Ju. Prospects for the development of transport infrastructure // Transport Rossijskoj Federacii. 2018. № 5(78). P. 16 – 22.

29. Vlasov D.N., Danilina N.V. The current state and development prospects of the intercepting parking system in the Moscow agglomeration // Gradostroitel'stvo. 2014. № 4(32). P. 36 – 39.

30. Bahk Y., Hyland M., An S., Re-envisioning the Park-and-Ride concept for the automated vehicle (AV) era with Private-to-Shared AV transfer stations, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 181, 2024, 104009, DOI 10.1016/j.tra.2024.104009.

31. Rezaei S, Khojandi A, Haque A.M., Brakewood C., Jin M., Cherry C.R., Park-and-ride facility location optimization: A case study for Nashville, Tennessee, Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, Vol. 13, 2022, 100578, DOI 10.1016/j.trip.2022.100578.

32. Guzenko A.V. Development of urban passenger transport in a megacity: problems and prospects // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2009. № 321. P. 135 – 138.

33. Zhao X., Chen P., Jiao J., Chen X., Bischak C., How does 'park and ride' perform? An evaluation using longitudinal data, Transport Policy, Vol. 74, 2019, P. 15 – 23, DOI 10.1016/j.tranpol.2018.11.004.

ORGANIZATION AND DESIGN OF MULTI-LEVEL PARKING COMPLEXES IN THE CONDITIONS OF AN URBAN AGGLOMERATION

Mokrova¹ N.V., Mokrova² M.M.

¹Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 117997, mokrovanv55@gmail.com

²Moscow Architectural Institute, 11/4 Rozhdestvenka Street, Moscow, 107031, margarita_m_m@mail.ru

Abstract. The article discusses the design of parking spaces, which are based on a comprehensive approach that takes into account the specifics of urban planning policy, the requirements of the residents of the area, and all road users. During the architectural design process, spatial solutions were implemented, the characteristics of the construction site were proposed, and modern construction materials and insulation solutions were selected. The article suggests organizing parking areas in a way that is easily accessible to all users, including people with disabilities, and using modern technologies and materials that minimize the negative impact on the environment.

Subject: This study completed the organization of parking areas in large cities and agglomerations, a key challenge in modern urban planning. The article examines alternative approaches to parking management, considering the specifics of urban development policy and transport operators. A comparative analysis of domestic and international experience in organizing intercepted parking is provided, reflecting promising trends in the development of multi-level parking structures, considering development requirements, integration with transport networks, and advanced technologies.

Materials and methods: The authors propose sound design solutions for organizing a manageable multi-level parking complex in Moscow's urban areas. Territorial planning and parking space organization, as well as architectural design, were completed using information modeling technologies, AutoCAD, Revit software products, and the BIM-Revit environment for synchronizing access to files.

Results: The author's design provides for the appropriate location of the parking complex relative to public transport stops and high-traffic areas, considering modern design and engineering solutions. Based on a situational analysis and a transportation plan, a master plan was substantiated, and detailed floor plans, sections, and projections were developed and visualized, along with renderings. A rationale was given to the idea of automating the parking process, including the implementation of mobile apps for all parking spaces and electronic money systems to facilitate their use and payment for traffic within the transportation network.

Conclusions: Emphasis was placed on the selection of spatial and architectural solutions for park-and-ride parking, zoning and spatial organization methods, ease of use of parking zones, integration with public transportation, the use of modern materials, safety, insulation, and, thus, fundamental sustainability.

Key words: architectural design, automatic multi-story car park, intercepting parking

Раздел 2. Строительство

УДК 691.542

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДОНБАССА

Зайченко¹ Н.М., Лахтарина² С.В., Лахтарина³ Н.Н.

«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» -
филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2,
e-mail: ¹n.m.zaichenko@donnasa.ru; ²s.v.lahtarina@donnasa.ru; ³n.n.lahtarina@donnasa.ru

Аннотация. Рассмотрены актуальные направления рационального использования ресурсов при разработке составов композиционных вяжущих с минеральными добавками техногенного происхождения с целью снижения энергоёмкости и обеспечения экологической безопасности производства портландцемента. Исследована возможность замены до 70 % портландцемента комплексом минеральных добавок на основе отвалных золошлаковых отходов ТЭС, а также пыли цементных печей. Исследован гранулометрический состав пыли цементных печей и золошлаковых отходов ТЭС. Проведена оптимизация составов композиционных вяжущих по критериям предела прочности при сжатии в раннем (2 суток) и в марочном возрасте при твердении в нормальных условиях. Выполнен рентгенофазовый анализ образцов камня вяжущего в возрасте 28 суток твердения в нормальных условиях. Полученные результаты могут представлять интерес для практической реализации задачи снижения выбросов углекислого газа, ресурсо- и энергосбережения, при применении композиционного вяжущего с добавками на основе пыли цементных печей и отвальными золошлаковыми смесями ТЭС.

Предмет исследования: пуццолановая активность комплекса минеральной добавки на основе золошлаковых отходов ТЭС и пыли цементной печи в составе композиционного вяжущего при частичной замене портландцемента.

Материалы и методы: для выполнения экспериментальных исследований в качестве исходных компонентов применялись следующие материалы: вяжущее – портландцемент первого типа (ПЦ) ЦЕМ I 42,5 Н, ЗАО «Угледорск-Цемент», соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2020; минеральные добавки: золошлаковая смесь (ЗШС) из отвалов Зуевской ТЭС ГУП ДНР «Энергия Донбасса»; пыль цементных печей Амвросиевского цементного завода (ПЦП) ООО «ПИК-Цемент» ДНР; суперпластификатор (СП) Master Glenium ACE 430 – водный раствор модифицированных поликарбоксилатов, плотность 1,08 кг/л. Анализ гранулометрического состава пыли цементных печей и минеральной добавки из отсева золошлаковых отходов ТЭС проводился методом лазерной дифракции на анализаторе размера частиц «Ласка-ГД». Анализ распределения частиц – теория Ми, приближение Фраунгофера. Рентгенофазовый анализ образцов камня вяжущего выполнен при условиях съемки дифрактограмм (одинаковые для всех образцов): хром излучение Cr (2,2910 Å) в диапазоне углов $10 < 2\theta < 100^\circ$ с шагом $0,01^\circ$. Оптимизацию состава камня вяжущего с минеральной добавкой, полученной рассевом золошлаковой смеси ТЭС, пылью цементных печей и суперпластификатором Glenium Ace 430, выполнена с использованием полного трехфакторного эксперимента с уровнями варьирования -1, 0, +1. Регрессионный анализ математических моделей, построение поверхностей функции отклика осуществлены на ПЭВМ с использованием программы «MatchCAD». Исследования технологических свойств и прочностных показателей вяжущих композиций проводились по стандартным методикам.

Результаты: разработаны составы композиционного вяжущего с комплексом минеральных добавок на основе пыли цементных печей и золошлаковых смесей из отвалов ТЭС при частичной замене портландцемента до 70 %, характеризующиеся текучестью цементного теста по расплыву конуса диаметром не менее 300 мм и показателями предела прочности при сжатии цементного камня с в раннем возрасте (2 суток) не менее 18 МПа, в проектом возрасте не менее 45 МПа при твердении в нормальных условиях. Установлено, что на увеличение показателя прочности при сжатии цементного камня в раннем возрасте наибольшее влияние оказывают содержание пыли цементных печей в комплексе минеральной добавки. Вероятнее всего, это объясняется более высокой щелочностью среды и интенсификацией процесса гидратации вяжущего. По результатам рентгенофазового анализа образцов камня вяжущего в возрасте 28 суток нормального твердения наблюдается повышение интенсивности дифракционных отражений гидросиликатов кальция с одновременным уменьшением интенсивности дифракционных отражений исходных клинкерных минералов, а также портландита, что свидетельствует о высокой пуццолановой активности комплексной минеральной добавки в составе вяжущего.

Выводы: получены композиционные вяжущие вещества с высоким уровнем (до 70 %) замещения портландцемента минеральными добавками на основе отходов промышленности. В дальнейшем исследования будут направлены на изучение закономерностей формирования структуры гибридного вяжущего при дополнительной щелочной активации разработанных составов.

Ключевые слова: композиционные вяжущие, пыль цементных печей, золошлаковые отходы ТЭС, оптимизация.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивный рост объёмов строительно-монтажных работ, обусловленный необходимостью обеспечения населения, в том числе, качественным жильем, формирует повышенный спрос на

минеральные вяжущие вещества, являющиеся ключевыми компонентами бетонных смесей. Производство портландцемента характеризуется высокой энергоёмкостью, включая использование минерального сырья; топливные ресурсы; энергетические мощности, и занимает третью позицию в рейтинге энергозатратных

промышленных процессов, следуя за металлургическими предприятиями производства стали и алюминия. В то же время, в процессе изготовления тонны портландцемента происходит эмиссия приблизительно тонны диоксида углерода (CO_2) в атмосферный воздух. Основным источником таких выбросов – термическая обработка клинкера в ходе высокотемпературного обжига, как правило не ниже 1450°C , во вращающихся печах, что обусловлено протеканием физико-химических реакций и формированию клинкерных минералов.

Взаимосвязь цементной промышленности и изменения состояния окружающей среды, обусловленная совокупным воздействием эмиссионных загрязнителей и ограниченностью экологических резервов экосистем, актуализирует необходимость комплексного подхода к рациональному использованию материально-энергетических ресурсов. Важным направлением в решении данных проблем является разработка композиционных цементов, содержащих в своем составе различные минеральные добавки как природного, так и техногенного происхождения. Ежегодный выход минеральных отходов промышленности на различных предприятиях составляет миллионы тонн в год. К таким производствам относятся тепловые электростанции, предприятия угледобычи, камнедробления, отрасль строительства, в том числе производство цемента, металлургическое производство и др.

Оптимизация составов композиционных вяжущих с минеральными добавками, в том числе с включением техногенных отходов, может обеспечить синергетический эффект при формировании матрицы цементного камня. С научной точки зрения это стимулирует развитие исследований в области многокомпонентных композиционных цементов, а также дальнейшее изучение эксплуатационных характеристик бетонов на основе таких вяжущих систем.

На территории Донецкой Народной Республики основной объем промышленных отходов представлен различными отвалами отходов металлургической и угледобывающей промышленности.

Таким образом, в связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования является установление возможности замены части портландцемента отвальными золошлаковыми отходами ТЭС и пылью цементных печей в качестве минеральной добавки – щелочного активатора, а также определение основных свойств полученных вяжущих систем.

Задачи исследования: выполнить химический анализ пыли цементной печи; определить гранулометрический состав пыли цементных печей и золошлаковых отходов ТЭС; выполнить оптимизацию составов вяжущих с комплексом минеральных добавок, золошлаковой смеси ТЭС, пыли цементных печей и суперпластификатором Glenium Ace 430 по критериям предела прочности

при сжатии в раннем (2 суток) и в марочном возрасте.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В последнее время, учитывая большое количество накопленных побочных отходов промышленности, особенно актуальным является вопрос разработки новых видов вяжущих веществ с комплексом минеральных добавок, в том числе на основе техногенного происхождения. Однако, такие разработанные вяжущие, как правило, содержат в своем составе суммарно около 10-30% минеральных добавок на основе отходов промышленности [1]. С другой стороны, применение большего количества минеральных добавок – это разработка составов щелочных вяжущих или геополимеров, которые в настоящее время исследуют и внедряют в промышленное производство большое число специалистов во всем мире, получаемые при обработке щелочами или кислотами природных или техногенных алюмосиликатных материалов – метакаолина, полевого шпата, а также различных шлаков, зол и др. [2].

Другой разновидностью геополимерных вяжущих является разрабатываемое в последние годы перспективное направление в области создания гибридных вяжущих систем на основе смеси портландцемента с отходами добычи и переработки различных техногенных отходов промышленности. Эти вяжущие системы с низким содержанием портландцемента, как правило, не более 30 % и значительно более высоким содержанием минеральных добавок алюмосиликатов (преимущественно, золы уноса), чем в пуццолановых цементах IV типа [3-5]. В качестве щелочного компонента в таких системах в основном применяется сильнощелочной раствор, используемый вместо воды затворения – твердое вещество или растворенное соединение систем Na/K. Кроме того, в случае применения золы-уноса ТЭС, в таких системах требуется высокая температура при твердении (от 60 до 90°C) для обеспечения протекания щелочной реакции [6].

Пыль цементных печей является отходом производства портландцементного клинкера, которая состоит из дисперсных частиц, улавливаемых электрофильтрами при очистке уходящих газов. Пыль цементных печей представляет собой смесь исходного сырья, частично обожженного цементного клинкера и конденсированных солей [7]. Пыль цементных печей содержит значительное количество щелочей, которые улетучиваются в зоне горения и конденсируются на частицах пыли [8]. На химический состав пыли печей влияет размер частиц, уносимых печными газами. Согласно [9] цементная пыль представлена в основном такими оксидами, %: SiO_2 – 12,2; Al_2O_3 – 3,2; Fe_2O_3 – 1,8; CaO – 34,8; Na_2O – 1,6; K_2O – 7,5; SO_3 – 10,6; содержание хлора – 2,8.

Многочисленные исследования [10-12] показывают, что пыль цементных печей может действовать как щелочной активатор для различных минеральных компонентов, таких как молотый доменный гранулированный шлак, зола-уноса ТЭС, позволяя получать вяжущие вещества с показателем прочности от 20 до 40 МПа. При этом растворимость элементов *Si*, *Ca*, *Al* и *Mg* в структуре минеральных компонентов в цементной матрице зависит от *pH* среды [13]. Коллективом авторов [14] исследовано использование пыли цементных печей в качестве частичной замены портландцемента и одновременно щелочного активатора для золы и шлаков. Результаты исследований показывают, что замена цемента пылью цементных печей не приводит к снижению прочностных характеристик бетонов. В то же время, содержание пыли в разработанных составах было минимальным и составляло от 5 до 8 %.

Кроме того, отмечено [15], что свойства, особенно, химический состав пыли цементных печей играет существенную роль в механизме гидратации вяжущего, что отображается на составе продуктов гидратации и влияет на прочностные характеристики цементного камня. Так, начальная концентрация щелочей (в пересчете на $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) и наличие сульфатов в пыли считаются критически важными для активации шлаковой составляющей [16]. Кинетика гидратации, состав продуктов гидратации и, как результат, прочностные характеристики в основном определяются содержанием свободного оксида кальция, а также щелочностью среды, что, в свою очередь, стимулирует пуццоланические реакции силикатных и алюмосиликатных материалов, которые при соединении с пылью цементных печей и водой образуют вяжущие вещества [17].

В исследованиях [18] установлено, что для активации доменного гранулированного шлака можно использовать высокощелочную среду, формируемую добавкой обожженной пыли цементных печей с сульфатом кальция. Активация шлака ангидритом приводит к образованию этtringита на ранних стадиях гидратации. На более поздних стадиях гидратации образуется CSH (тоберморитоподобная фаза). Скорость реакции была изучена с использованием химических методов, дифференциально-термического и рентгенофазового анализа. Активация шлака усиливается с повышением температуры обжига, а также с увеличением содержания ангидрита в системе.

Ряд исследователей [19-23] изучали роль пыли цементных печей, в том числе, как щелочного активатора в композиционных вяжущих системах с добавлением микрокремнезема, молотого кварца, известняка, доменного гранулированного шлака, золы-уноса ТЭС и др. Добавление пыли цементных печей в качестве компонента композиционного вяжущего в количестве от 10 до 20 %, активизирует процесс гидратации, способствует повышению прочностных характеристик камня вяжущего в

марочном возрасте вследствие реакций гидратации, а также накопления продуктов гидратации в порах, заполненных водой. В то же время, добавление пыли цементных печей приводит к повышению водопотребности таких композиционных вяжущих, что, в свою очередь, обуславливает необходимость применения водоредуцирующих химических добавок. Следует также отметить, что наличие в составе пыли соединений хлора исключает ее применение в армированном бетоне [15]. Кроме того, ввиду повышенного содержания щелочей, а также образующихся в достаточно больших количествах этtringита и гидрохлоралюмината кальция, необходимо провести дополнительные исследования по коррозионной стойкости и долговечности бетонов, содержащих цементную пыль.

В проведенных ранее исследованиях влияния частичной замены портландцемента золошлаковыми отходами Зуевской ТЭС в количестве 10-20 %, наблюдается замедление кинетики роста предела прочности при сжатии цементного камня в раннем возрасте твердения при нормальных условиях на 6-19 %, что, вероятнее всего, связано с замедлением скорости гидратации вяжущих [24]. На основании вышеизложенного, целью настоящего исследования является установление возможности замены части портландцемента отвальными золошлаковыми отходами ТЭС совместно с пылью цементных печей в качестве минеральной добавки-щелочного активатора золошлаковой составляющей, а также определение основных свойств полученных вяжущих систем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выполнения экспериментальных исследований в качестве исходных компонентов применялись следующие материалы:

- вяжущее – портландцемент первого типа (ПЦ) ЦЕМ I 42,5 Н, ЗАО «Углегорск-Цемент», соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2020;
- минеральные добавки:
- золошлаковая смесь (ЗШС) из отвалов Зуевской ТЭС ГУП ДНР «Энергия Донбасса»;
- пыль цементных печей (ПЦП) Амвросиевского цементного завода, ООО «ПИК-Цемент» ДНР;
- химические модификаторы: суперпластификатор (СП) Master Glenium ACE 430
- водный раствор модифицированных поликарбоксилатов, плотность 1,08 кг/л.

Методом рассева исходной отвальной золошлаковой смеси согласно ГОСТ 25592-2019 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия» был получен тонкодисперсный материал на основе зольной составляющей (фракция менее 0,315 мм), и последующего использования в качестве минеральной добавки для цемента.

Анализ гранулометрического состава пыли цементных печей, а также минеральной добавки из отсева золошлаковых отходов ТЭС проводился методом лазерной дифракции – на анализаторе размера частиц «Ласка-ГД». Анализ распределения частиц – теория Ми, приближение Фраунгофера; источник света – лазерный диод (670 нм, Р < 10 мВт); время диспергирования – 60 с.

Рентгенофазовый анализ образцов камня вяжущего выполнен при условиях съемки дифрактограмм (одинаковые для всех образцов): хром излучение Cr (2,2910 Å) в диапазоне углов $10 < 2\theta < 100^\circ$ с шагом $0,01^\circ$. Рентгенофазовый анализ пыли цементных печей выполнен при условиях съемки дифрактограмм: кобальтовое излучение $CoKa$ (1,78896 Å) в диапазоне углов $10 < 2\theta < 100^\circ$ с шагом $0,01^\circ$.

Оптимизация состава камня вяжущего с минеральной добавкой, полученной рассевом золошлаковой смеси ТЭС, пылью цементных печей и суперпластификатором Glenium Ace 430 выполнена с использованием полного трехфакторного эксперимента с уровнями варьирования -1, 0, +1. Регрессионный анализ математических моделей, построение поверхностей функции отклика осуществлены на ПЭВМ с использованием программы «MatchCAD».

Исследования технологических свойств цементного теста, а также прочностных показателей камня вяжущего проводились по стандартным методикам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Химический анализ золошлаковых отходов Зуевской ТЭС показывает, что материал преимущественно состоит из оксидов кремния, алюминия и железа, а также оксида кальция в нормируемых показателях для кислых зол (таблица 1).

Гранулометрический анализ частиц пыли цементных печей (рисунок 1) свидетельствует о наличии размеров частиц в диапазоне: 2-5 мкм – 12,16 %; 5-10 мкм – 45,15 %; 10-50 мкм – 42,45 %. В то же время, гранулометрический анализ полученной минеральной добавки на основе отвала золошлаковой смеси (рисунок 1) позволяет установить распределение частиц следующем диапазоне: 2-5 мкм – 1,59 %; 5-10 мкм – 24,55 %; 10-50 мкм – 73,59 %.

По результатам данных РФА (рисунок 2) установлено, что кристаллическая фаза пыли цементной печи в основном представлена кварцем, известняком, минералом гидроалюмосиликата кальция, а также небольшим количеством оксида кальция. Таким образом согласно [11], наличие в пыли цементной печи CaO , будет способствовать протеканию пуццолановой реакции с алюмосиликатными составляющими золошлаковой минеральной добавки в щелочной среде.

Таблица 1. Содержание химических оксидов в золошлаковой смеси ТЭС

Table 1. Chemical compound of ash-slag mixture from a thermal power plant

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	ППП
53,44	23,40	8,31	1,66	1,35	0,17	0,26	2,87	0,62	0,98	6,92

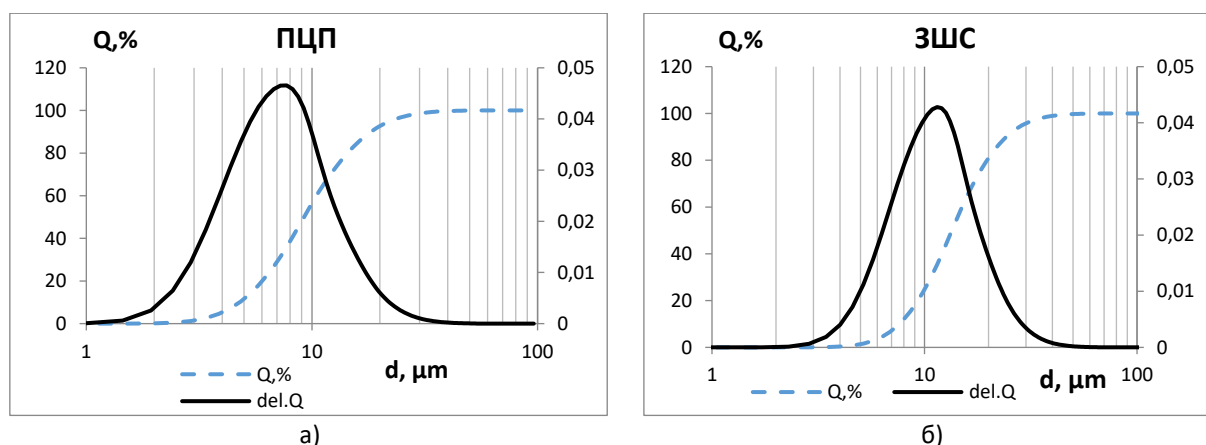


Рис. 1. Гранулометрический состав частиц пыли цементных печей (а) и золошлаковой смеси ТЭС (б)
Fig. 1. Granulometric composition of cement kiln dust (a) and ash-slag mixture from a thermal power plant (b)

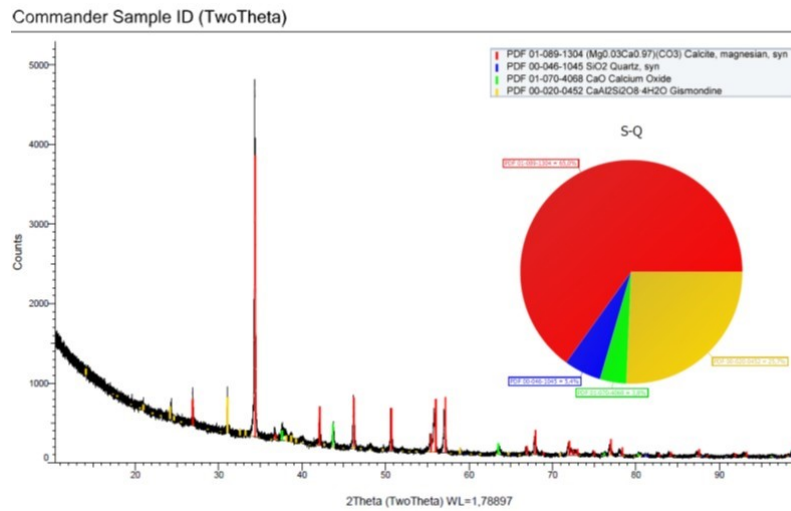


Рис. 2. Рентгенограммы образцов пыли цементных печей
Fig. 2. X-ray patterns of the cement kiln dust samples (ПЦП)

Оптимизация состава камня вяжущего с минеральной добавкой, полученной рассевом золошлаковой смеси ТЭС, пылью цементных печей и суперпластификатором Glenium Ace 430 выполнена с использованием полного трехфакторного эксперимента с уровнями варьирования $-1, 0, +1$.

В качестве частичной замены портландцемента в количестве 70 % применялась комбинированная минеральная добавка на основе пыли цементной печи и золошлаковой смеси. Параметры оптимизации и значение факторов варьирования

приведены соответственно в таблицах 2 и 3. Регрессионный анализ математических моделей, построение поверхностей функции отклика осуществлено на ПЭВМ с использованием программы "MatchCAD". Матрица планирования, составы и результаты эксперимента приведены в таблице 4. Все составы, кроме контрольного состава К1 были приготовлены с одинаковым значением водовяжущего соотношения – 0,2. Контрольный состав К1 приготовлен с водоцементным соотношением 0,25, что соответствует показателю нормальной густоты цементного теста.

Таблица 2. Параметры оптимизации состава вяжущего и их граничные значения
Table 2. Optimization parameters for the composition of cement and their boundary values

Код параметра оптимизации	Физический смысл параметра оптимизации	Единица измерения	Граничное значение функции отклика
Y_1	Предел прочности при сжатии образцов цементного камня в возрасте 2 суток твердения в нормальных условиях	МПа	Не менее 15
Y_2	Предел прочности при сжатии образцов цементного камня в возрасте 28 суток твердения в нормальных условиях	МПа	Не менее 42,5
Y_3	Диаметр расплыва цементного теста	мм	Не менее 300

Таблица 3. Значения факторов варьирования
Table 3. Values of the variation factors

Код фактора	Физический смысл фактора	Единица измерения	Интервал варьирования	Уровни фактора		
				-1	0	+1
X_1	Содержание добавки суперпластификатора (% от массы вяжущего)	%	0,2	0,8	1	1,2
X_2	Доля пыли цементных печей в добавке	%	10	20	30	40

Разработаны составы вяжущего, обеспечивающие получение цементного теста с диаметром расплыва не менее 300 мм и цементного камня с показателем предела прочности при сжатии в раннем возрасте (2 суток) не менее 18 МПа, а также в проектном возрасте не менее 45 МПа (рисунок 3). Установлено, что на повышение показателя прочности цементного камня в раннем возрасте наибольшее влияние

оказывает содержание пыли цементных печей в составе минеральной добавки. Увеличение расхода пыли цементных печей, со снижением расхода добавки суперпластификатора существенно повышает предел прочности при сжатии цементного камня в раннем возрасте. Это, вероятнее всего, объясняется более высокой щелочностью среды и интенсификацией процесса гидратации.

Таблица 4. Матрица планирования и результаты эксперимента
Table 4. Planning matrix and experimental results

№	Кодированное значение факторов		Натуральное значение факторов		Расход компонентов, кг (л)					Y ₁ , МПа	Y ₂ , МПа	Y ₃ , мм
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	ПЦ	СП	ПЦП	ЗЩС	В			
1	-1	-1	0,8	20	450	58	210	840	242	22,32	46,7	334
2	+1	-1	1,2	20	450	86	210	840	214	18,1	47,5	368
3	-1	+1	0,8	40	450	58	420	630	242	20,8	54,31	360
4	+1	+1	1,2	40	450	86	420	630	214	18,95	47,15	320
5	0	0	1	30	450	72	315	735	228	18,82	45,75	308
K1	-	-	0	-	1500	-	-	-	375	26,8	56,5	НГ*
K2					1500	58			242	48,28	72,5	305

$$Y_1 = 20.03 - 1.53 \times x_1 - 0.15 \times x_2 + 0.61 \times x_1 \times x_2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 48.89 - 1.58 \times x_1 + 1.83 \times x_2 - 1.99 \times x_1 \times x_2 \quad (2)$$

$$Y_3 = 345.3 - 1.37 \times x_1 - 4.65 \times x_2 - 18.85 \times x_1 \times x_2 \quad (3)$$

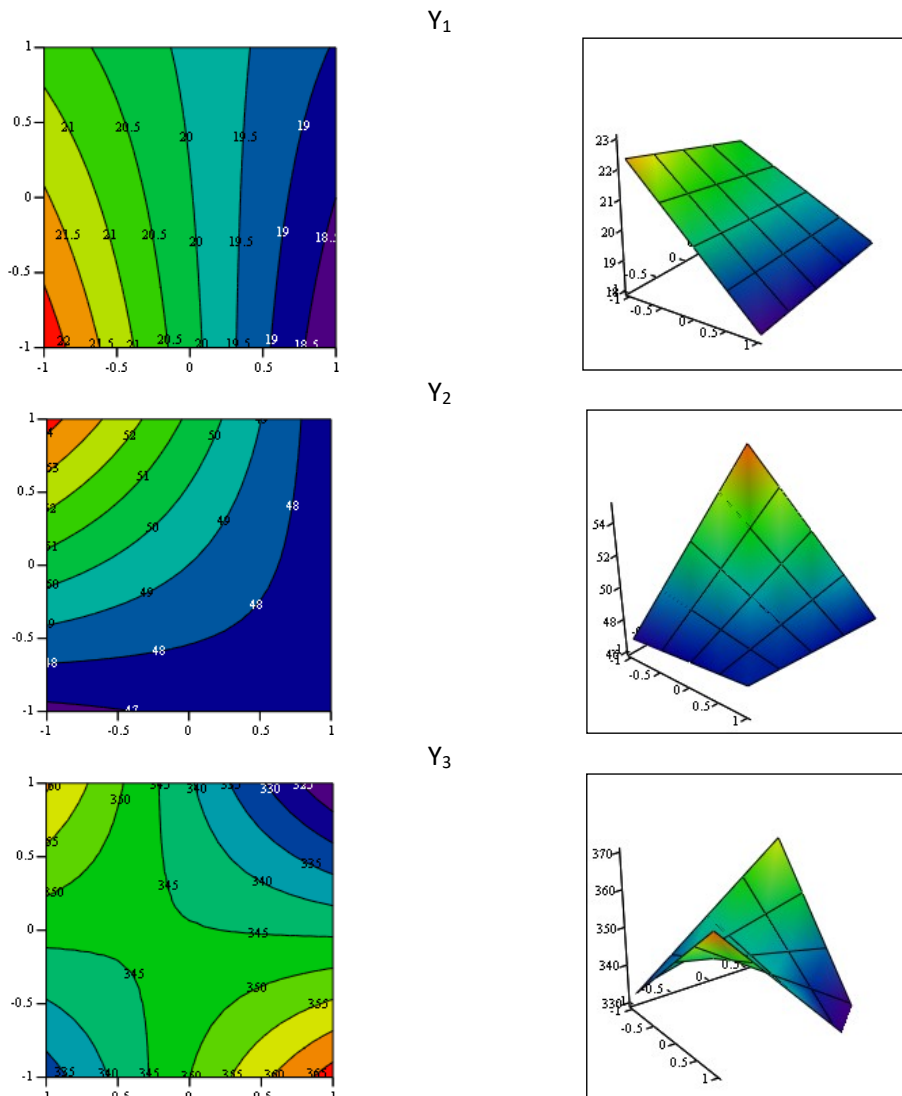


Рис. 3. Графическая интерпретация уравнений регрессии (1), (2) и (3), характеризующих соответственно изменение предела прочности при сжатии камня вяжущего в возрасте 2, 28 суток твердения, МПа, и диаметра расплыва цементного теста, мм, от действующих факторов (X₁, X₂).

Fig. 3. Graphical interpretation of regression equations (1), (2), and (3), characterizing changing the compressive strength of binder at 2 and 28 days of hardening, МПа, and the slump of the cement paste, mm, as a function of the factors (X₁, X₂), accordingly

С другой стороны, увеличение содержания пыли цементных печей в составе минеральной добавки приводит к снижению показателей подвижности цементного теста, вероятнее всего в связи с увеличением удельной поверхности твердой фазы.

По результатам проведенного анализа РФА образцов камня вяжущего в возрасте 28 суток твердения в нормальных условиях (рисунок 4) наблюдается повышение интенсивности дифракционных отражений гидросиликатов кальция: C_2SH_2 и CSH (В): $d = 3,57; 3,15; 3,06; 2,10; 2,01 \text{ \AA}$, с одновременным уменьшением

интенсивности дифракционных отражений минерала портландита: $Ca(OH)_2$ $d = 2,63 \text{ \AA}$, что свидетельствует о пуццолановой реакции в системе комплексного вяжущего. Отмечается также изменение интенсивности дифракционных отражений гидроалюминатов кальция: $d = 2,86 \text{ \AA}$ с одновременным ростом интенсивности отражений гидрокарбоалюминатов кальция: $d = 2,51 \text{ \AA}$, при увеличении в составе вяжущего содержания пыли цементных печей, что связано с повышением растворимости оксидов алюминия и кремния в добавке золошлаковой смеси.

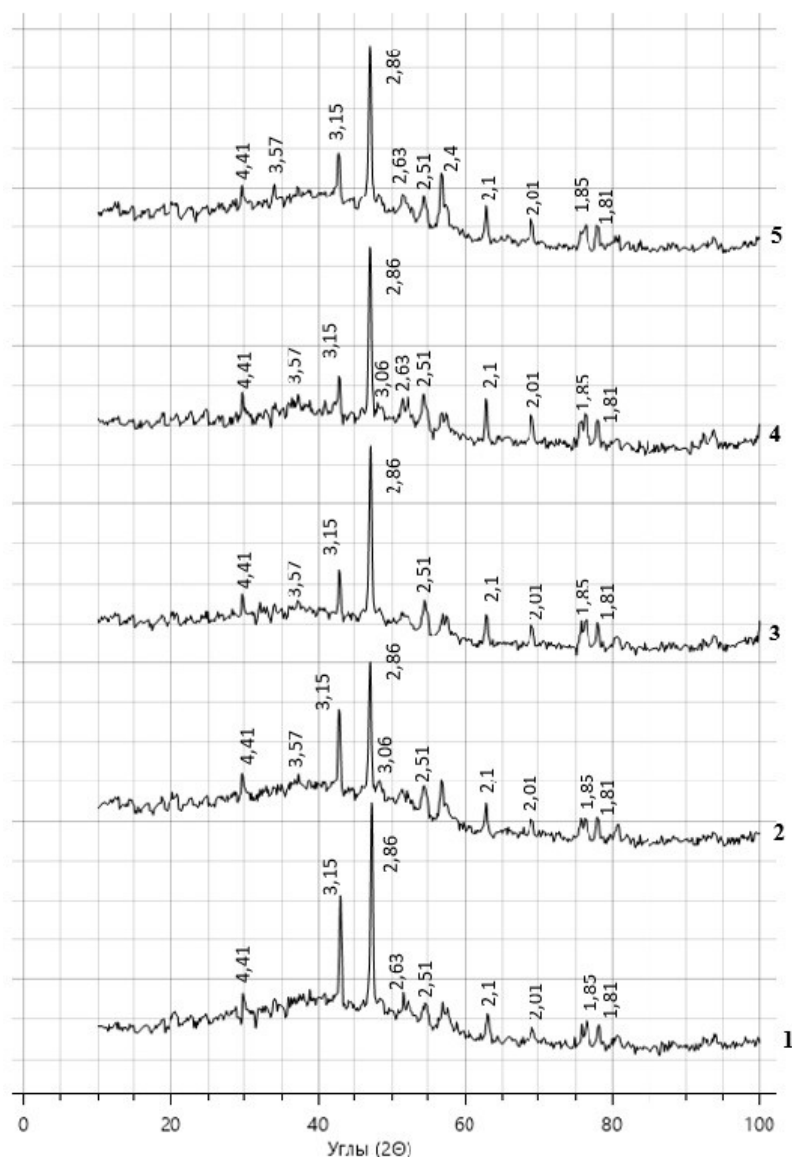


Рис. 4. Рентгенограммы образцов камня вяжущего в возрасте 28 суток
 Fig. 4. X-ray patterns of binder samples at the age 28 days

ВЫВОДЫ

В ходе экспериментальных исследований установлена возможность замены части портландцемента до 70 % комплексом минеральных добавок на основе пыли цементных печей и золошлаков из отвалов ТЭС. Разработаны составы вяжущего, обеспечивающие получение цементного теста с диаметром расплыва не менее 300 мм и цементного камня с показателем предела прочности при сжатии в раннем возрасте (2 суток) не менее 18 МПа, а также в проектном возрасте не менее 45 МПа. По результатам РФА установлено, что наличие пыли цементных печей способствует протеканию пуццолановой реакции в системе комплексного вяжущего. В дальнейшем исследования будут направлены на изучение закономерностей формирования структуры при проведении дополнительной щелочной активации разработанных составов вяжущих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hydration of hybrid alkaline cement containing a very large proportion of fly ash: A descriptive model / I. Garcia-Lodeiro, S. Donatello, A. Fernández-Jiménez, Á. Palomo // *Materials*. vol. 9(8). PP. 605. DOI: 10.3390/MA9070605.
2. Garcia-Lodeiro I., Palomo A, Fernández-Jiménez A. Crucial insights on the mix design of alkali-activated cement-based binders // *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*. 2014. PP. 49 – 73. DOI: 10.1533/9781782422884.1.49.
3. García-Lodeiro I., Fernández-Jiménez A., Palomo A. Variation in hybrid cements over time. Alkaline activation of fly ash-portland cement blends // *Cement and Concrete Research*. 2013. vol. 52. PP. 112 – 122. DOI: 10.1016/j.cemconres.2013.03.022.
4. Compressive strength, microstructure and hydration products of hybrid alkaline cements / Z. Abdollahnejad, S. Miraldo, F. Pacheco-Torgal [et al.] // *Materials Research*. 2014. vol. 17, no. 4. – PP. 829 – 837. DOI: 10.1590/S1516-14392014005000091.
5. García-Lodeiro I., Fernández-Jiménez A., Palomo A. Hydration kinetics in hybrid binders: Early reaction stages // *Cement and Concrete Composites*. 2013. vol. 39. PP. 82 – 92. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2013.03.025.
6. Fernandez-Jimenez A., Palomo A. Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements // *Fuel*. 2003. vol. 82, no. 18. PP. 2259 – 2265. DOI: 10.1016/S0016-2361(03)00194-7.
7. Daugherty K.E., Wist A.O. Review of Cement Industry Pollution Control // *American Ceramic Society Bulletin*. 1975. vol. 54. P. 189.
8. Effect of Using Cement Kiln Dust as a Nano-Material on the Strength of Cement Mortars / W. Alnahhal, R. Taha, H. Al-Nasseri [et al.] // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2018. vol. 22. PP. 1361 – 1368. DOI: 10.1007/s12205-017-0010-6.
9. Dhir R.K., Dyer T.D., Halliday J.E. Activation and acceleration of Portland cement / GGBS blends using cement kiln dust (CKD) // *Creating with Concrete: the International Conf.*, 1999: Proc. – Dundee (Scotland). 1999. – PP. 361 – 370.
10. Buchwald A., Schulz M. Alkali-activated binders by use of industrial by-products // *Cement and Concrete Research*. 2005. vol. 35, no. 5. PP. 968 – 973. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.06.019.
11. Konsta-Gdoutos M.S., Shah S.P. Hydration and properties of novel blended cements based on cement kiln dust and blast furnace slag // *Cement and Concrete Research*. 2003. vol. 33, no. 8. PP. 1269 – 1276. DOI: 10.1016/S0008-8846(03)00061-9.
12. Dyer T.D., Halliday J.E., Dhir R.K. An investigation of the hydration chemistry of ternary blends containing cement kiln dust // *Journal of Materials Science*. 1999. vol. 34, no. 20. PP. 4975 – 4983.
13. Sreekrishnavilasam A., King S., Santagata M. Characterization of fresh and landfilled cement kiln dust for reuse in construction applications // *Engineering Geology*. 2006. vol. 85, no. 1. PP. 165 – 173. DOI: 10.1016/j.enggeo.2005.09.036.
14. Evaluation of controlled low strength materials containing industrial by-products / R. A. Taha, A.S. Alnuaimi, K.S. Al-Jabri, A.S. Al-Harthy // *Building and Environment*. 2007. vol. 42, no. 9. PP. 66 – 72. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.07.028.
15. Effect of Cement Kiln Dust Substitution on Chemical and Physical Properties and Compressive Strength of Portland and Slag Cements/ S. Abd El-Aleem, M.A. Abd-El Aziz, M. Heikal, H. El-Didamony // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2005. vol. 30, no. 2. PP. 263 – 274.
16. Advances in alternative cementitious binders/ M.C.G. Juenger, F. Winnefeld, J.L. Provis, J.H. Ideker // *Cement and Concrete Research*. 2011. vol. 41. PP. 1232 – 1243. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.11.012.
17. Wang K., Shah S.P., Mishulovich A. Effects of curing temperature and NaOH addition on hydration and strength development of clinker free CKD-fly ash binders // *Cement and Concrete Research*. 2004. vol. 34. PP. 299 – 309. DOI: 10.1016/j.cemconres.2003.08.003.
18. Abd El-Fattah W.I., El-Didamony H. Thermal Investigation of Electrostatic Precipitator Kiln Dust // *Thermochimica Acta*. 1981. vol. 51. P. 297. DOI: 10.1016/0040-6031(81)85167-2.
19. The Role of Cement Dust in Some Blended Cements / H. El-Didamony, A.A. Amer, E. Ebied, M. Heikal // *II Cemento*. 1993. vol. 90, no. 4. PP. 221 – 230.
20. Effect of using cement kiln dust as a nano material on the strength of cement mortars / W. Alnahhal, R. Taha, H. Al Nasseri, S. Nishad // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2018. vol. 24, no. 4. PP. 1361 – 1368. DOI: 10.1007/s12205 017 0010 6.
21. Zehrudin O. Haračić N., Zelić J. Properties of blast furnace cements (CEM III/A, B, C) based on portland cement clinker, blast furnace slag and cement kiln dusts // *Cement and Concrete Composites*. 2018.

vol. 91. PP. 189 – 197. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2018.05.006.

22. Abdel Gawwad H.A., Khalil K.A. Application of thermal treatment on cement kiln dust and feldspar to create one part geopolymers cement // *Construction and Building Materials*. 2018. vol. 187. PP. 231 – 237. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.07.161.

23. Effect of silica fume on the slag cement containing wet cement dust / H. El-Didamony, S.A. Abo El Enein, A.H. Ali, T.M. El Sokkary // *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*. 1999. vol. 6. PP. 274 – 278.

24. Лахтарина, Н. Н., Зайченко Н. М., Лахтарина С. В. Цементы с минеральной добавкой на основе золошлаковых отходов ТЭС // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2024. Т. 20, № 3. С. 163 – 169. DOI: 10.71536/spgs.2024.v20n3.5.

REFERENCES

1. Hydration of hybrid alkaline cement containing a very large proportion of fly ash: A descriptive model / I. Garcia-Lodeiro, S. Donatello, A. Fernández-Jiménez, Á. Palomo // *Materials*. vol. 9(8). PP. 605. DOI: 10.3390/MA9070605.

2. Garcia-Lodeiro I., Palomo A, Fernández-Jiménez A. Crucial insights on the mix design of alkali-activated cement-based binders // *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*. 2014. PP. 49 – 73. DOI: 10.1533/9781782422884.1.49.

3. García-Lodeiro I., Fernández-Jiménez A., Palomo A. Variation in hybrid cements over time. Alkaline activation of fly ash-portland cement blends // *Cement and Concrete Research*. 2013. vol. 52. PP. 112 – 122. DOI: 10.1016/j.cemconres.2013.03.022.

4. Compressive strength, microstructure and hydration products of hybrid alkaline cements / Z. Abdollahnejad, S. Miraldo, F. Pacheco-Torgal [et al.] // *Materials Research*. 2014. vol. 17, no. 4. – PP. 829 – 837. DOI: 10.1590/S1516-14392014005000091.

5. García-Lodeiro I., Fernández-Jiménez A., Palomo A. Hydration kinetics in hybrid binders: Early reaction stages // *Cement and Concrete Composites*. 2013. vol. 39. PP. 82 – 92. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2013.03.025.

6. Fernandez-Jimenez A., Palomo A. Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements // *Fuel*. 2003. vol. 82, no. 18. PP. 2259 – 2265. DOI: 10.1016/S0016-2361(03)00194-7.

7. Daugherty K.E., Wist A.O. Review of Cement Industry Pollution Control // *American Ceramic Society Bulletin*. 1975. vol. 54. P. 189.

8. Effect of Using Cement Kiln Dust as a Nano-Material on the Strength of Cement Mortars / W. Alnahhal, R. Taha, H. Al-Nasser [et al.] // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2018. vol. 22. PP. 1361 – 1368. DOI: 10.1007/s12205-017-0010-6.

9. Dhir R.K., Dyer T.D., Halliday J.E. Activation and acceleration of Portland cement / GGBS blends using cement kiln dust (CKD) // *Creating with Concrete: the International Conf.*, 1999: Proc. – Dundee (Scotland). 1999. – PP. 361 – 370.

10. Buchwald A., Schulz M. Alkali-activated binders by use of industrial by-products // *Cement and Concrete Research*. 2005. vol. 35, no. 5. PP. 968 – 973. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.06.019.

11. Konsta-Gdoutos M.S., Shah S.P. Hydration and properties of novel blended cements based on cement kiln dust and blast furnace slag // *Cement and Concrete Research*. 2003. vol. 33, no. 8. PP. 1269 – 1276. DOI: 10.1016/S0008-8846(03)00061-9.

12. Dyer T.D., Halliday J.E., Dhir R.K. An investigation of the hydration chemistry of ternary blends containing cement kiln dust // *Journal of Materials Science*. 1999. vol. 34, no. 20. PP. 4975 – 4983.

13. Sreekrishnavilasam A., King S., Santagata M. Characterization of fresh and landfilled cement kiln dust for reuse in construction applications // *Engineering Geology*. 2006. vol. 85, no. 1. PP. 165 – 173. DOI: 10.1016/j.enggeo.2005.09.036.

14. Evaluation of controlled low strength materials containing industrial by-products / R. A. Taha, A.S. Alnuaimi, K.S. Al-Jabri, A.S. Al-Harthy // *Building and Environment*. 2007. vol. 42, no. 9. PP. 66 – 72. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.07.028.

15. Effect of Cement Kiln Dust Substitution on Chemical and Physical Properties and Compressive Strength of Portland and Slag Cements/ S. Abd El-Aleem, M.A. Abd-El Aziz, M. Heikal, H. El-Didamony // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2005. vol. 30, no. 2. PP. 263 – 274.

16. Advances in alternative cementitious binders/ M.C.G. Juenger, F. Winnefeld, J.L. Provis, J.H. Ideker // *Cement and Concrete Research*. 2011. vol. 41. PP. 1232 – 1243. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.11.012.

17. Wang K., Shah S.P., Mishulovich A. Effects of curing temperature and NaOH addition on hydration and strength development of clinker free CKD-fly ash binders // *Cement and Concrete Research*. 2004. vol. 34. PP. 299 – 309. DOI: 10.1016/j.cemconres.2003.08.003.

18. Abd El-Fattah W.I., El-Didamony H. Thermal Investigation of Electrostatic Precipitator Kiln Dust // *Thermochimica Acta*. 1981. vol. 51. P. 297. DOI: 10.1016/0040-6031(81)85167-2.

19. The Role of Cement Dust in Some Blended Cements / H. El-Didamony, A.A. Amer, E. Ebied, M. Heikal // *II Cemento*. 1993. vol. 90, no. 4. PP. 221 – 230.

20. Effect of using cement kiln dust as a nano material on the strength of cement mortars / W. Alnahhal, R. Taha, H. Al Nasser, S. Nishad // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2018. vol. 24, no. 4. PP. 1361 – 1368. DOI: 10.1007/s12205-017-0010-6.

21. Zehrudin O. Haračić N., Zelić J. Properties of blast furnace cements (CEM III/A, B, C) based on portland cement clinker, blast furnace slag and cement kiln dusts // *Cement and Concrete Composites*. 2018. vol. 91. PP. 189 – 197. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2018.05.006.

22. Dyer T.D., Halliday J.E., Dhir R.K. An investigation of the hydration chemistry of ternary blends containing cement kiln dust // *Journal of Materials Science*. 1999. vol. 34, no. 20. PP. 4975 – 4983.

22. Abdel Gawwad H.A., Khalil K.A. Application of thermal treatment on cement kiln dust and feldspar to create one part geopolymers cement // *Construction and Building Materials*. 2018. vol. 187. PP. 231 – 237. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.07.161.

23. Effect of silica fume on the slag cement containing wet cement dust / H. El-Didamony, S.A. Abo El Enein, A.H. Ali, T.M. El Sökkary // *Indian*

Journal of Engineering and Materials Sciences. 1999. vol. 6. PP. 274 – 278.

24. Lahtarina N.N., Zaichenko N.M., Lakhtarina S.V. Cements with a mineral additive based on ash and slag waste of thermal power plant // *Modern industrial and civil engineering*. 2024. vol. 20, no. 3. PP. 163 – 169. DOI: 10.71536/spgs.2024.v20n3.5.

COMPOSITE BINDERS BASED ON DONBASS INDUSTRIAL WASTE

Zaichenko¹ N.M., Lakhtarina² S.V., Lakhtarina³ N.N.

¹ “Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture” – branch of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)”, Russian Federation, Donetsk People’s Republic, 286123, Makeevsky district, Makeyevka, Derzhavina str., 2, e-mail: ¹n.m.zaichenko@donnasa.ru; ²s.v.lakhtarina@donnasa.ru; ³n.n.lakhtarina@donnasa.ru

Abstract. The article discusses the current trends in the rational use of resources in the development of composite binders with mineral additives of technogenic origin in order to reduce energy consumption and ensure the environmental safety of Portland cement production. The possibility of replacing up to 70% of Portland cement with a complex of mineral additives based on the dump ash and slag waste from thermal power plants, as well as the dust from cement kilns, has been studied. The granulometric composition of the dust from cement kilns and the ash and slag waste from thermal power plants has been investigated. The compositions of blended binders were optimized based on the criteria of compressive strength at an early age (2 days) and at a mature age during hardening under normal conditions. A X-ray phase analysis was performed on samples of the binder stone at an age of 28 days of hardening under normal conditions. The obtained results may be of interest for the practical implementation of the task of reducing carbon dioxide emissions, resource and energy conservation, when using a composite binder with additives based on cement kiln dust and TPP ash and slag mixtures.

Subject: pozzolanic activity of a complex mineral additive based on thermal power plant ash slag and cement kiln dust as part of a composite binder with partial replacement of Portland cement.

Materials and methods: the following materials as initial components for the experimental studies were used: OPC CEM I 42.5 N, Uglegorsk-Cement compliant with the requirements of GOST 31108-2020; mineral additives: – ash and slag mixture from the dumps of the Zuevskaya thermal power plant; cement kiln dust of the Amvrosievsky cement plant; chemical modifiers – Master Glenium ACE 430 superplasticizer (SP) aqueous solution of modified polycarboxylates, density 1.08 kg/l. The analysis of the granulometric composition of cement kiln dust, as well as mineral additives from the screening of ash and slag waste from thermal power plants, was carried out by laser diffraction using a Laska–TD particle size analyzer. Particle distribution analysis - Mie theory, Fraunhofer approximation. X-ray phase analysis of binder stone samples was performed under diffraction pattern conditions (the same for all samples): chromium radiation Cr (2.2910 Å) in the angle range $10 < 2\theta < 100^\circ$ with a step of 0.01° .

Results: the compositions of a blended binders with a complex of mineral additives based on dust from cement kilns and ash-slag mixtures from thermal power plant dumps have been developed, with up to 70% of Portland cement replaced, ensuring the production of cement pastes with a slump at least 300 mm and a cement stone with a compressive strength of at least 18 MPa at an early age (2 days) and at least 45 MPa at the design age under normal conditions of hardening. It has been established that the content of cement kiln dust in the mineral additive has the greatest effect on increasing the strength of cement stone at an early age. This is most likely due to the higher alkalinity of the environment and the intensification of the hydration process.

Conclusions: blended binders with mineral additives based on industrial waste have been obtained. Further research will focus on studying the patterns of hybrid binder structure formation during additional alkaline activation of the developed compositions.

Key words: blended binders, cement kiln dust, thermal power plant ash and slag waste, optimization.

УДК 699.81:629.331.5

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПАРКОВОЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ: НОРМАТИВНЫЕ РЕГЛАМЕНТЫ И ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ

Боронина¹ Л. В., Бодня² М. С., Добринская³ А. А., Сухов¹ А. С.

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: boroninalv@gmail.com

² Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18, e-mail: bodnya@mail.ru

³ Волгоградский государственный технический университет, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, e-mail: sax.nastyayandex.ru

Аннотация. Рост числа электромобилей меняет нагрузку на городскую инфраструктуру и предъявляет новые требования к безопасности паркингов. Закрытые парковочные пространства особенно уязвимы из-за высокой плотности транспорта и ограниченной вентиляции, что повышает вероятность крупных и трудноуправляемых пожаров. Необходимость интеграции систем мониторинга состояния батарей и улучшенной вентиляции становится ключевым фактором в снижении вероятности крупных инцидентов. Стремительный рост парка электромобилей во всем мире сопровождается увеличением количества пожаров с их участием. Тушение литиевых аккумуляторных батарей сопряжено с уникальными рисками: тепловое разгорание, выделение горючих и токсичных газов, интенсивный тепловыделение и повторное возгорание. Существующие исполнения типовых системы пожаротушения, рассчитанные на автомобили с двигателями внутреннего сгорания, часто неэффективны против возгорания литиевых батарей, что создает значительную угрозу для безопасности людей и сохранности имущества в закрытых паркингах. Это проявляется в ограниченной эффективности существующих систем распыления, проблемах с удалением продуктов горения и длительных работах по восстановлению объектов после инцидентов. Только сочетание инженерных, организационных и нормативных мероприятий обеспечивает устойчивое снижение рисков в паркингах для электромобилей. Это требует принципиально нового подхода к проектированию систем пожаротушения и комплексного анализа и корректировки нормативной базы. В статье проведен сравнительный обзор российской, американской и европейской нормативной документации в области проектирования систем пожаротушения для закрытых паркингов с электромобилями, на основе выявленных недостатков предложены современные российские решения проектирования.

Предмет исследования: Анализ нормативных требований и разработка практических проектных решений для обеспечения пожарной безопасности закрытых парковочных пространств, эксплуатируемых электромобилями.

Материалы и методы: Сопоставительный анализ действующих нормативных документов, моделирование сценариев теплового разгорания литий-ионных аккумуляторов, оценка эффективности систем обнаружения и тушения, а также экономико-техническая проверка предложенных мер.

Результаты: Выявлены ключевые вопросы в существующих стандартах и проектных схемах; обоснованы адаптированные схемы распыления и повышения кратности подачи огнетушащих агентов; предложены меры по локальному обнаружению теплового разгорания и рекомендации по организационно-технической подготовке персонала; проведена предварительная оценка соотношения затрат и ожидаемого сокращения ущерба.

Выводы: Необходима комплексная модернизация проектных подходов и нормативной базы с учётом специфики литиевых батарей: внедрение целевых инженерных решений, обновление регламентов эксплуатации и обучение персонала позволит существенно снизить риски для людей и имущества и повысит устойчивость паркингов к пожарам с участием электромобилей.

Ключевые слова: системы пожаротушения, электромобили, повторное возгорание, безопасность, литий-ионные батареи.

ВВЕДЕНИЕ

Подземные паркинги в многоэтажных жилых домах, торгово-развлекательных комплексах и в других общественных зданиях традиционно отличаются рядом факторов, осложняющих потенциальные работы по тушению пожаров. Это прежде всего: ограничение по высоте, значительная пожарная нагрузка и сложности маневрирования.

В таких условиях первостепенное значение приобретает быстрое обнаружение очага возгорания и надежная система оповещения, поскольку задержка в реакции может привести к стремительному распространению огня в замкнутом пространстве. Однако традиционные датчики дыма и тепла часто срабатывают с запаздыванием при

тлеющих возгораниях аккумуляторов, поэтому требуется применение специализированных сенсоров и интегрированных систем мониторинга состояния батарей [1].

Пожары электромобилей характеризуются высокой температурой и выделением токсичных газов, что диктует необходимость усиленной вентиляции и контроля воздушных потоков, чтобы минимизировать риски для людей и пожарных [2-4]. При этом вентиляционные системы паркингов должны быть сконструированы так, чтобы позволять селективное удаление дыма без усиления тяги, способной распространить продукты горения по другим секциям здания. Доступность подъездных путей и площадок для маневрирования спецтехники — еще один ключевой фактор, требующий продуманной планировки проездов,

знаков и выделенных полос для экстренных служб [5,6]. Внутренняя разводка инженерных коммуникаций и наличие пожарных гидрантов должны соответствовать повышенным требованиям, включая возможность подачи воды и пенного состава к труднодоступным зонам [7-9]. Тактические схемы тушения также меняются: тушение батарей требует не только традиционных методов, но и длительного охлаждения, иногда с применением специальных ингибиторов и последовательных проливов. Поэтому важна подготовка и регулярные тренировки пожарных подразделений с отработкой сценариев, специфичных для гибридов и электромобилей, включая симуляцию выделения токсичных веществ. Не менее важна и информированность автовладельцев: маркировка автомобилей, правила размещения и зарядки, а также запрет на хранение аварийных аккумуляторов на парковках значительно снижают вероятность инцидентов [10,11].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Современные паркинги должны иметь выделенные зоны для зарядки электромобилей с автоматикой контроля температуры и защиты от короткого замыкания, а также системы аварийного отключения питания [12]. Интеграция систем видеонаблюдения, датчиков утечки газов и интеллектуальных алгоритмов анализа данных позволяет обнаруживать аномалии на ранних стадиях и направлять первые усилия именно туда, где они необходимы.

При проектировании новых объектов и реконструкции существующих следует учитывать принципы зональной защиты, создание противопожарных отсеков и доступных путей

эвакуации, чтобы ограничить возможный ущерб. Регулярное техническое обслуживание систем вентиляции, электрики и зарядных станций, а также инспекции мест хранения транспортных средств — это не формальность, а необходимость для снижения рисков. Наконец, координация между застройщиками, эксплуатационными организациями и экстренными службами, подкреплённая едиными регламентами и инструкциями, повышает готовность к быстрому и безопасному реагированию.

Увеличение популярности у автолюбителей гибридных автомобилей и электромобилей добавляет новый риск.

Необходимо отметить, что литий-ионные батареи различных модификаций имеют ряд преимуществ перед традиционными кислотными аккумуляторами по емкости, скорости зарядки и долговечности [13-16]. При этом физико-химические процессы, происходящие внутри батареи при ее повреждении или неправильной зарядке, обуславливают развитие специфического пожара из-за эффекта теплового разгона. В этом случае традиционная тактика тушения с использованием большого количества воды или пены не дает требуемого результата, а в условиях ограниченного пространства паркинга обуславливает высокий риск развития массового пожара: пожар электромобиля имеет большую в два раза проектную мощность по сравнению с обычным автомобилем с бензиновым двигателем внутреннего сгорания, что вызывает перегрев потолочного перекрытия над очагом пожара до 400–600 °С; продукты сгорания литий-ионного аккумулятора высокотоксичны и являются даже более опасным фактором пожара, чем теплоизбытки (рис.1).



Рис. 1. Закрытый паркинг для электромобилей после пожара (Корея)
Fig. 1. Closed parking for electric vehicles after a fire (Korea)

Для обеспечения безопасности в условиях возникновения нового риска необходимо, на наш взгляд, не только обеспечить отличительную маркировку на гибридных автомобилях и электромобилях, но и предусмотреть проектом зонирование территории паркинга на которых они размещаются, создать базы схем расположения батарей и силовой установки в автомобилях и предусмотреть разработку специальных правил тушения таких автомобилей, а также обеспечить реализацию регулярных профилактических мероприятий по локализации и тушению таких пожаров на территории подземных паркингов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Российское регулирование в значительной степени опирается на своды правил (СП), которые устанавливают базовые требования, но не всегда учитывают специфику разных объектов и новых технологий.

СП 485.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» является основным документом для проектирования систем пожаротушения закрытых паркингов. Согласно п. 5.1.1, табл. 5.1, закрытые паркинги легковых автомобилей классифицируются как помещения 2-й группы. Для них устанавливается стандартная интенсивность орошения, которая, как показывают исследования и практика, может быть недостаточной для подавления пожара.

Анализ документа СП 485.1311500.2020 показал, что в нем отсутствуют специальные требования к защите зон хранения и зарядки электромобилей. Это приводит к тому, что проектировщики вынуждены применять стандартные решения, которые являются неэффективными.

Однако в нормативный документ, регламентирующий проектирование автомобильных стоянок СП 113.13330.2023. Стоянки автомобилей. СНиП 21-02-99*, в 2025 году внесены изменения в п. 6.2.11. В соответствии с этим документом категории зданий и помещений стоянок автомобилей (за исключением пристроенных (встроенных) к зданиям класса функциональной пожарной опасности Ф1.4) по взрывопожарной и пожарной опасности следует определять расчетом в соответствии с СП 12.13130. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. При этом помещения хранения транспортных средств, работающих на бензине и дизельном топливе, гибридных и электромобилей следует относить к пожароопасным категориям и расчет проводить в соответствии с приложением Б СП 12.13130.2009.

Помещения хранения автомобилей с наличием газобаллонных автомобилей (в том числе при совместном хранении с автомобилями,

работающими на бензине или дизельном топливе, гибридными и электромобилями) следует относить к пожароопасным категориям, если свободный объем помещения, м³, определяемый по пункту 4 СП 12.13130.2009 превышает допустимый, определяемый по формуле:

$$V_{\text{доп}} = 17,92 * m * H_{\text{T}} * Z, \quad (1)$$

где m - масса газа (определяемая по СП 12.13130), которая может поступить в помещение при аварии топливной системы автомобиля, кг; H_{T} - удельная теплота сгорания топлива, МДж/кг; Z - коэффициент участия горючих газов и паров в горении (по СП 12.13130).

Если свободный объем помещения хранения транспортных средств с наличием газобаллонных автомобилей меньше минимально допустимого, определенного по формуле (1), то оно должно быть оборудовано:

- непрерывно действующей системой автоматического контроля загазованности с установкой сигнализаторов до взрывоопасных концентраций газов и паров;

- аварийной вентиляцией кратностью, определяемой расчетом, но не менее пяти объемов в час со 100%-ным резервированием вентиляторов;

- электроснабжением аварийной вентиляции по первой категории надежности электроснабжения.

Согласно 6.2.12. СП 113.13330.2023 в закрытых стоянках автомобилей часть помещения, содержащая машиноместа с оборудованием для зарядки электромобилей и подзаряжаемых гибридных автомобилей, должна быть выделена в отдельную пожарную секцию площадью не более 1200 м² одним из следующих способов:

- противопожарными перегородками 1-го типа;
- зонами (проездами), свободными от горючей нагрузки, шириной не менее 8 м;

- зонами (проездами), свободными от горючей нагрузки, шириной не менее 6 м с устройством в середине зоны дренчерной завесы в одну нитку с расчетным числом оросителей при обеспечении по всей длине удельного расхода 1 л/(с·м) или автоматически опускающимися при пожаре на расчетную высоту противодымными экранами (шторами).

Выделение машино-мест с оборудованием для зарядки не требуется:

- в помещениях закрытых стоянок автомобилей площадью не более 1200 м²;

- в помещениях площадью более 1200 м², если общее число указанных машино-мест не превышает 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Мировым лидером отрасли по производству электромобилей за последние пять лет стал Китай, в 2025 году объем мирового рынка электромобилей достиг примерно 5196,9 млрд. долларов США [17,18]. Китай не только занимает львиную долю

этого рынка и формирует его структуру, но и ведет активную работу по обеспечению безопасной эксплуатации транспорта.

Подход Китая к регулированию безопасности паркингов с электромобилями отличается строгой централизацией, быстрой реакцией на национальные приоритеты и комплексным рассмотрением вопроса в рамках более широких правил для «новой энергетики» [19,20].

Базовым строительным нормативом, общим для всех паркингов, является GB 50067-2014 «Code for fire protection design of garages, motor repair shops and parking lots» ("Нормы противопожарного проектирования гаражей, станций техобслуживания и автостоянок"). Это основной аналог раздела СП для паркингов. Стандарт устанавливает общие требования к планировке, эвакуации, конструктивной огнестойкости и автоматическим установкам пожаротушения. Раздел 8.2.1 требует установки автоматических систем пожаротушения (как правило, водяных спринклерных) во всех закрытых паркингах и в открытых механизированных. Для определения параметров системы используется концепция "уровня опасности", схожая с категориями в СП.

Но Китай усовершенствовал нормативную базу и разработал отдельные стандарты, которые сосредоточены непосредственно на рисках, связанных с электромобилями: GB/T 51313-2018 "Technical standard for electric vehicle charging station design" ("Технический стандарт на проектирование зарядных станций для электромобилей").

Этот документ содержит прямое требование к пожарной безопасности угрозы исходящей от литиевых батарей. В разделе 12.1.4 установлено, что закрытые зарядные станции (включая зоны зарядки в паркингах) должны быть оснащены автоматическими системами пожаротушения, соответствующими высшему уровню опасности I (по классификации из GB 50140-2005 «Code for design of extinguisher distribution in buildings» и других стандартов). Это прямо указывает на необходимость применения усиленных мер по сравнению с обычными парковочными местами.

Аналогом СП 485.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» является GB 50084-2017 "Code for design of automatic sprinkler systems" ("Нормы проектирования автоматических спринклерных систем"), который содержит детальные требования к проектированию, монтажу и компонентам спринклерных систем.

В сочетании с требованием GB/T 51313-2018 об уровне опасности I, данный стандарт определяет конкретные параметры для зон зарядки: повышенную интенсивность орошения, уменьшенную площадь, защищаемую одним оросителем, и, как следствие, более плотную расстановку спринклеров.

Анализ российского и зарубежного нормативного законодательства позволяет сделать

вывод о том, для выработки единых подходов для обеспечения безопасности общественных пространств с электромобилями может стать разработка и согласование специальных технических условий (СТУ) на конкретный объект. В них должны быть обоснованы и установлены специальные требования при проектировании закрытых паркингов для электромобилей:

- повышение категории группы помещений для зон с электромобилями (например, с 2-й на 3-ю группу по СП 485.1311500.2020 для увеличения интенсивности орошения);
- применение комбинированных систем пожаротушения. Например, дренчерных завес для локализации пожара в зоне электромобильного ряда машин, разделения зон, или спринклерных оросителей с принудительным пуском для максимально раннего и целенаправленного воздействия на очаг возгорания;
- увеличение времени подачи огнетушащего вещества (воды) для длительного охлаждения батарейного блока.

Предлагаем рассмотреть одно из эффективных проектных решений системы пожаротушения закрытого паркинга с машино-местами под электромобили, разработанный на основе специальных технических требований по пожарной безопасности (СТУ ПБ), разработанным на основании Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности». Согласно техническому заданию необходимо разместить машино-места для электромобилей и подзаряжаемых гибридных автомобилей, в том числе с оборудованием для их зарядки.

В соответствии с пунктами 3.2.4.2 и 3.2.4.3 СТУ, машино-места необходимо предусматривать в составе группы (групп) и (или) одиночно. В каждой отдельной группе допускается размещение не более 10 машино-мест.

Каждая группа и (или) одиночное машино-место должны быть дополнительно выделены с четырех сторон одним из следующих способов или их сочетанием:

- перегородками (стенами) с пределом огнестойкости не менее EI 45;
- дренчерными завесами с автоматическим и дистанционным запуском и удельным расходом воды не менее 1 л/с на погонный метр длины завесы и временем работы не менее 60 минут (допускается секционированный запуск дренчерной завесы длиной по 3 м);
- автоматическими противопожарными шторами или воротами с пределом огнестойкости не менее EI 45;
- спринклерными оросителями с шагом 1,5 м с принудительным пуском и с интенсивностью орошения по группе помещений 3 таблицы 6.1 СП

485.1311500.2020, установленными по периметру группы.

Допускается отделять сторону группы (при рядовом (прямолинейном) расположении машино-мест в группе), обращенную в место выезда из машино-места, не менее чем двумя спринклерными оросителями на каждое машино-место или отделять место выезда из выделенной группы (при не прямолинейном расположении машино-мест в группе или при расположении машино-мест в два и более ряда) спринклерными оросителями из расчёта один спринклерный ороситель на 1 м ширины места выезда из выделенной группы (если у выделенной группы одно место выезда), указанные спринклерные оросители следует предусмотреть с

принудительным пуском с интенсивностью орошения по группе помещений 3 таблицы 6.1 СП 485.1311500.2020. Установку автоматического пожаротушения для защиты пожарных секций с машино-местами для электромобилей и подзаряжаемых гибридных автомобилей, в том числе с оборудованием для их зарядки, следует предусмотреть по группе помещений 3 таблицы 6.1 СП 485.1311500.2020.

В соответствии с СТУ ПБ на объекте было предусмотрено повышение категории помещения паркинга до 3, согласно таблице 6.1 СП 485.1311500.2020 и устройство перегородками (стенами) с пределом огнестойкости не менее EI 45 (рис. 2).

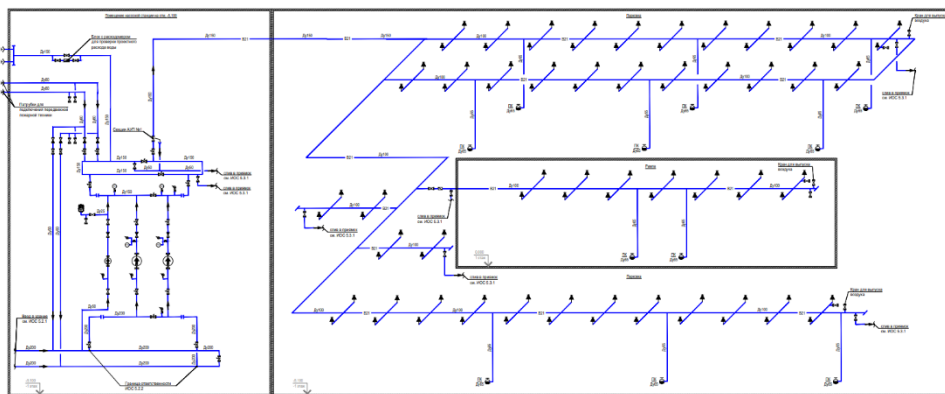


Рис. 2. Принципиальная схема системы АУПТ, совмещенной с ВПВ и НС на объекте строительства
Fig. 2. Schematic diagram of the AUPT system combined with ERW and HC at the construction site

Авторами предлагается реализовать дополнительные мероприятия для обеспечения пожарной безопасности подземных паркингов с машино-местами под электромобили:

1) стоит выделить пожарную секцию не только для мест зарядки, но и для мест стоянки. Потому что, как показывает статистика количество возгораний при зарядке практически сопоставимо с количеством зарядки на парковке. Поэтому риск возгорания примерно одинаков.

2) почти все публикации, с которыми я ознакомился, в унисон говорят о неэффективности тушения самих электромобилей водой. Повышение мощности системы пожарного водоснабжения выглядит убедительным аргументом с точки зрения создания водяной завесы и повышения защиты соседних секций.

3) сами автомобили необходимо тушить с помощью специальных модулей для тушения пожаров класса Д и Е в специальной секции для электромобилей и гибридов, они могут быть автономными и не потребуют таких же значительных затрат на проектирование и монтаж при строительстве;

4) выделение при пожаре литий-ионных батарей также потребует повышение мощности систем вентиляции в пожарной секции для электромобилей в связи с выделением значительного количества фтористого водорода.

ВЫВОДЫ

Установлено, что существующие риски, связанные с эксплуатацией и хранением электромобилей, принципиально отличаются от традиционных пожаров автомобилей с ДВС. Эффект теплового разгона литий-ионных батарей, высокая токсичность продуктов горения и возможность повторного возгорания требуют пересмотра устоявшихся подходов к противопожарной защите. Количественные параметры пожарной нагрузки в зонах размещения электромобилей, как показано в расчетах, превышают нормативные значения для стандартных машино-мест, что подтверждает необходимость ужесточения требований. Базовые российские документы (СП 485.1311500.2020, СП 113.13330.2023) не содержат специальных требований к защите зон хранения и зарядки электромобилей, в 2025 году ввели их фрагментарно. На основе выявленных расхождений предложен механизм компенсации недостатков российской нормативной базы через разработку специальных технических условий (СТУ). Представленное в статье проектное решение для закрытого паркинга демонстрирует эффективность комплекса мер: выделение машино-мест в отдельные пожарные секции, повышение категории помещения до 3-й группы (интенсивность орошения

0,24 л/(с·м²) против стандартных 0,12 л/(с·м²), применение дренчерных завес с удельным расходом не менее 1 л/(с·м²) и использование спринклерных оросителей с принудительным пуском. Расчеты подтвердили, что данные мероприятия позволяют локализовать возгорание в пределах одной секции и обеспечить необходимое время для эвакуации людей и прибытия пожарных подразделений.

Дополнительные меры, предложенные авторами — выделение секций не только для зарядки, но и для стоянки электромобилей (ввиду сопоставимой статистики возгораний), применение автономных модулей тушения для классов пожаров Д и Е, а также усиление систем вентиляции для удаления фтористого водорода — должны стать предметом дальнейшей нормативной проработки и включения в актуализированные своды правил.

Таким образом, обеспечение пожарной безопасности закрытых паркингов для электромобилей требует комплексного подхода, сочетающего совершенствование нормативной базы по опыту зарубежных стран (Китай, США, ЕС) и внедрение инженерно-технических решений, адаптированных к специфике горения литий-ионных батарей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башкирцев В.И., Платонов А.С. Пожарная безопасность объектов хранения и зарядки электромобилей: новые вызовы и решения. Санкт-Петербург : Политехника, 2022. 215 с.
2. Гончаров С.А., Ключев В.В. Автоматические системы пожаротушения: проектирование и расчет. Москва : Стройиздат, 2020. 348 с.
3. Кимстач И.Ф., Самойлов Д.А. Пожарная тактика. Тушение пожаров в условиях интенсивного развития технологий. Москва : Спецтехника, 2021. 412 с.
4. Муровский С.П. Оценка воздействия автотранспорта на окружающую среду Симферополя // Строительство и техногенная безопасность. 2005. № 10. С. 156-160.
5. Ройтман В.М. Основы пожарной безопасности в строительстве. Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 336 с.
6. Стефаненко И.В., Алексиков С.В., Болдин А.И., Сомова К.В. Обоснование схемы автомобильных парковок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. № 51(70). С. 103-109.
7. Мешман Л.В., Цариченко С.Г., Былинкин В.А. [и др.]. Проектирование водяных и пенных автоматических установок пожаротушения. Москва : ВНИИПО МЧС России, 2023. 496 с.
8. Петров И.В., Матюшин А.В. Особенности тушения пожаров в электромобилях // Пожарная безопасность. 2023. № 3 (108). С. 72-79.
9. Коломиец А.М., Зернов Д.А. Анализ современных систем пожаротушения для закрытых

паркингов // Технологии техносферной безопасности. 2024. № 2 (96). С. 45-53.

10. Громовой В.А., Пузач С.В. Пожарная безопасность подземных паркингов для электромобилей: анализ рисков и проектные решения // Пожаровзрывобезопасность. 2025. Т. 34, № 1. С. 22-31. DOI 10.22227/0869-7493.2025.34.01.22-31.

11. Сობурь С.В. Электромобили и зарядные станции: пожарная безопасность при эксплуатации и хранении : монография. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Пожнаука, 2024. 312 с.

12. Обеспечение пожарной безопасности многофункциональных высотных зданий и комплексов : монография. Под общей редакцией В. М. Ройтмана. Москва : Академия ГПС МЧС России, 2019. 248 с.

13. Афанасьев А.Ю., Федотов Д.В. Моделирование теплового разгона литий-ионных аккумуляторов в условиях закрытой автостоянки // Безопасность труда в промышленности. 2025. № 2. С. 58-65. DOI 10.24000/0409-2961-2025-2-58-65.

14. Sun P.A., Bisschop R., Niu H., Huang X. Review of Battery Fires in Electric Vehicles // Fire Technology. 2020. Vol. 56, No. 4. pp. 1361-1410. DOI 10.1007/s10694-019-00944-3.

15. Shen R. et al. Fire safety of battery electric vehicles: hazard identification, detection, and mitigation // SAE International Journal of Electrified Vehicles. 2024. Т. 13. №. 14-13-03-0024. pp. 279-294.

16. Chow W. K., Chow C. L. Electric vehicle fire hazards associated with batteries, combustibles and smoke // International Journal of Automotive Science and Technology. 2022. Т. 6. №. 2. pp. 165-171.

17. National Fire Protection Association. NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems. Quincy, MA : NFPA, 2022. 425 p.

18. National Fire Protection Association. NFPA 88A: Standard for Parking Structures. Quincy, MA : NFPA, 2023. 56 p.

19. Государственное управление по надзору за рынком КНР. Code for fire protection design of garages, motor repair shops and parking lots : GB 50067-2014. Пекин : China Planning Press, 2014. 112 с.

20. Государственное управление по надзору за рынком КНР. Technical standard for electric vehicle charging station design : GB/T 51313-2018. Пекин : China Architecture & Building Press, 2018. 78 с.

REFERENCES

1. Bashkirtsev V.I., Platonov A.S. Pozharnaya bezopasnost obektov khraneniya i zaryadki elektromobiley: novye vizovi i resheniya [Fire safety of electric vehicle storage and charging facilities: new challenges and solutions]. Sankt-Peterburg : Politekhnik, 2022. 215 s. (In Russian).
2. Goncharov S.A., Klyuev V.V. Avtomaticheskie sistemi pozharotusheniya: proektirovanie i raschet [Automatic fire extinguishing systems: design and

calculation]. Moskva : Stroizdat, 2020. 348 s. (In Russian).

3. Kimstach I.F., Samoilov D.A. Pozharnaya taktika. Tushenie pozharov v usloviyakh intensivnogo razvitiya tekhnologii [Fire tactics. Extinguishing fires in conditions of intensive technology development]. Moskva : Spetstekhnika, 2021. 412 s. (In Russian).

4. Murovskii S.P. Otsenka vozdeistviya avtotransporta na okruzhayushchuyu sredu Simferopolya [Assessment of the impact of motor transport on the environment of Simferopol] // Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost. 2005. № 10. S. 156-160. (In Russian).

5. Roitman V.M. Osnovi pozharnoi bezopasnosti v stroitelstve [Fundamentals of fire safety in construction]. Moskva : Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2019. 336 s. (In Russian).

6. Stefanenko I.V., Aleksikov S.V., Boldin A.I., Somova K.V. Obosnovanie skhemi avtomobilnykh parkovok [Justification of the parking scheme] // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura. 2018. № 51(70). S. 103-109. (In Russian).

7. Meshman L.V., Tsarichenko S.G., Bilinkin V.A. [i dr.]. Proektirovanie vodyanikh i pennikh avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya [Design of automatic water and foam extinguishing systems]. Moskva : VNIPO MChS Rossii, 2023. 496 s. (In Russian).

8. Petrov I.V., Matyushin A.V. Osobennosti tusheniya pozharov v elektromobilyakh [Features of fire extinguishing in electric vehicles] // Pozharnaya bezopasnost. 2023. № 3 (108). S. 72-79. (In Russian).

9. Kolomiets A.M., Zernov D.A. Analiz sovremennikh sistem pozharotusheniya dlya zakritykh parkingov [Analysis of modern fire extinguishing systems for closed parking lots] // Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti. 2024. № 2 (96). S. 45-53. (In Russian).

10. Gromovoi V.A., Puzach S.V. Pozharnaya bezopasnost podzemnykh parkingov dlya elektromobilei: analiz riskov i proektnie resheniya [Fire safety of underground parking lots for electric vehicles: risk analysis and design solutions] // Pozharovzrivobezopasnost. 2025. T. 34, № 1. S. 22-31. DOI 10.22227/0869-7493.2025.34.01.22-31. (In Russian).

11. Sobur S.V. Elektromobili i zaryadnie stantsii: pozharnaya bezopasnost pri ekspluatatsii i khraneni [Electric vehicles and charging stations: fire safety during operation and storage] : monografiya. 3-e izd., pererab. i dop. Moskva : Pozhnauka, 2024. 312 s. (In Russian).

12. Obespechenie pozharnoi bezopasnosti mnogofunktsionalnykh visotnykh zdaniy i kompleksov [Ensuring fire safety of multifunctional high-rise buildings and complexes] : monografiya. Pod obshchei redaktsiei V. M. Roitmana. Moskva : Akademiya GPS MChS Rossii, 2019. 248 s. (In Russian).

13. Afanasev A.Yu., Fedotov D.V. Modelirovanie teplovogo razgona litii-ionnykh akkumulyatorov v usloviyakh zakritoi avtostoyanki [Simulation of thermal acceleration of lithium-ion batteries in a closed parking lot] // Bezopasnost truda v promishlennosti. 2025. № 2. S. 58-65. DOI 10.24000/0409-2961-2025-2-58-65. (In Russian).

14. Sun P.A., Bisschop R., Niu H., Huang X. Review of Battery Fires in Electric Vehicles // Fire Technology. 2020. Vol. 56, No. 4. pp. 1361-1410. DOI 10.1007/s10694-019-00944-3.

15. Shen R. et al. Fire safety of battery electric vehicles: hazard identification, detection, and mitigation // SAE International Journal of Electrified Vehicles. 2024. T. 13. №. 14-13-03-0024. pp. 279-294.

16. Chow W. K., Chow C. L. Electric vehicle fire hazards associated with batteries, combustibles and smoke // International Journal of Automotive Science and Technology. 2022. T. 6. №. 2. pp. 165-171.

17. National Fire Protection Association. NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems. Quincy, MA : NFPA, 2022. 425 p.

18. National Fire Protection Association. NFPA 88A: Standard for Parking Structures. Quincy, MA : NFPA, 2023. 56 p.

19. Gosudarstvennoe upravlenie po nadzoru za rinkom KNR [The State Administration for Market Supervision of the People's Republic of China]. Code for fire protection design of garages, motor repair shops and parking lots : GB 50067-2014. Pekin : China Planning Press, 2014. 112 s.

20. Gosudarstvennoe upravlenie po nadzoru za rinkom KNR [The State Administration for Market Supervision of the People's Republic of China]. Technical standard for electric vehicle charging station design : GB/T 51313-2018. Pekin : China Architecture & Building Press, 2018. 78 s.

ENSURING FIRE SAFETY OF PARKING SPACES FOR ELECTRIC VEHICLES: REGULATORY REGULATIONS AND DESIGN DECISIONS

Boronina¹ L.V., Bodnya² M.S., Dobrinskaya³ A.A., Sukhov¹ A.S.

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, 129337, Moscow, Yaroslavskoye highway, 26, e-mail: boroninalv@gmail.com

² Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 414056, Astrakhan, Tatisheva str., 18, e-mail: bodnya@mail.ru

³ Volgograd State Technical University, 400074, Volgograd, Akademicheskaya str., 1, e-mail: sax.nastya@yandex.ru

Abstract. The growing number of electric vehicles is changing the burden on urban infrastructure and placing new demands on parking safety. Enclosed parking spaces are particularly vulnerable due to high traffic density and limited ventilation, which increases the likelihood of large and difficult-to-control fires. The need to integrate battery monitoring systems and improved ventilation is becoming a key factor in reducing the likelihood of major incidents. The rapid growth of the fleet of electric vehicles worldwide is accompanied by an increase in the number of fires involving them. Extinguishing lithium batteries carries unique risks: thermal flare-up, release of flammable and toxic gases, intense heat generation and re-ignition. Existing versions of standard fire extinguishing systems designed for cars with internal combustion engines are often ineffective against ignition of lithium batteries, which poses a significant threat to the safety of people and the safety of property in closed parking lots. This is reflected in the limited effectiveness of existing spray systems, problems with the removal of combustion products, and lengthy work on the restoration of facilities after incidents. Only a combination of engineering, organizational and regulatory measures ensures sustainable risk reduction in parking lots for electric vehicles. This requires a fundamentally new approach to the design of fire extinguishing systems and a comprehensive analysis and adjustment of the regulatory framework. The article provides a comparative review of Russian, American and European regulatory documentation in the field of fire extinguishing systems design for enclosed parking lots with electric vehicles, based on the identified shortcomings, modern Russian design solutions are proposed.

Subject: Analysis of regulatory requirements and development of practical design solutions to ensure fire safety of enclosed parking spaces operated by electric vehicles.

Materials and methods: Comparative analysis of current regulatory documents, modeling scenarios of thermal ignition of lithium-ion batteries, evaluation of the effectiveness of detection and extinguishing systems, as well as economic and technical verification of the proposed measures.

Results: Key issues in existing standards and design schemes have been identified; adapted schemes for spraying and increasing the frequency of supply of extinguishing agents have been substantiated; measures for local detection of thermal ignition and recommendations for organizational and technical training of personnel have been proposed; a preliminary assessment of the cost ratio and the expected damage reduction has been carried out.

Conclusions: A comprehensive modernization of design approaches and regulatory framework is needed, taking into account the specifics of lithium batteries: the introduction of targeted engineering solutions, updating operating regulations and staff training will significantly reduce risks to people and property and increase the resistance of parking lots to fires involving electric vehicles.

Key words: fire extinguishing systems, electric vehicles, re-ignition, safety, lithium-ion batteries.

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 697.69

ДИАГНОСТИКА ВЫТЯЖНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ НА СКЛАДАХ ХИМИЧЕСКОГО ЦЕХА ТЭЦ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ РАБОТЫ

Мартяшева В.А.¹, Важаев К.В.^{1,2}, Резяпов Т.Р.³, Резяпов Б.Р.³, Баландина А.Г.¹

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ул. Менделеева, д. 195, 450080, Уфа, Российская Федерация,
E-mail: martyashova@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,
ул. Заки Валиди, д. 32, 450076, Уфа, Российская Федерация,
E-mail: martyashova@mail.ru

³ООО «Промышленная экология»,
ул. Владивостокская, д. 1А, офис 425, 450078, Уфа, Российская Федерация,
E-mail: promecoufa.ru

Аннотация. В настоящей работе приведены результаты диагностики, описаны проблемы, выявленные в работе вытяжных вентиляционных систем в складских помещениях для хранения реагентов в химическом цехе на ТЭЦ, и разработаны меры по повышению эффективности их работы. Результаты диагностического обследования показали необходимость реконструкции и замены вентиляционного оборудования и воздухопроводов с большим физическим и моральным износом, существенно ухудшившие технико-экономические показатели работы предприятия. В помещениях складов произведен демонтаж устаревшего вентиляционного оборудования и воздухопроводов из «черного» металла, установлены воздухопроводы и крышные вентиляторы из современных материалов, не подлежащих коррозии.

Проведенные мероприятия позволяют:

- повысить надежность работы, энергетическую и экологическую эффективность вытяжной вентиляции;
- оптимизировать режим эксплуатации воздухопроводов;
- экономить энергоресурсы предприятия вследствие снижения затрат электроэнергии на перемещение воздушных масс;
- минимизировать объем выбросов паров серной кислоты, аммиака и щелочи, содержащихся в химически загрязненном воздухе складских помещений.

Предмет исследования: системы вытяжной вентиляции складов реагентов химического цеха ТЭЦ.

Методы и материалы: В работе использован практический метод анализа существующего состояния оборудования.

Результаты: Анализ технического состояния и диагностика работы вытяжной вентиляции в помещении складов реагентов на площадке химического цеха, находящегося в эксплуатации ТЭЦ, подтвердили необходимость замены воздухопроводов из «черного» металла и устаревшего вентиляционного оборудования на современное с высокой эффективностью работы. Выполнен демонтаж воздухопроводов и оборудования с большим физическим износом, смонтированы коррозионно устойчивые воздухопроводы из полипропилена, установлены современные крышные вентиляторы в коррозионностойком исполнении, смонтирована аварийная вытяжная вентиляция, рассчитанная на 10-кратный воздухообмен в час. Производство ремонтно-строительных работ осуществлялись во вредных условиях труда без остановки технологического процесса.

Выводы: в результате проведенной модернизации оптимизирован режим эксплуатации воздухопроводов и вентиляторов. Выполненные мероприятия позволили повысить надежность работы и технико-экономические показатели ТЭЦ и минимизировать количество выбросов вредных веществ в атмосферу.

Ключевые слова: вытяжная система вентиляции, склад реагентов, диагностика, серная кислота, аммиак, диагностика, демонтаж, монтаж.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем современности в области охраны окружающей среды является минимизация вредных выбросов в атмосферу. Одно из решений этой проблемы согласно Закону РФ «Об охране окружающей среды» и Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности "Правила безопасности химически опасных производственных объектов" является применение эффективных вентиляционных систем, позволяющих уловить, очистить и существенно снизить объем вредных веществ, выделяющихся в процессе производства.

Микроклимат в производственных помещениях, организованный эффективно работающей вентиляцией и отвечающий нормативным требованиям – залог здоровья обслуживающего персонала, обеспечивающего требуемую производительность труда [1-4].

Одна из самых распространенных проблем при эксплуатации вентиляционных систем – ее неисправность и использование устаревшего оборудования с высоким процентом физического износа, что выявляется при диагностике и техническом обслуживании. Наличие вредных газов, выделяющихся в технологическом процессе, крайне опасно для здоровья людей и зачастую приводит к нарушению нормального режима работы предприятия. Отсюда следует актуальность

задач, связанных с диагностикой и совершенствованием работы вентиляционных систем предприятий и особенно опасных производственных объектов.

В настоящей работе рассмотрены вопросы эксплуатации и диагностика приточно-вытяжной вентиляции в помещении складов реагентов на площадке химического цеха, находящегося в эксплуатации ТЭЦ. Химический цех ТЭЦ является опасным производственным объектом (III класс опасности).

ТЭЦ — теплоэлектроцентраль расположена в непосредственной близости к промышленной площадке предприятия нефтеперерабатывающей промышленности и снабжает тепловой энергией, паром и горячей водой на нужды отопления административное и производственные здания завода. Функционально объект предназначен для получения воды высокого качества для обеспечения работы оборудования ТЭЦ без повреждений и снижения экономичности, вызванных коррозией внутренних поверхностей водоподготовительного, теплоэнергетического оборудования, а также предотвращения образования накипи и отложений на теплопередающих поверхностях, отложений в проточной части турбин, шлама в оборудовании и трубопроводах.

Первая очередь ТЭЦ была сдана в эксплуатацию в 1956 году. Развитие теплоэлектроцентрали продолжалось до конца 80-х годов XX века. В 90-е годы прошлого века в результате спада производства на нефтехимических предприятиях республики часть оборудования ТЭЦ оказалась невостребованной. Оборудование, отработавшее более 60 лет, морально и физически устарело, в результате ухудшились технико-экономические показатели работы предприятия.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В работе использован практический метод анализа существующего состояния оборудования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Основной упор на ТЭЦ, впрочем, как и на остальных предприятиях отрасли, делается на совершенствование основного технологического оборудования. К сожалению, на такие системы, как вентиляция, порой не обращается столь

пристального внимания. Поэтому состояние вентиляционного оборудования и воздуховодов в таких зданиях, как, например, склады для реагентов, оставляет желать лучшего. С момента запуска ТЭЦ до 2023 года система вентиляции не диагностировалась и не обследовалась, а оборудование и воздуховоды не обновлялись. Устаревшее оборудование и высокий процент физического износа воздуховодов и вентиляторов потребовали тщательной их диагностики и анализа работы.

В мае 2023 года ООО «Промышленная экология» (далее «ПромЭко») провело обследование состояния приточно-вытяжной вентиляции складских помещений для хранения химических реагентов – серной кислоты, щелочи и аммиака. В помещении складов химического цеха установлены баки для реагентов (склад кислоты, щелочи и аммиачного хозяйства). По взрыво- и пожароопасности складские помещения принадлежат к категории Д. Емкости, применяемые на производственном объекте химического цеха ТЭЦ, представляют собой сварные резервуары вертикальные стальные (РВС), установленные на подготовленное основание. Резервуары снабжены люками и штуцерами для оборудования и имеют стационарную крышу.

На рис.1 показано аммиачное хозяйство с вытяжной системой вентиляции, существующей с 60-х годов прошлого века.

На рис. 2 показаны устаревшие системы стальных воздуховодов с лакокрасочным покрытием, нанесенным с целью кратковременной защиты воздуховодов из «черного» металла, а также для скрытия металлических «заплаток» на вентиляционной сети.

На рис. 3 показан внешний вид металлического короба системы В11, выходящего на кровлю (А), и часть вытяжной шахты на кровле здания (Б).

На фотографиях четко видны вентиляционные системы с явной коррозией металла, образовавшейся из-за воздействия паров агрессивной среды, возникающих при хранении химических реагентов в помещении складов.

На рис. 4 показаны следы выбросов паров серной кислоты через системы технологических вытяжных вентиляций В9-В12 на кровле здания.



Рис. 1. Аммиачное хозяйство с устаревшей вытяжной системой вентиляции.

Fig. 1. Ammonia facility with an outdated exhaust ventilation system.

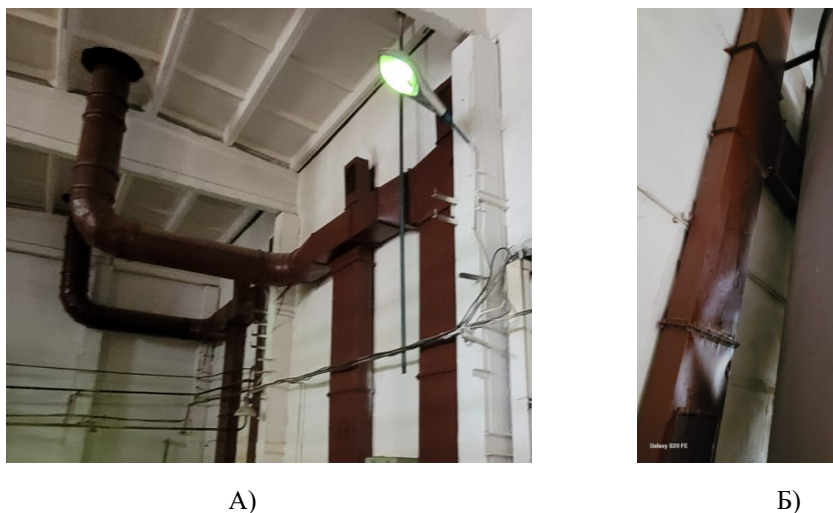


Рис. 2. Состояние технологических вытяжных вентиляционных систем В9, В10 (А) и В11 (Б), выполненных из «черного» металла, на начало проведения обследования.
Fig. 2. The condition of technological exhaust ventilation systems В9, В10 (А) and В11 (Б), made of “black” metal, at the beginning of the survey.

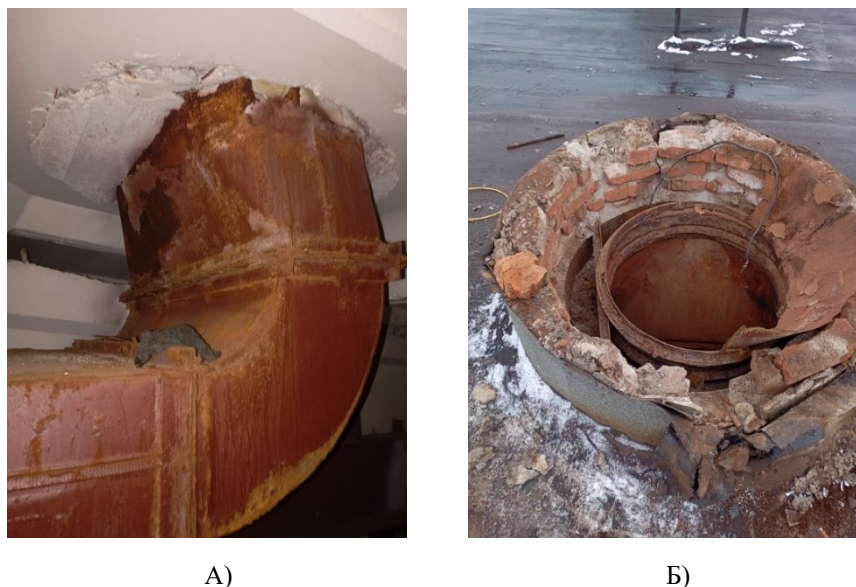


Рис. 3. Внешний вид металлического короба системы В11, выходящего на кровлю (А), и часть вытяжной шахты на кровле здания (Б) до начала обследования.
Fig. 3. The appearance of the metal box of the В11 system facing the roof (А), and part of the exhaust shaft on the roof of the building (Б) before the survey begins.

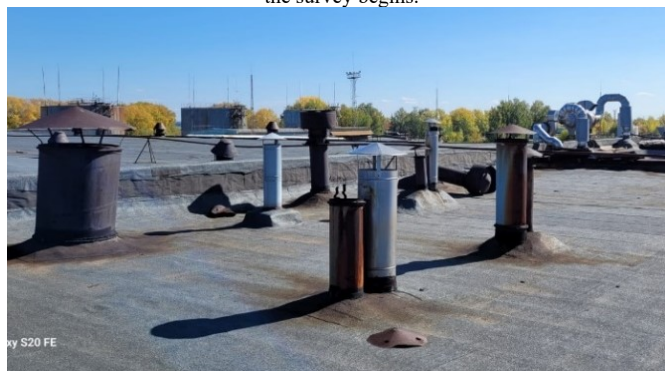


Рис. 4. Следы выбросов паров химических реагентов систем технологических вытяжных вентиляций В9-В12 на кровле здания.
Fig. 4. Traces of emissions of vapors of chemical reagents of systems of technological exhaust ventilation В9-В12 on the roof of the building.

При оценке работы имеющегося оборудования систем вытяжной вентиляции и анализе материала, показанного на фотографиях, можно сделать следующие выводы о состоянии основного оборудования и вентиляционных сетей:

- на фотографиях видно, что воздуховоды загрязнены, что указывает на недостаточную мощность вытяжных вентиляторов, и значительные аэродинамические потери;

- воздуховоды имеют участки с «заплатками», покрыты коррозией из-за воздействия паров химических реагентов, так как выполнены из «черного» металла и имеют длительный срок эксплуатации;

- существенная вибрация насосов, вентиляционной сети и оборудования, обнаруженные при диагностировании, могут указывать на проблемы с вентиляторами и недостаточно прочным их креплением.

На основании результатов диагностического обследования предприятия ООО «ПромЭко» предстояло провести ремонтно-строительные работы в помещениях складов для хранения серной кислоты, щелочи и аммиака с целью совершенствования системы вентиляции и повышения эффективности ее работы. ООО «ПромЭко» - одно из ведущих предприятий Республики Башкортостан в сфере диагностики, комплексного обслуживания и ремонта систем вентиляции. Работники предприятия совместно с сотрудниками Уфимского государственного нефтяного технического университета имеют большой опыт исследований на особо вредных производственных объектах [5-7].

Работы проводились в соответствии с заданием на проектирование по договору «Техническое перевооружение систем вентиляции в помещении складов реагентов с обеспечением автоматического контроля содержания вредных веществ в химическом цехе ТЭЦ ООО «Башкирская генерирующая компания».

Производство ремонтно-строительных работ проводилось в помещениях без остановки рабочего процесса, с действующим технологическим оборудованием, мебелью, цистернами с химическими веществами. Основная производственная вредность - пары серной кислоты.

Производство ремонтно-строительных работ осуществлялись во вредных условиях труда в ограниченных и замкнутых пространствах в соответствии с рекомендациями Приказа Минтруда России от 15.12.2020 № 902н «Об утверждении Правил по охране труда при работе в ограниченных и замкнутых пространствах».

Основные цели выполнения технического перевооружения и совершенствования работы систем вентиляции в помещении складов реагентов химического цеха ТЭЦ следующие:

- обеспечение автоматического контроля содержания вредных веществ в химическом цехе;

- приведение в соответствие систем вентиляции с требованиями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности.

В соответствии с заданием на проектирование в объем проектных работ входило следующее:

- демонтаж вентиляционного оборудования вытяжных систем В-9 (вентиляторы типа ВРС-3) ÷ В-12 (вентиляторы типа ВРС-4) и монтаж на этом месте вентиляторов в количестве 4 штук в коррозионностойком исполнении типа ВКРС К1 №8, с рабочим колесом 9 лопаток, с мощностью N=4,0 кВт, числом оборотов n=960 об/мин.;

- оснащение склада кислоты, щелочи и аммиачного хозяйства системой АСУТП с установкой средств автоматического непрерывного газового контроля и анализа;

- установка системы сигнализации о неисправной работе вентиляционных систем;

- установка пульта управления вентиляционными установками;

- монтаж световой и звуковой сигнализации о загазованности воздушной среды у входных дверей с передачей технологической сигнализации о включении на щит управления химводоочистки (ХВО);

- устройство автоматической регистрации всех случаев загазованности регистратором аварийных событий «НЕВА-РАС».

Сотрудниками ООО «ПромЭко» на основании проведенной диагностики системы вентиляции объекта были обоснованы и выполнены следующие технические решения.

Установлены утепленные монтажные стаканы для вентиляторов из химически стойкого пластика диаметром 630 мм с встроенным обратным клапаном взамен устаревших и практически вышедших из строя (рис. 5).



Рис. 5. Утепленные монтажные стаканы для вентиляторов из химически стойкого пластика диаметром 630 мм с встроенным обратным клапаном.
Fig. 5. Insulated mounting cups for fans made of chemically resistant plastic with a diameter of 630 mm and a built-in check valve.

Смонтирована аварийная вытяжная вентиляция, рассчитанная на 10-кратный воздухообмен в час и поддерживающая нормируемую ПДК в помещении по серной кислоте, аммиаку и аэрозоли щелочи (едкий натр). Удаление воздуха осуществляется крышными вентиляторами в количестве четырех штук, из верхней и нижней зон в соотношении 1/3 и 2/3 соответственно. Общее количество удаляемого воздуха составляет 36000 м³/час, количество удаляемого воздуха на одну систему составляет 9000 м³/час.

Крышные вентиляторы предусмотрены серии "VSR-PE" из полиэтилена, предназначенные для перемещения невзрывоопасных, газопаровоздушных агрессивных сред.

Включение аварийной вентиляции предусмотрено автоматическое по сигналу газоанализатора при превышении ПДК в помещении по серной кислоте, как наиболее опасному вредным парам веществу. Дополнительно

предусмотрено ручное включение вентиляторов у входа в помещение, снаружи помещения.

Также предусмотрено включение аварийной сигнализации снаружи у входа в помещение с сопровождением подачи светового и звукового сигналов при возникновении загазованности в помещении. В случае неисправной работы вентиляционных систем предусмотрена сигнализация в помещении управления.

В случае пожара все вытяжные установки отключаются автоматически по пожарному сигнализатору.

Воздуховоды для систем аварийной вентиляции установлены пластиковые - полипропиленовые, стойкие к перемещениям газопаровоздушной смеси с примесями паров серной кислоты (рис. 6 системы В9 (А) и В10 (Б)).

На рис. 7 В11(А) и В12 (Б) показан монтаж полипропиленовых воздуховодов технологических вытяжных систем В11(А) и В12 (Б).



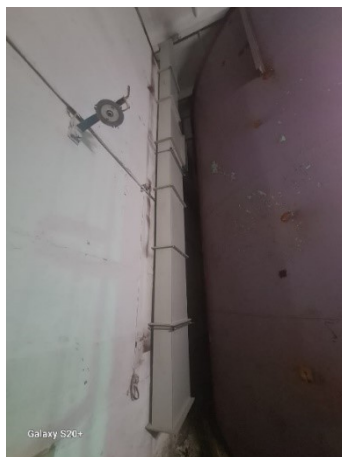
А)



Б)

Рис. 6. Полипропиленовые воздуховоды технологических вытяжных систем В9 (А) и В10 (Б).

Fig. 6. Polypropylene ducts for technological exhaust systems V9 (A) and V10 (B).



А)



Б)

Рис. 7. Монтаж полипропиленовых воздуховодов технологических вытяжных систем В11(А) и В12 (Б).

Fig. 7. Installation of polypropylene ducts for technological exhaust systems B11(A) and B12 (B).

В объемы автоматизации включена информации от следующих систем:

- технологическое оборудование (насосы в помещениях складов);
- система пожарной сигнализации (отключение вентиляции при пожаре);
- контроль работы самих вентиляционных установок (по температурному реле пускателей).

Местные вентиляционные системы, удаляющие химически опасные вещества, сблокированы с пусковым устройством технологического оборудования (насосов) и должны включаться одновременно с включением оборудования и выключаться после выключения оборудования.

Для склада аммиака предусмотрены насосы марки НДА-5 и НДА-6. Для получения сигнала, что насос в работе, установлено реле на цепи питания электродвигателей насосов. По сигналу контактов данного реле происходит пуск вентилятора.

Для склада кислоты и щелочи установлены насосы марки НПК-1А, НПК-2А, НПЩ-1А, НПЩ-2А. Для получения сигнала, что насос в работе, принят «сухой контакт» пускателя, показывающий, что напряжение подано на цепь питания электродвигателей данных насосов. По сигналу контактов данного реле, происходит пуск вентиляторов вытяжных систем В9-В12.

Также, при срабатывании термозащиты пускателя, происходит световая сигнализация на самом шкафу управления и в диспетчерской на панели главного щита управления ХВО.

При пожаре предусмотрена остановка всех вентиляционных систем.

При загазованности (превышение ПДК в рабочей зоне) алгоритм, реализованный в шкафу управления вентиляцией (ШУВ), запускает вентиляционные системы.

Для контроля загазованности применяются стационарные одноканальные газоанализаторы ГАНК-4С. По нормам необходимо не менее 1 газоанализатора на 200 м² площади промышленного помещения. В складе кислоты и щелочи установлено в 2 раза больше газоанализаторов, так как необходим контроль концентрации двух веществ: серной кислоты и едкого натра, находящихся в одном помещении.

Газоанализаторы срабатывают по достижению концентрацией измеряемой пробы значения ПДК.

ПДК в воздухе рабочей зоны для контролируемых веществ:

- аммиак – 20 мг/м³;
- пары серной кислоты – 1 мг/м³;
- едкий натр (аэрозоль щелочи) – 0,5 мг/м³.

При обнаружении загазованности (сработал порог ПДК) любым из установленных на складах газоанализаторов, происходит запуск светозвуковой сигнализации. Так как склады являются помещениями с временным пребыванием персонала, то пост светозвуковой сигнализации ставится снаружи помещения у входа в него. Для снижения риска персонала во время аварии предусмотрена установка дополнительных постов

световой сигнализации загазованности: одного (на складе аммиака) и двух (на складе кислоты и щелочи).

Также в шкафах управления вентиляцией предусмотрен переключатель для задания ручного режима. В ручном режиме можно включать отдельные вентиляционные системы в тестовом режиме. Работать в «ручном» положении переключателя нельзя, так как алгоритмы управления при этом не действуют, кроме блокировки работы вентиляционных систем при пожаре.

Разработанная и установленная автоматическая система управления технологическим процессом (АСУ ТП) относится к системам длительного пользования, элементы которой должны быть восстанавливаемыми, заменяемыми и обслуживаемыми. Надежность системы должна обеспечивать гарантированное выполнение информационных и управляющих функций, а также функций безопасности в заданных пределах.

Количественные показатели надежности системы в целом должны составлять не менее:

- средняя наработка на отказ по информационным и управляющим функциям – 20000 часов;
- средняя наработка на отказ по функциям безотказности – 40000 часов;
- среднее время восстановления работоспособности по любой из выполняемых функций – не более 0,5 часа;
- коэффициент готовности по основным функциям – не менее 0,99;
- функциональный срок службы системы – не менее 10 лет;
- периодичность обслуживания – не менее 1 года.

Для увеличения надежности АСУ ТП необходимо обеспечить диагностику и контроль работоспособности оборудования как АСУ ТП, так и КИП и А.

Склад аммиака, а также склад кислоты и щелочи по взрыво-и пожароопасности помещения принадлежат к категории Д, поэтому все применяемые средства автоматизации (газоанализаторы, посты сигнализации) по взрывозащите относятся к общепромышленному исполнению (без взрывозащиты).

Монтаж систем вентиляции проводился согласно СП 73.13330.2016 «Внутренние санитарно-технические системы», СП 336.1325800.2017 «Системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила эксплуатации», СП 76.13330.2016 "Электротехнические устройства" и инструкциям заводов - изготовителей по монтажу и эксплуатации на соответствующие приборы и оборудование. Для увеличения надежности АСУ ТП необходимо было обеспечить диагностику и контроль работоспособности оборудования АСУ ТП и КИПиА.

Техническое перевооружение в части демонтажных и монтажных работ вентиляционного оборудования химического цеха ТЭЦ ООО

«Башкирская генерирующая компания» не предусматривало увеличения количества и состава вредных выбросов атмосферу и сбросов в водные источники.

Для уменьшения воздействия на окружающую среду все работы производились только в пределах зоны ремонтных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе выполнена диагностика работы вентиляционного оборудования и состояние воздухопроводов с целью оценки эффективности и оптимизации эксплуатационных характеристик систем вытяжной вентиляции в химическом цехе. Проведены диагностика и анализ состояния приточно-вытяжной вентиляции складов по хранению вредных веществ на ТЭЦ. Определен основной фактор, снижающий эффективность работы вентиляционных систем - физический и моральный износ оборудования.

В результате исследований были выявлены проблемы в работе вентиляционной системы и разработаны меры по их устранению и совершенствованию ее эксплуатации:

- выбор и монтаж новых вентиляторов в коррозионностойком исполнении для обеспечения достаточной производительности воздушного потока при одновременном снижении энергопотребления за счет повышения аэродинамической эффективности;

- замена изношенных воздухопроводов из «черного» металла на сеть из полимерных материалов для минимизация потерь давления за счет более гладких внутренних поверхностей;

- установка современных газоанализаторов для эффективности и надежности контроля за содержанием вредных веществ.

Произведен демонтаж морально устаревшего вентиляционного оборудования и воздухопроводов с большим физическим износом. Сильно проржавевшие воздухопроводы, выполненные из «черного» металла заменены на современные воздухопроводы из полипропилена, не подлежащие коррозии, стойкие к перемещениям газопаровоздушной смеси с примесями паров серной кислоты и едкого натра (аэрозоль щелочи).

Выполнена замена устаревших газоанализаторов на современные с запуском свето-звуковой сигнализации в случае превышения ПДК вредных веществ - паров серной кислоты и аэрозоли щелочи.

Предусмотрена аварийная вытяжная вентиляция, рассчитанная на 10-кратный воздухообмен в час и поддерживающая нормируемую ПДК в помещении по серной кислоте. Установлены крышные вентиляторы для удаления воздуха из верхней и нижней зон в соотношении 1/3 и 2/3 соответственно. Произведена замена физически изношенных крышных вентиляторов на усовершенствованные вентиляторы в коррозионном исполнении серии "VSR-PE" из полиэтилена, предназначенные для перемещения

невзрывоопасных, газопаровоздушных агрессивных сред.

Предложенные мероприятия в совокупности повысили эффективность работы систем вытяжной вентиляции складских помещений за счет снижения потребления энергии и минимизации возможных выбросов вредных веществ в окружающую среду. Эти усовершенствования обеспечивают соответствие промышленным стандартам параметров микроклимата помещений, качества удаляемого воздуха и повышают безопасность и надежность работы системы в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марченко, А.В. Экологически и энергетически эффективная вентиляция промышленных предприятий и автомагистралей городов / А.В. Марченко, В.И. Шарапов // Теплоэнергетика и теплоснабжение: Сб. научн. тр. НИЛ «Теплоэнергетические системы и установки» / УлГТУ. Ульяновск, 2004. Вып.2. – С. 196-218.

2. Гримитлин, М.И. Проблемы экономии энергоресурсов в системах вентиляции и отопления промышленных зданий /М.И.Гримитлин //Энергоэффективные технологии. - № 1, СПб, ЛЦТЭЭТ, 1996. – С.22-23.

3. Гримитлин М.И., Позин Г.М. Оценка эффективности вентиляционных систем. Технические испытания и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Л, ЛДНТП, 1990, с.13-17.

4. Эльтерман, В. М. Вентиляция химических производств. /В.М.Эльтерман //3-е изд., перераб. - М.: Химия. - 1980. - 288 с.

5. Важдаяев, К.В. Очистка систем вентиляции на взрывоопасных объектах нефтяной и газовой промышленности / К.В. Важдаяев, В.А. Мартяшева, А.Г. Баландина, Т.Р. Резяпов, А.У. Ибатуллин, Д.А. Осипов // Нефтегазовое дело. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2024. - С. 42-67.

6. Резяпов, Т.Р. Обследование системы вентиляции на опасных производственных объектах /Т.Р. Резяпов, Я.К. Силова, А.А. Хисматуллова //Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук: материалы Междунар. научно-техн. конф. Уфа: УНПЦ «Изд-во УГНТУ». - 2022. – Вып. 15. – С. 325-327.

7. Салимов, Р.В. Диагностирование вентиляционной системы / Р.В. Салимов, Д.Я. Бареев, В.А. Мартяшева //В сб. «Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды». Ст. и тез. V Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. УГНТУ. – Уфа: Изд-во ЦИТО. - 2018. - С. 117-119.

REFERENCES

1. Marchenko, A.V. Environmentally and Energy-Efficient Ventilation of Industrial Enterprises and Urban Highways / A.V. Marchenko, V.I. Sharapov // Heat Power Engineering and Heat Supply: Collection of

scientific papers of the Research Laboratory "Heat Power Systems and Installations" / Ulyanovsk State Technical University. Ulyanovsk, 2004. Issue 2. - Pp. 196-218.

2. Grititlin, M.I. Problems of Energy Saving in Ventilation and Heating Systems of Industrial Buildings / M.I. Grititlin // Energy Efficient Technologies. - No. 1, St. Petersburg, LCTEET, 1996. - Pp. 22-23.

3. Grititlin, M.I., Pozin, G.M. Evaluation of the Efficiency of Ventilation Systems. Technical Testing and Adjustment of Ventilation and Air Conditioning Systems. L, LDNTP, 1990, pp. 13-17.

4. Elterman, V. M. Ventilation of chemical plants. /V.M.Elterman // 3rd ed., revised. - M.: Chemistry. - 1980. - 288 p.

5. Vazhdaev, K.V. Cleaning of ventilation systems at explosive facilities of the oil and gas industry / K.V. Vazhdaev, V.A. Martyasheva, A.G. Balandina, T.R. Rezyapov, A.U. Ibatullin, D.A. Osipov // Oil and Gas

Business. Ufa: Publishing house of USPTU, 2024. - pp. 42-67.

6. Rezyapov, T.R. Inspection of the ventilation system at hazardous industrial facilities /T.R. Rezyapov, Ya.K. Silova, A.A. Khismatullova // Actual problems of technical, natural and humanitarian sciences: proc. Int. scientific-technical conf. Ufa: UNPC "USPTU Publishing House". - 2022. - Issue. 15. - Pp. 325-327.

7. Salimov, R.V. Diagnostics of the ventilation system / R.V. Salimov, D.Ya. Bareev, V.A. Martyasheva // In the collection "Water supply, sanitation and environmental protection systems". Art. and Abstracts of the V Int. scientific-technical conf. of students, postgraduate students and young scientists. USPTU. - Ufa: Publishing house of the Central Institute of Traumatology and Orthopaedics. - 2018. - Pp. 117-119.

DIAGNOSTICS OF EXHAUST VENTILATION SYSTEMS IN THE STORAGE FACILITIES OF THE CHEMICAL SHOP OF THE UFA CHP-4 AND WAYS TO IMPROVE THEIR OPERATION

Martyashova V.A¹, Vazhdaev K.V¹, Rezyapov T.R², Rezyapov B.R², Balandina A.G¹

¹Ufa State Petroleum Technological University, 195 Mendeleeva Street, 450080 Ufa, Russian Federation,
E-mail: martyashova@mail.ru

²LLC Industrial Ecology, Vladivostokskaya str., 1A, office 425, 450078, Ufa, Russian Federation,
E-mail: promecoufa.ru

Abstract. This paper presents the results of diagnostics, describes the problems identified in the operation of exhaust ventilation systems in the storage rooms for storing reagents in the chemical workshop at the CHPP, and develops measures to improve their efficiency.

The results of the diagnostic survey showed the need for reconstruction and replacement of ventilation equipment and ducts with significant physical and moral wear and tear, which significantly worsened the technical and economic performance of the enterprise. In the warehouse premises, outdated ventilation equipment and ducts made of "black" metal were dismantled, and ducts and roof fans made of modern materials that do not corrode were installed.

These measures will allow:

- to increase the reliability of operation, energy efficiency, and environmental friendliness of exhaust ventilation; - to optimize the operation of ducts;
- to optimize the operation of the air ducts; - to save energy resources of the enterprise due to reducing the cost of electricity for moving air masses;
- to minimize the amount of emissions of sulfuric acid, ammonia and alkali vapors contained in chemically contaminated air of storage rooms.

Subject of research: exhaust ventilation systems of warehouses reagents of the chemical workshop of the CHP.

Methods and materials: The work used a practical method of analysis of the existing state of equipment.

Results: Analysis of the technical condition and diagnostics of the operation of the exhaust ventilation in the premises of the warehouses of reagents on the site of the chemical workshop, which is in operation of the CHP, confirmed the need to replace the ducts of "black" metal and outdated ventilation equipment with modern ones with high efficiency of operation. The dismantling of ducts and equipment with a large physical wear was carried out, corrosion-resistant ducts made of polypropylene were mounted, modern roof-mounted fans in a corrosion-resistant design were installed, and an emergency exhaust ventilation system was mounted, designed for 10-fold air exchange per hour. The repair and construction work was carried out in hazardous working conditions without stopping the technological process.

Conclusions: As a result of the modernization, the operation of the air ducts and fans was optimized. The implemented measures improved the reliability and technical and economic performance of the thermal power plant and minimized the amount of harmful emissions into the atmosphere.

Key words: exhaust ventilation system, reagent warehouse, diagnostics, sulfuric acid, ammonia, diagnostics, dismantling, installation.

ПРИМЕСНЫЕ ЧАСТИЦЫ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Гусенцова Я.А.¹, Красногрудов А.В.², Родыгина М.М.³, Высоцкая Н.Д.⁴^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля»

291034, Луганская Народная Республика, г.о. Луганский, г. Луганск, кв. Молодежный, 20А

⁴ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», институт «Агротехнологическая академия»
295492, Республика Крым, г. Симферополь, п. Аграрное, институт «Агротехнологическая академия»E-mail: ¹gusentsova@gmail.com, ²krasnogrudov@mail.ru, ³sunsara_06@mail.ru, ⁴natali.v-v@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу времени пребывания частиц в системах вентиляции. Под временем пребывания понимается продолжительность нахождения отдельной частицы или элемента потока внутри объема аппарата или системы от момента входа до момента выхода. Исследование этого параметра является важным для оценки эффективности воздухообмена, равномерности распределения свежего воздуха и качества микроклимата в помещении.

В зависимости от вида входного воздействия получена: дифференциальная функция распределения, характеризующая долю частиц, время пребывания которых близко к заданному значению; интегральная функция распределения времени пребывания частицы в потоке ($C(\tau)$).

Отмечено, что среднее время пребывания является ключевым расчетным параметром, и для идеализированных моделей потоков определяется как отношение объема аппарата к объемному расходу потока, структура потока в вентилируемом помещении напрямую определяет распределение времени пребывания частиц в потоке.

Анализ характеристик времени пребывания, приведенный в статье, позволяет оценить эффективность работы системы вентиляции и перемешивания воздуха.

Полученные результаты могут быть полезными для оптимизации систем вентиляции с целью повышения эффективности перемешивания воздушных масс и улучшения качества воздуха в помещениях. Это также может иметь практическое применение в области обеспечения безопасности и санитарии в зданиях и помещениях с высокими требованиями к системам вентиляции.

Предметом исследования является анализ времени пребывания частиц в системах вентиляции, что является важным для оценки эффективности воздухообмена, равномерности распределения свежего воздуха и качества микроклимата в помещении.

Материалы и методы: исследование времени пребывания частиц в системе вентиляции включают использование методов моделирования, экспериментов и анализа данных для определения связей между различными параметрами.

Результаты: На основе проведенного исследования выполнен анализ среднего времени пребывания частиц в потоке, определено распределение времени пребывания частиц в потоке. Анализ среднего времени пребывания частиц в потоке позволяет оценить общую эффективность перемешивания. Большое среднее время пребывания может свидетельствовать о необходимости оптимизации системы вентиляции.

Распределение времени пребывания частиц в потоке охарактеризовано дисперсией. Установлено, что низкая дисперсия указывает на равномерное перемешивание, в то время как высокая дисперсия может свидетельствовать о неравномерном распределении частиц.

Идентификация выбросов и аномалий в данных о времени пребывания частиц позволяет выявить возможные неисправности в системе вентиляции, требующие дополнительного внимания и регулировки.

Статистические характеристики времени пребывания частиц в потоке систем вентиляции и перемешивания являются важными для понимания и оптимизации гидродинамических процессов в этих системах.

Выводы: Анализ среднего времени пребывания частиц в потоке позволяет оценить общую эффективность перемешивания. Распределение времени пребывания частиц в потоке может быть охарактеризовано дисперсией. Идентификация выбросов и аномалий в данных о времени пребывания частиц позволяет выявить возможные неисправности в системе вентиляции. Исследование связи времени пребывания частиц с различными параметрами работы системы вентиляции может предоставить дополнительные возможности для оптимизации процессов вентиляции.

Ключевые слова: перемешивающая вентиляция, турбулентность, время пребывания частиц в потоке, статистические характеристики, входной сигнал.

ВВЕДЕНИЕ

Основная роль вентиляции – защита здоровья и жизни работников путем контроля за воздушной средой в рабочей зоне. Ее значение можно разделить на несколько важных функций: поддержание требуемых параметров микроклимата в помещениях; обеспечение кислородом и удаление избыточного тепла и влаги в воздухе помещений; защита от взрывов и пожаров; защита от биологических загрязнителей [2, 12].

Примеси в вентиляционных системах промышленных предприятий можно систематизировать по физическому состоянию и отраслевой специфике. По физическому состоянию можно выделить твердые частицы (пыль и аэрозоли), газообразные вещества, жидкие аэрозоли и пары, биологические примеси. Типичные примеси по отраслям промышленности: металлургия и металлообработка, химическая и нефтехимическая промышленность, деревообработка и целлюлозно-бумажное производство, пищевая промышленность и др.

Примеси представляют серьезную угрозу для безопасности труда. Они могут вызывать острые и хронические заболевания, снижать работоспособность и приводить к профессиональным патологиям. Основные риски связаны с воздействием на органы дыхания, кожу, слизистые оболочки и общее состояние здоровья работников.

Перемешивающая вентиляция – это один из основных способов распределения воздуха в помещении, при котором высокоскоростной турбулентный поток приточного воздуха активно перемешивается с воздушной массой помещения.

Это создает относительно равномерное поле температур и скоростей по всему объему. В таких системах частицы пыли, микроорганизмы и другие взвешенные вещества подвергаются воздействию воздушных потоков, что влияет на качество воздуха и комфорт людей. В приведенной статье рассматривается поведение частиц в потоке перемешивания, ключевые факторы влияния и особенности проектирования таких систем.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Поведение частиц в потоке перемешивающей вентиляции определяется сложным взаимодействием аэродинамических сил, свойств частиц и параметров воздушного потока [1, 4]. Правильное проектирование систем перемешивающей вентиляции, включая выбор воздухораспределителей с высоким коэффициентом эжекции и учет факторов, влияющих на движение частиц, позволяет обеспечить высокое качество воздуха и комфортные условия в помещении. Однако в помещениях с высокими требованиями к чистоте воздуха (например, медицинские учреждения) целесообразно комбинировать перемешивающую вентиляцию с вытесняющей для достижения оптимальных результатов.

Время пребывания частиц в потоке перемешивания системы вентиляции является критическим параметром, определяющим эффективность воздухообмена, распределение загрязняющих веществ и качество микроклимата в помещении. Этот показатель отражает среднюю продолжительность нахождения воздушных частиц (или загрязнений) в вентилируемом пространстве до их удаления. Расчет времени пребывания позволяет оптимизировать работу вентиляционных систем, обеспечивая энергоэффективность и соответствие санитарно-гигиеническим нормам.

Расчет времени пребывания частиц в потоке перемешивания системы вентиляции является неотъемлемой частью проектирования и эксплуатации современных вентиляционных

систем [5, 7]. Он напрямую влияет на здоровье людей, энергопотребление и соответствие нормативным требованиям. Дальнейшее развитие методов расчета будет способствовать созданию более эффективных автоматизированных систем вентиляции, адаптирующихся к изменяющимся условиям.

Применительно к системам вентиляции «время пребывания частиц в потоке» обычно означает период времени, в течение которого частицы находятся в воздушном потоке системы вентиляции перед тем, как покинуть систему или быть удаленными. Это важный параметр для оценки эффективности системы вентиляции, особенно в контексте удаления загрязнений из воздуха, таких как пыль, газы или микроорганизмы [3, 9].

Время пребывания частиц в потоке в системе вентиляции зависит от типа потока (ламинарный, турбулентный поток [1, 11], характера сигнала [6, 10] и ряда других факторов [4, 9].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование времени пребывания частиц в системе вентиляции включают использование методов моделирования и анализа данных для определения связей между различными параметрами. Рассмотрены различные характеристики возмущения (импульсное, частотное).

Частотный анализ позволил заменить временные функции частотными с помощью операторного метода Лапласа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Исследование времени пребывания частиц в системе вентиляции может включать в себя использование методов моделирования, экспериментов и анализа данных для определения связей между различными параметрами.

При ступенчатом возмущении меняют входную величину (например, расход воздуха, расход теплоносителя в калорифере, его температуры и т.д.) до нового значения скачком и получают так называемую *F*-выходную кривую (рис. 1, а).

При импульсном возмущении получают так называемую *C*-выходную кривую (рис. 1, б). При частотном возмущении входная величина изменяется по закону гармонического колебания и на выходе получают измененную синусоиду по амплитуде и фазе (рис. 1, в).

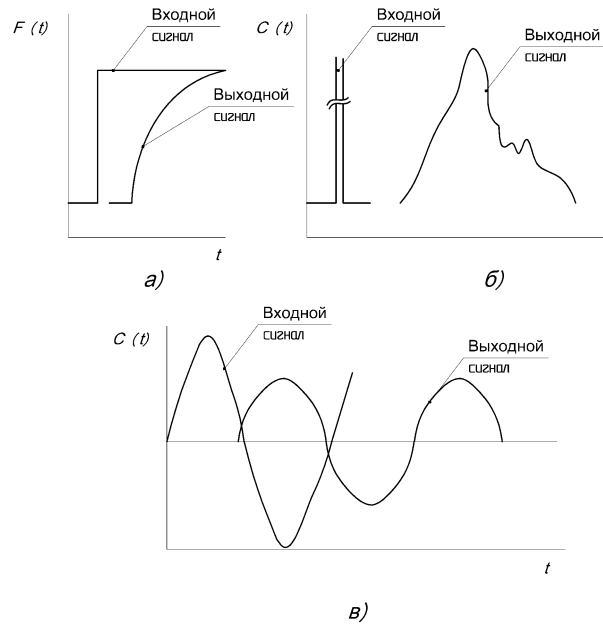


Рис.1. Виды входных и выходных сигналов
 Fig. 1. Types of input and output signals

Статистическая функция распределения входного сигнала (при нанесении импульсного возмущения записывается, С-кривая) в виде [6]:

$$C = \int_0^{\infty} \tau C(\tau) d\tau. \quad (1)$$

Среднее время пребывания $\bar{\tau}$ можно определить следующим образом:

$$\bar{\tau} = \frac{\int_0^{\infty} \tau C(\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} C(\tau) d\tau} \approx \frac{\sum \tau C}{\sum C}. \quad (2)$$

Обычно $C(\tau)$ представляют в виде:

$$C(\tau) = \frac{1}{\tau} \frac{C}{C_0} = \frac{C}{\sum C \Delta\tau}, \quad (3)$$

где $\Delta\tau$ – интервал измерения параметра; C – значение параметра; C_0 – начальное значение параметра.

Безразмерное время пребывания в равно:

$$\theta = \frac{\tau}{\bar{\tau}}. \quad (4)$$

Если известно среднее времени τ , С-кривая может выражаться уравнением:

$$C = \frac{C}{C_0} = \tau C(\tau), \quad (5)$$

где C_0 – начальное значение параметра.

Дисперсия рассматриваемой величины около среднего значения определяется формуле [6, 11]:

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{\sum x_i^2 f(x_i)}{\sum f(x_i)} - \left[\frac{\sum x_i f(x_i)}{\sum f(x_i)} \right]^2. \quad (6)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \sum f(x_i) &= \sum C_i; \sum x_i f(x_i) = \sum \tau_i C_i; \\ \sum x_i^2 f(x_i) &= \sum \tau_i^2 C_i. \end{aligned} \quad (7)$$

В безразмерных единицах времени σ^2 :

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_{\tau}^2}{(\bar{\tau})^2}, \quad (8)$$

или

$$\sigma^2 = \frac{\sum \theta^2 C}{\sum C} - 1 = \sum \theta^2 C \Delta\theta - 1. \quad (9)$$

Связь между функциями распределения при ступенчатом и импульсном возмущении [8]:

$$F = \int_0^{\theta} C d\theta; \quad C = \frac{dF}{d\theta}. \quad (10)$$

Умножив $C(\tau)d\tau S$ на значение параметра C_A , определяем среднюю величину параметра \bar{C}_A :

$$\bar{C}_A = \int_{\tau=0}^{\tau=\infty} C_A C(\tau) d\tau. \quad (11)$$

Линейными системами назовем такие, для которых между входной и выходной величиной имеется прямая пропорциональность, т. е.

$$\frac{\Delta(\text{выход})}{\Delta(\text{вход})} = \frac{d(\text{выход})}{d(\text{вход})}, \quad (12)$$

или интегрируя, получим:

$$\text{выход} = k_1(\text{вход}) + k_2. \quad (13)$$

Линейные процессы обладают следующими особенностями:

1. Если ряд независимых линейных процессов протекает последовательно в системе, то их результирующий эффект есть также линейный процесс.

2. Результирующий эффект индивидуальных линейных процессов, протекающих последовательно, может быть проанализирован на основе рассмотрения отдельных процессов.

Частотные характеристики [8]. получают циклическим изменением возмущения (рис. 1, в) с определенной частотой. Частотный анализ позволяет заменять временные функции частотными с помощью операторного метода Лапласа [3]:

$$F(p) = \int_0^{\infty} \exp(-p\tau) f(\tau) d\tau. \quad (14)$$

Таким образом, если имеется функция $f(\tau)$, описывающая поведение какой-либо системы во времени, то ее можно заменить соответствующей ей функцией $F(p)$ произвольной комплексной переменной $p = a + j\omega$ (где $j = \sqrt{-1}$, ω – частота). Операция перехода оригинала к изображению:

$$F(p) \div f(\tau), F(p) = L[f(\tau)].$$

Обратное преобразование Лапласа:

$$f(\tau) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} F(p) \exp(-p\tau). \quad (15)$$

Из этого выражения по величине $F(p)$ можно найти $f(t)$. Сокращенное обозначение перехода имеет вид:

$$f(\tau) \div F(p), f(\tau) = L^{-1}[F(p)].$$

Используя преобразования Лапласа, дифференциальные уравнения приводим к уравнениям в операторной форме:

$$\begin{aligned} \frac{df}{d\tau} \div pF(p) - pf(0); \\ \frac{d^2f}{d\tau^2} \div p^2F(p) - p^2f(0) - pf'(0); \\ \frac{d^nf}{d\tau^n} \div p^nF(p) - p^nf(0) - p^{n-1}f'(0) - \dots - pf^{(n-1)}(0). \end{aligned} \quad (16)$$

При нулевых начальных условиях для функций $f(\tau)$ вместе с производными до $(n-1)$ порядка равны нулю, формулы можно упростить:

$$\begin{aligned} \frac{df}{d\tau} \div pF(p); \\ \frac{d^2f}{d\tau^2} \div p^2F(p); \\ \frac{d^nf}{d\tau^n} \div p^nF(p). \end{aligned} \quad (17)$$

Справедливо следующее правило:

$$\int_0^{\tau} f(\tau) d\tau \div \frac{1}{p} F(p); \int_0^{\tau} \dots \int_0^{\tau} f(\tau) d\tau \div \frac{1}{p^n} F(p). \quad (18)$$

Это свойство оператора значительно облегчает многие действия над дифференциальными уравнениями, позволяя свести их к действиям над алгебраическими уравнениями.

Если входную временную функцию преобразовать по Лапласу и отнести ее к выходной временной функции, также преобразованной по Лапласу, то получим так называемую передаточную функцию:

$$W(p) = W(j\omega) = \frac{F_{\text{вых}}(p)}{F_{\text{вх}}(p)} = \frac{a}{A} \exp(-j\varphi), \quad (19)$$

где a/A – отношение амплитуд колебаний выходного и входного сигналов;

φ – отставание по фазе выходного сигнала по сравнению с входным.

Путем комбинации различных моделей возможно оценить передаточную функцию реального процесса. Для получения передаточной функции реального вентиляционного процесса составляют уравнение материального или теплового баланса,

выполняют его линеаризацию. Преобразуют полученное уравнение по Лапласу и находят отношение изображение выходного сигнала к входному.

ВЫВОДЫ

Исследование статистических характеристик времени пребывания частиц в потоке перемешивания системы вентиляции предоставляет важные данные о эффективности и производительности вентиляционной системы. На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Анализ среднего времени пребывания частиц в потоке позволяет оценить общую эффективность перемешивания. Большое среднее время пребывания может свидетельствовать о необходимости оптимизации системы вентиляции.

2. Распределение времени пребывания частиц в потоке может быть характеризовано дисперсией. Низкая дисперсия указывает на равномерное перемешивание, в то время как высокая дисперсия может свидетельствовать о неравномерном распределении частиц.

3. Идентификация выбросов и аномалий в данных о времени пребывания частиц позволяет выявить возможные неисправности в системе вентиляции, требующие дополнительного внимания и регулировки.

4. Исследование связи времени пребывания частиц с различными параметрами работы системы вентиляции (например, скорость вентилятора, конфигурация воздуховодов) может предоставить дополнительные возможности для оптимизации процессов вентиляции.

5. Статистические характеристики времени пребывания частиц в потоке систем вентиляции и перемешивания являются важными для понимания и оптимизации гидродинамических процессов в этих системах.

6. Использование математических моделей позволяет более точно описывать и контролировать эти процессы, что необходимо для обеспечения требуемых параметров воздушной среды в различных помещениях, особенно в помещениях с высокими требованиями к микроклимату помещений.

Для дальнейшего улучшения систем рекомендуется проводить дополнительные исследования с целью разработки более точных моделей и методик, учитывающих специфические особенности различных типов потоков и конфигураций систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 720 с.
2. Ананьев В.А. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Теория и практика/ В.А. Ананьев, Л.Н. Балуева и [др.]. – М.: Евроклимат, 2003. – 416 с.

3. Аэрогидромеханика / А.А. Коваленко, В.И. Соколов, Ю.И. Осенин и [др.]. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. – 516 с.

4. Гусенцова Я.А. Модели турбулентности в расчетах аэродинамических характеристик газовых потоков/ Я.А. Гусенцова, А.В. Красногрудов, М.М. Родыгина, Н.Д. Высоцкая // *Строительство и техногенная безопасность*. – 2024. – № 32(84). – с.47– 54. – DOI: 10.29039/2413-1873-2024-32-47-54.

5. Гусенцова Я.А. Моделирование характеристик вентиляционных систем техногенно-опасных объектов. Монография / Я.А. Гусенцова, А.В. Красногрудов, В.Ю. Малкин, М.М. Родыгина. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2024. – 104 с. – ISBN 978-5-6051816-2-0.

6. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке /Н. Джонсон, Ф. Лион . – М.: Мир, 1981. – 616 с.

7. Посохин В.Н. Аэродинамика вентиляции / В.Н. Посохин. – М.: Информационно-издательское предприятие «АВОК-ПРЕСС», 2008 г. – 209 с. – ISBN: 978-5-98267-044-1.

8. Юевич Е.И. Теория автоматического управления / Е.И. Юевич. – Л.: Энергия, 1975. – 418 с.

9. Batchelor G.K. The Theory of Homogeneous Turbulence. Cambridge University Press, 1982. – 212 p.

10. King, M.-F. A methodology for the statistical analysis of the transport time to exposure in a room / M.-F. King, C.J. Noakes, P.M. Sleigh // *Journal of Hazardous Materials*. – 2022. – Vol. 423, Part B. – P. 127183.

11. Liu, S. Statistical characteristics of airborne particle transport in a ventilated space under unsteady conditions / S. Liu, M. Sandberg, M. Vesely // *Indoor Air*. – 2021. – Vol. 31, Issue 4. – P. 1123–1135.

12. Zhang, Z. Particle residence time and dispersion in a cross-ventilated model room / Z. Zhang, Q. Chen // *Building and Environment*. – 2020. – Vol. 168. – P. 106497.

REFERENCES

1. Abramovich G.N. Teoriya turbulentny`x struj / G.N. Abramovich. – М.: E`KOLIT, 2011. – 720 s.

2. Anan`ev V.A. Sistemy` ventilyatsii i kondicionirovaniya vozduxa. Teoriya i praktika/ V.A. Anan`ev, L.N. Balueva i [dr.]. – М.: Evroklimat, 2003. – 416 s.

3. Ae`rogidromexanika / A.A. Kovalenko, V.I. Sokolov, Yu.I. Osenin i [dr.]. – Lugansk: Izd-vo VNU im. V. Dalya, 2009. – 516 s.

4. Gusenczova Ya.A. Modeli turbulentnosti v raschetax ae`rodinamicheskix karakteristik gazovy`x potokov/ Ya.A. Gusenczova, A.V. Krasnogradov, M.M. Rody`gina, N.D. Vy`soczkaya // *Stroitel`stvo i texnogennaya bezopasnost`*. – 2024. – № 32(84). – с.47 – 54. – DOI: 10.29039/2413-1873-2024-32-47-54.

5. Gusenczova Ya.A. Modelirovanie karakteristik ventilyacionny`x sistem texnogenno-opasny`x ob`ektov. Monografiya / Ya.A. Gusenczova, A.V. Krasnogradov, V.Yu. Malkin, M.M. Rody`gina. – Lugansk: Izd-vo LGU im. V. Dalya, 2024. – 104 s. – ISBN 978-5-6051816-2-0.

6. Dzhonson N. Statistika i planirovanie e`ksperimenta v texnike i nauke /N. Dzhonson, F. Lion . – М.: Mir, 1981. – 616 s.

7. Posoxin V.N. Ae`rodinamika ventilyatsii / V.N. Posoxin. – М.: Informacionno-izdatel`skoe predpriyatie «AVOK-PRESS», 2008 g. – 209 s. – ISBN: 978-5-98267-044-1.

8. Yurevich E.I. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya / E.I. Yurevich. – L.: E`nergiya, 1975. – 418 s.
 9. Batchelor G.K. The Theory of Homogeneous Turbulence. Cambridge University Press, 1982. – 212 p.
 10. King, M.-F. A methodology for the statistical analysis of the transport time to exposure in a room / M.-F. King, C.J. Noakes, P.M. Sleight // Journal of Hazardous Materials. – 2022. – Vol. 423, Part B. – P. 127183.

11. Liu, S. Statistical characteristics of airborne particle transport in a ventilated space under unsteady conditions / S. Liu, M. Sandberg, M. Vesely // Indoor Air. – 2021. – Vol. 31, Issue 4. – P. 1123–1135
 12. Zhang, Z. Particle residence time and dispersion in a cross-ventilated model room / Z. Zhang, Q. Chen // Building and Environment. – 2020. – Vol. 168. – P. 106497.

ADDITIONAL PARTICLES IN A TURBULENT MIXING FLOW

Gusentsova Ya.A.¹, Krasnogradov A.V.², Rodygina M.M.³, Vysotskaya N.D.⁴

^{1, 2, 3} Volodymyr Dahl Luhansk State University

291034, Luhansk People's Republic, Luhansk Urban District, Luhansk, Molodezhny Apartment 20A

⁴ Vernadsky Crimean Federal University, Agrotechnological Academy

295492, Republic of Crimea, Simferopol, Agrarnoe Village

E-mail: ¹gusentsova@gmail.com, ²krasnogradov@mail.ru, ³sunsara_06@mail.ru, ⁴natali.v-v@mail.ru

Abstract. The article is dedicated to the analysis of particle residence time in ventilation systems. Residence time is understood as the duration of an individual particle or flow element's presence within the volume of a device or system from the moment of entry to the moment of exit. The study of this parameter is important for assessing the efficiency of air exchange, the uniformity of fresh air distribution, and the microclimate quality in a room.

Depending on the type of input impact, the following were obtained: a differential distribution function characterizing the proportion of particles whose residence time is close to a given value; and an integral residence time distribution function of a particle in the flow ($C(\tau)$).

It is noted that the average residence time is a key calculation parameter, and for idealized flow models, it is determined as the ratio of the device volume to the volumetric flow rate. The flow structure in a ventilated room directly determines the distribution of particle residence time in the flow.

The analysis of residence time characteristics presented in the article allows for the evaluation of the efficiency of ventilation and air mixing systems.

Thus, the study of particle residence time is a powerful tool for diagnosing, designing, and optimizing ventilation systems aimed at creating a healthy and comfortable microclimate in rooms.

The obtained results can be useful for optimizing ventilation systems to enhance the efficiency of air mass mixing and improve indoor air quality. This can also have practical applications in ensuring safety and sanitation in buildings and premises with high demands on ventilation systems.

The subject of the research is the analysis of particle residence time in ventilation systems, which is important for assessing the efficiency of air exchange, the uniformity of fresh air distribution, and the microclimate quality in a room.

Materials and Methods: The study of particle residence time in ventilation systems involves the use of modeling, experimental, and data analysis methods to determine the relationships between various parameters.

Results: Based on the conducted research, an analysis of the average particle residence time in the flow was performed, and the distribution of particle residence time in the flow was determined.

The analysis of average particle residence time in the flow allows for the assessment of overall mixing efficiency. A long average residence time may indicate the need for ventilation system optimization.

The distribution of particle residence time in the flow is characterized by dispersion. Low dispersion indicates uniform mixing, while high dispersion may suggest uneven particle distribution.

The identification of outliers and anomalies in particle residence time data allows for the detection of potential malfunctions in the ventilation system that require additional attention and adjustment.

The statistical characteristics of particle residence time in the flow of ventilation and mixing systems are important for understanding and optimizing hydrodynamic processes within these systems.

Conclusions: The analysis of average particle residence time in the flow allows for the assessment of overall mixing efficiency. The distribution of particle residence time in the flow can be characterized by dispersion. The identification of outliers and anomalies in particle residence time data allows for the detection of potential malfunctions in the ventilation system. Investigating the relationship between particle residence time and various ventilation system operating parameters can provide additional opportunities for optimizing ventilation processes.

Key words: mixing ventilation, particle residence time in flow, statistical characteristics, input signal.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА ПТИЧНИКА НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ангелюк И.П., Федюшко Ю.М., Топорен С.С.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Институт «Академия строительства и архитектуры»,
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181.
E-mail: iliya.angeluck@yandex.ru; fedushko26@rambler.ru

Аннотация. В статье рассматривается актуальная задача повышения энергоэффективности и продуктивности в современном птицеводстве за счет применения методов компьютерного моделирования. Высокая стоимость энергоресурсов и ужесточение экологических норм обуславливают необходимость оптимизации систем обеспечения микроклимата в птицеводческих помещениях. Традиционные эмпирические методы управления не позволяют в полной мере учесть динамическое взаимодействие множества факторов: тепловыделения птицы, влажности, концентрации вредных газов, работы вентиляционного и отопительного оборудования, а также изменчивость внешних погодных условий. В данной работе представлен подход к созданию динамической энергетической модели микроклимата птичника. Модель строится на основе системной динамики и дискретно-событийного подхода, что позволяет интегрировать физические принципы тепло- и массообмена с алгоритмами работы технологического оборудования. В статье описана структура модели, ключевые математические зависимости, определяющие тепловой баланс помещения, а также программная реализация.

Предмет исследования: процессы формирования микроклимата и энергопотребления в птичнике для выращивания бройлеров.

Материалы и методы: Проведено компьютерное имитационное динамическое моделирование тепловлажностного режима птичника в программном комплексе DesignBuilder с использованием расчетного ядра EnergyPlus.

В рамках исследования была разработана детализированная трехмерная геометрическая модель здания с полным описанием теплофизических характеристик ограждающих конструкций и заданы динамические профили внутренних нагрузок, коррелирующие с производственным циклом выращивания птицы.

Результаты: Динамическое моделирование позволило количественно оценить влияние каждого мероприятия на энергопотребление. Установлено, что улучшение теплозащиты ограждающих конструкций позволяет снизить годовые Наибольший эффект продемонстрировал комплексный подход, объединяющий все мероприятия, который позволил достичь сокращения энергопотребления по сравнению с базовым вариантом.

Выводы: Проведенное исследование доказывает высокую эффективность применения динамического энергетического моделирования на этапе предпроектного анализа для оптимизации проектных решений. Разработанный комплекс мероприятий является технически и экономически целесообразным, обеспечивая снижение энергопотребления почти вдвое при сроке окупаемости дополнительных инвестиций около 4 лет. Полученные результаты имеют существенное значение для повышения энергоэффективности и конкурентоспособности птицеводческих предприятий.

Ключевые слова: энергоэффективность, птичник, микроклимат, DesignBuilder, EnergyPlus, BIM-моделирование, динамический тепловой расчет, ограждающие конструкции.

ВВЕДЕНИЕ

Растущая напряженность в мировой энергетической сфере, усугубляемая экологическими императивами по снижению антропогенной нагрузки на биосферу, актуализирует разработку и внедрение ресурсосберегающих технологий в системах энергообеспечения производственных объектов.

В данном контексте особую актуальность приобретает проблема оптимизации энергопотребления агропромышленными комплексами, в частности, птицеводческими предприятиями, характеризующимися значительной энергоемкостью технологических процессов, обусловленной необходимостью поддержания строго регламентированных параметров микроклимата.

Современное сельскохозяйственное производство, в частности птицеводство, характеризуется высокой концентрацией поголовья

и интенсивностью технологических процессов. Это предъявляет повышенные требования к капитальным строениям – птичникам, которые должны быть не только прочными и долговечными, но и обеспечивать стабильный микроклимат при минимальных энергозатратах. В структуре себестоимости продукции до 60% составляют расходы на корма и энергоносители, причем на поддержание параметров микроклимата может приходиться от 30 до 50% всего энергопотребления предприятия [1, 13].

Сложность проектирования таких объектов заключается в необходимости учета уникального сочетания факторов: высоких и переменных во времени внутренних тепловыделений, необходимости интенсивного воздухообмена для удаления вредных газов, повышенных требований к герметичности и теплозащите для исключения конденсата и сквозняков.

Традиционные методы проектирования, основанные на выполнении нормативных

требований к сопротивлению теплопередаче [2,15] и упрощенных расчетах теплового баланса, не позволяют оценить синергетический эффект от взаимодействия всех элементов здания как единой системы. Это часто приводит к перерасходу энергии, неоптимальным капитальным вложениям и проблемам с микроклиматом на этапе эксплуатации.

Микроклимат птичника представляет собой сложную многокомпонентную динамическую систему, находящуюся под постоянным воздействием внешних и внутренних возмущающих факторов. К внутренним источникам тепла и влаги относится сама птица, метаболизм которой существенно изменяется в зависимости от возраста, живой массы и вида. Внешние факторы - это температура и влажность наружного воздуха, скорость ветра, солнечная радиация.

Задача системы управления заключается в стабилизации внутренних параметров (температуры, влажности, концентрации CO₂ и аммиака) в узком зоотехническом диапазоне путем активации соответствующего оборудования: вентиляторов, нагревателей, испарительных охладителей, штор [3,14].

Применение классических систем автоматического регулирования, основанных на ПИД - регуляторах и простых релейных логиках, часто приводит к неоптимальному энергопотреблению из-за запаздываний, перерегулирования и неучета совокупности всех факторов. Современным инструментом для анализа, синтеза и оптимизации таких сложных систем является компьютерное имитационное моделирование

Интегрированное проектирование, объединяющее архитектурно-строительные и инженерные решения в единой цифровой модели (BIM/BEM), становится отраслевым стандартом. Использование специализированного программного обеспечения, такого как DesignBuilder с расчетным ядром EnergyPlus, позволяет перейти от статических к динамическим расчетам, учитывающим:

- нестационарный характер теплопередачи через ограждающие конструкции;
- суточные и годовые колебания наружной температуры и солнечной радиации;
- режимы работы инженерных систем (вентиляции, отопления) и их влияние на температурные поля;
- влажностный режим конструкций и риск выпадения конденсата.

Целью данного исследования является разработка на основе динамического моделирования комплекса строительно-технологических решений для энергоэффективных птичников, обеспечивающих снижение эксплуатационных затрат и повышение рентабельности производства.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Проведенный обзор современных научных публикаций, посвященных проблемам энергосбережения и энергообеспечения в агропромышленном комплексе, позволяет выявить ключевые тенденции, основные направления исследований в данной области. Большой пласт публикаций посвящен совершенствованию ограждающих конструкций птичников.

Актуальность проблемы создания оптимального микроклимата и совершенствованию ограждающих конструкций в типовых птицеводческих помещениях с учетом зональных особенностей упоминается в работах [3 - 8].

В ходе исследования, проведенного Э. Маилян [3], проанализирована динамика изменения качественных показателей воздушной среды в птичниках напольного содержания в зимний и переходный периоды. Автор подчеркивается ключевое влияние различных систем вентиляции на физиологическое состояние и продуктивность птицы.

В своей работе Бахарев А. П. [4] проводит сравнительный анализ различных систем вентиляции. Наиболее перспективными признаются системы, создающие отрицательное давление внутри помещения с использованием крышных вентиляторов.

Авторы [5] анализируют работу различных систем вентиляции в экстремальных климатических условиях Якутии, отмечая высокую энергоёмкость и технологические трудности поддержания нормативных параметров микроклимата. Установлено, что при падении температуры наружного воздуха ниже -45°C обеспечение требуемых условий становится практически невыполнимой задачей.

Исследования Мотес Э. [6], Закипной Е. В. [7- Красноярск] демонстрируют, что применение современных многослойных сэндвич-панелей с утеплителем из минеральной ваты толщиной 200-250 мм позволяет снизить теплопотери через ограждающие конструкции на 25-30% по сравнению с традиционными материалами.

При этом авторы подчеркивают важность качества монтажа для минимизации мостиков холода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования выступил типовой проект птичника для выращивания бройлеров вместимостью 40 000 голов. Моделирование выполнялось в программном комплексе DesignBuilder, который предоставляет инструменты для создания геометрии, задания свойств материалов, определения нагрузок и проведения динамических расчетов.

Основу энергетической модели составляет уравнение теплового баланса воздушной среды птичника [8]:

$$V \cdot \rho \cdot c_p \frac{T_{вн}}{dt} = Q_{нт} + Q_{обор} - Q_{вент} - Q_{огр} - Q_{исп} \quad (1)$$

где V – объем помещения, м³;
 ρ – плотность воздуха, кг/м³;
 c_p – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг °С);
 T_{вн} – температура внутреннего воздуха, °С;
 t – время, с;
 Q_{нт} – общее тепловыделение поголовья, Вт;
 Q_{обор} – тепловыделение от осветительных приборов и механизмов, Вт;
 Q_{вент} – теплопотери с вентиляционным воздухом, Вт;
 Q_{огр} – теплопотери через ограждающие конструкции, Вт.

$$Q_{вент} = L \cdot \rho \cdot c_p (T_{вн} - T_{нар}) \quad (2)$$

где L - производительность системы вентиляции, м³/с;
 ρ - плотность воздуха, кг/м³;
 T_{нар} - температура наружного воздуха, °С.

Система управления должна найти такое значение производительности вентиляции, L, чтобы удалить лишнюю влагу, вредные газы и поддержать температуру на заданном уровне.

Теплопотери через ограждающие конструкции рассчитываются по стандартной методике с учетом термического сопротивления материалов.

Тепловыделение птицы, Q_{пт}, рассчитывается как функция от вида, возраста и живой массы, по методике, приведенной в Влаговыделения рассчитываются аналогичным образом.

Модель реализована в виде гибридной структуры [9]:

- системная динамика представлена запасами (уровнями) – «Температура внутреннего воздуха», «Влажность внутреннего воздуха», «Концентрация СО₂». Поток между запасами регулируется уравнениями, приведенными выше;

- дискретно - событийная компонента моделирует работу технологического оборудования (включение/выключение вентиляторов разных ступеней, нагревателей, штор) по событиям (например, по расписанию, либо по достижению порогового значения температуры);

- локальная компонента может быть использована для моделирования отдельных зон помещения или групп птицы с разными параметрами.

В модель интегрированы суточные и годовые профили наружной температуры и влажности, основанные на реальных метеоданных региона.

Моделирование каждого сценария проводилось на виртуальном периоде 30 суток.

В рамках данного исследования, в программной среде DesignBuilder была создана модель базового варианта, который соответствует нормативам, и варианта с предложенными мерами по энергосбережению [10]. Создана трехмерная модель здания с точным соблюдением геометрических размеров, ориентации по сторонам света и архитектурных особенностей (рис. 1).

После построения трехмерной модели здания, размещение всех светопрозрачных конструкций и дверей, здание было разделено на 2 зоны, теплофизические параметры внутри которых частично отличаются.

Для здания заданы различные параметры, которые описывают режим функционирования объекта, основные параметры микроклимата, количество людей на единицу площади, температуру отопления, а для всех конструкций (стены, кровля, пол, ворота) заданы послойно состав и теплофизические характеристики материалов (толщина, коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость) в соответствии с проектом.

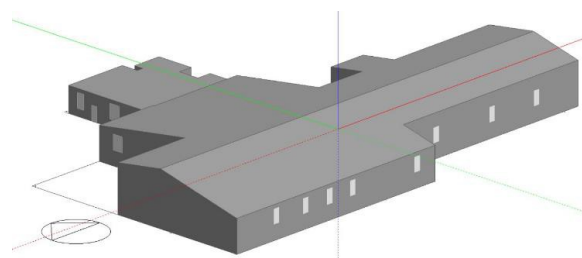


Рис. 1. 3D - модель птичника в среде DesignBuilder
 Fig. 1. 3D model of a poultry house in the DesignBuilder environment

Тепловыделения и влаговыведения от поголовья заданы как динамические зависимости, изменяющиеся каждые 2-3 дня в соответствии с зоотехническими нормативами [11,12].

Для каждого из рассматриваемых вариантов выполнялся почасовой динамический расчет на весь год с помощью приложения EnergyPlus.

Для данного объекта задавались следующие ОК: External walls (внешние стены), Flat roof (совмещенное покрытие), Internal floor (внутренний пол), Ground floor (пол по грунту), External Door (наружная дверь).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Просимулировав построенную модель здания были получены результаты моделирования, которые наглядно демонстрируют влияние строительных решений на энергопотребление (табл.1, рис. 2).

Таблица 1. Влияние строительных решений на энергопотребление
Table 1. The impact of construction decisions on energy consumption

№ п/п	Вариант	Годовое энергопотребление на отопление, кВт·ч	Снижение к базовому варианту, %	Расчетные приведенные затраты за 10 лет, тыс. руб.
1.	Базовый	522 750	-	6285
2.	Теплая оболочка	398 100	23,8	5845
3.	Герметичный объем	362 500	30,6	5720
4.	Рекуперация	341 200	34,7	5910
5.	Комплексный	265 800	42,9	5550

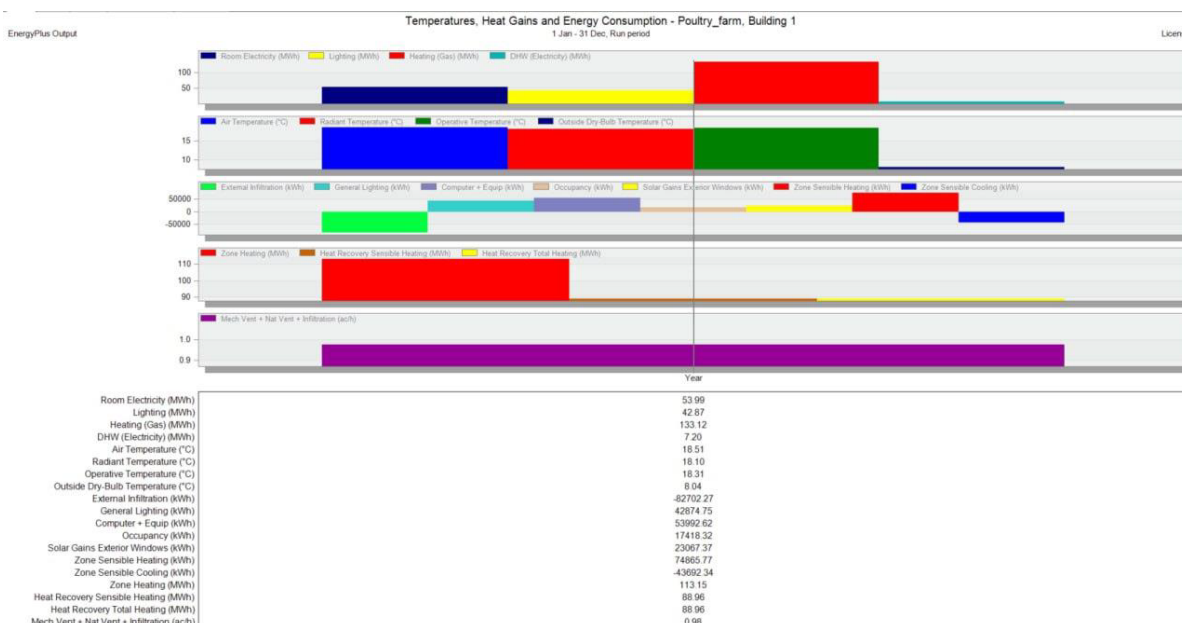


Рис. 1. Результаты моделирования модели здания
Fig. 1. Building model modeling results

Со скриншота видно, что расход электроэнергии на отопление составляет 273,8 МВт·ч, расход на освещение и приборы составляет 96,86 кВт·ч.

Значение электрической энергии в модели отличается от реальных затрат, поскольку в потребление еще включено насосное оборудование, которое находится в отдельном помещении.

Потребление тепловой энергии уменьшилось более чем на 100 МВт·ч. Следовательно, можем считать эти меры достаточно перспективными и целесообразными для внедрения.

Наибольшее влияние на снижение энергопотребления вносит улучшение теплозащиты ("Теплая оболочка" – 23,8%).

Повышение герметичности дает дополнительную экономию почти в 7%, что сопоставимо с эффектом от установки рекуператора в базовом здании.

Комплексный подход демонстрирует не просто сумму отдельных эффектов, а синергию. Экономия в 49.2% достигнута за счет того, что в хорошо утепленном и герметичном здании

рекуперационная установка работает в более эффективном режиме, утилизируя тепло из более плотного и теплого внутреннего воздуха.

Моделирование показало, что в базовом варианте в холодный период температура на внутренней поверхности стены в зоне угла может опускаться до 12,5°C при температуре воздуха 20°C. Это приводит к выпадению конденсата, развитию плесени и разрушению конструкции. В сценарии "Теплая оболочка" эта температура составляет уже 17,8°C, что исключает конденсацию. Это критически важно для здоровья птицы и долговечности здания.

Несмотря на то, что капитальные затраты на "Комплексный" вариант на 15-20% выше, чем на базовый, расчет приведенных затрат за 10-летний период показывает его экономическую целесообразность.

Срок окупаемости дополнительных инвестиций составляет около 4 лет за счет резкого снижения затрат на энергоносители.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование показывает, что современное проектирование сельскохозяйственных зданий невозможно без применения динамического энергетического моделирования. Программный комплекс является инструментом, позволяющим не только оценивать энергоэффективность, но и оптимизировать строительные решения на этапе предпроектной проработки.

Разработанная динамическая энергетическая модель микроклимата птичника показала свою адекватность и практическую полезность. Модель позволяет количественно оценивать эффективность различных инженерных и управленческих решений до их внедрения в реальное производство, минимизируя риски и капитальные затраты.

Разработанный комплекс мероприятий по повышению теплозащиты, герметичности и утилизации тепла позволяет сократить энергопотребление птичника почти вдвое. Это имеет не только экономический, но и значительный экологический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валов В.М. Энергосберегающие животноводческие здания: науч. изд. / В.М.Валов. - М.: Изд-во АСВ, 1997. - 310 с.
2. СП 50.13330.2012 "Тепловая защита зданий". Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. - М., 2012.
3. Маилян Э. Микроклимат в бройлерном птицеводстве при напольном содержании / Э. Маилян // АгроРынок. - 2007. - №4. - С. 12-14.
4. Бахарев, А.П. Вентиляция птичников по уровню CO₂ при выращивании цыплят-бройлеров // Зоотехния / А.П. Бахарев. - 2014. - № 10. - С 23-25.
5. Саввинова М. С. Оптимизация микроклимата птичников в условиях Крайнего Севера // Вестник КрасГАУ / М. С. Саввинова, В. В. Матаркина. - Красноярск: КрасГАУ, 2019. - №11. - С. 84 - 89.
6. Мотес Э. Микроклимат животноводческих помещений / Э. Мотес; Пер. с нем. В.Н. Вазонова. - М.: Колос, 1976. - 192 с.
7. Закипная Е.В. Влияние воздушной среды на продуктивные качества и физиологическое состояние цыплят-бройлеров в условиях Приамурья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Е.В. Закипная. Уфа, 2005. 22 с.
8. Мурусидзе Д.Н. Установки для создания микроклимата на животноводческих фермах // Д.Н. Мурусидзе, А.Б. Левин. - М.: Агропромиздат, 1992. - 222 с.
9. Кириллов Е.Н. Моделирование процессов теплоснабжения зданий для прогнозирования температуры воздуха в помещениях Дис.к.т. наук / Е.Н. Кириллов, Международный институт компьютерных технологий - Воронеж - 2007.

10. Кувшинов Ю.Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий. - М.: Из-во Ассоциации строительных вузов, 2010. - 320 с.

11. Вишневецкий Е. П. Сравнительный анализ систем адиабатического увлажнения воздуха. / Е.П. Вишневецкий // Кондиционирование. №8, 2004. с.46-48

12. Кочиш И.И. Выбор системы вентиляции для птицеводческих ферм / Кочиш И.И., Чекмарев А.Д. // Зоотехния. - 2004. - № 4. - С. 23-26.

13. Лохвинская Т.И. Методы и средства организации воздухообмена в птицеводческих помещениях/Т.И. Лохвинская//Lucrări științifice, UASM. Chișinău, 2015, vol 45 (Inginerie Agrară și transport Auto), p. 136-138.

14. Свистунов В.М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства. учебник для вузов / В.М. Свистунов. -СПб.: Политехника, 2010. - 4-е изд. - 428 с.

15. Дацюк Т.А. Новая технология проектирования систем обеспечения микроклимата зданий / Т. А. Дацюк, В. Ф. Васильев, В.В. Дерюгин, Ю.П. Ивлев // Санитарная техника. - 2005. - № 3(4). - С. 57-62.

REFERENCES

1. Valov V.M. Energy-saving livestock buildings: scientific ed. / V.M.Valov. - M.: Publishing house of the DIA, 1997. - 310 p.
2. SP 50.13330.2012 "Thermal protection of buildings". Updated edition of SNiP 23-02-2003. Moscow, 2012.
3. Mailyan E. Microclimate in broiler poultry farming with outdoor maintenance / E. Mailyan // Agro Market. - 2007. - No. 4. - pp. 12-14.
4. Bakharev, A.P. Ventilation of poultry houses by CO₂ level when raising broiler chickens // Animal science / A.P. Bakharev. - 2014. - No. 10. - From 23-25.
5. Savvinova M. S. Optimization of the microclimate of poultry houses in the conditions of the Far North // Bulletin of the KrasGAU / M. S. Savvinova, V. V. Matarkina. - Krasnoyarsk: KrasGAU, 2019. - No. 11. - pp. 84-89.
6. Motes E. Microclimate of livestock premises / E. Motes; Translated from German by V.N. Vazonov. - M.: Kolos, 1976. - 192 p.
7. Zakipnaya E.V. The influence of the air environment on the productive qualities and physiological state of broiler chickens in the Amur region: abstract of the dissertation. ... Candidate of Agricultural Sciences / E.V. Zakipnaya. Ufa, 2005. 22 p.
8. Murusidze D.N. Installations for creating a microclimate on livestock farms // D.N. Murusidze, A.B. Levin. - M.: Agropromizdat, 1992. - 222 p.

9. Kirillov E.N. Modeling of building heat supply processes for predicting indoor air temperature / E.N. Kirillov, International Institute of Computer Technology - Voronezh – 2007.

10. Kuvshinov Yu.Ya. Energy saving in the building microclimate system. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2010. 320 p.

11. Vishnevsky E. P. Comparative analysis of adiabatic humidification systems. / E.P. Vishnevsky // Air conditioning. No. 8, 2004. pp.46-48

12. Kochish I.I. The choice of ventilation system for poultry farms / Kochish I.I., Chekmarev A.D. // Animal science. - 2004. - No. 4. - pp. 23-26.

13. Lokhvinskaya T.I. Methods and means of organizing air exchange in poultry facilities/T.I. Lokhvinskaya//Lucrări științifice, UASM. Chișinău, 2015, vol 45 (Inginerie Agrară și transportAuto), p. 136-138.

14. Svistunov V.M. Heating, ventilation and air conditioning of facilities of the agro-industrial complex and housing and communal services. textbook for universities / V.M. Svistunov. -St. Petersburg: Polytechnic, 2010. - 4th ed. - 428 p.

15 Datsyuk T.A., Vasilyev V. F., Deryugin V.V., Ivlev Yu.P. A new technology for designing building microclimate systems // Sanitary engineering. – 2005. – № 3(4). – Pp. 57-62.

OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION OF POULTRY HOUSE MICROCLIMATE SYSTEMS BASED ON DYNAMIC ENERGY MODELING

Angeluck I.P., Fedyushko Yu.M., Toporen S.S.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea 295050
E-mail: iliya.angeluck@yandex.ru; fedushko26@rambler.ru

Abstract. The article considers the urgent task of increasing energy efficiency and productivity in modern poultry farming through the use of computer modeling methods. The high cost of energy resources and stricter environmental regulations necessitate the optimization of microclimate systems in poultry farms. Traditional empirical management methods do not allow us to fully take into account the dynamic interaction of many factors: poultry heat release, humidity, concentration of harmful gases, operation of ventilation and heating equipment, as well as the variability of external weather conditions. This paper presents an approach to creating a dynamic energy model of the microclimate of a poultry house. The model is based on system dynamics and a discrete event approach, which makes it possible to integrate the physical principles of heat and mass transfer with the algorithms of technological equipment. The article describes the structure of the model, the key mathematical dependencies that determine the thermal balance of the room, as well as the software implementation.

Subject of the study: the processes of microclimate formation and energy consumption in a poultry house for broiler farming.

Materials and methods: A computer simulation dynamic simulation of the heat and humidity regime of the poultry house was carried out in the DesignBuilder software package using the EnergyPlus calculation core.

As part of the study, a detailed three-dimensional geometric model of the building was developed with a complete description of the thermophysical characteristics of the enclosing structures and dynamic profiles of internal loads were set that correlate with the production cycle of poultry farming.

Results: Dynamic modeling made it possible to quantify the impact of each event on energy consumption. It has been established that improving the thermal protection of enclosing structures can reduce annual costs. The greatest effect was demonstrated by an integrated approach combining all measures, which made it possible to achieve a reduction in energy consumption compared to the basic option.

Conclusions: The conducted research proves the high efficiency of using dynamic energy modeling at the stage of pre-design analysis to optimize design solutions. The developed package of measures is technically and economically feasible, ensuring a reduction in energy consumption by almost half with a payback period of additional investments of about 4 years. The results obtained are essential for improving the energy efficiency and competitiveness of poultry enterprises.

Key words: energy efficiency, poultry house, microclimate, DesignBuilder, EnergyPlus, BIM modeling, dynamic thermal calculation, enclosing structures.

УДК 656.13/73.31.41

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАКУПОРКИ ГИДРАТАМИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Сяо Чжэньсинь¹, Гульков А.Н.²

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,
690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8
E-mail: ¹syao.ch@dvfu.ru

Аннотация. Закупорка природными газогидратами является основной угрозой безопасности при эксплуатации трубопроводов, и наносимый ими ущерб является значительным. Скопление и отложение его кристаллов уменьшит поперечное сечение трубопровода, увеличит сопротивление потоку и снизит эффективность транспортировки газа. В тяжелых случаях трубопровод будет полностью забит, что приведет к остановке добычи газа на месторождении. В то же время это может привести к разрыву трубопровода, утечке природного газа и несчастным случаям, связанным со взрывами и возгораниями. Кроме того, разблокировать работу очень сложно и дорого. Это также приведет к сокращению срока службы трубопровода и ограничению безопасной и стабильной разработки газовых месторождений.

Предмет исследования: Целью является предотвращение закупорки гидратами природного газа газопроводов и обеспечение безопасной и стабильной транспортировки. В первую очередь, выясняются механизм образования и факторы, влияющие на образование гидратов. Систематический анализ этих механизмов и факторов показал, что десульфурация является эффективным средством предотвращения закупорки гидратами. В случаях, когда закупорка известна, для удаления гидратных пробок из трубопровода применяется стандартная процедура.

Материалы и методы: Объедините технологию десульфурации с существующей стандартной технологией очистки труб, чтобы решить проблему засорения гидратом трубопроводов природного газа.

Результаты: Предотвращение и борьба с засорением гидратом трубопроводов природного газа должны основываться на профилактике и дополняться технологией очистки труб. Технология предварительной сероочистки является одним из основных профилактических методов, который может снизить вероятность образования засоров из-за соединения сероводорода и природного газа, а также снизить риск образования гидратов и закупорки источника. Для образовавшегося засора можно регулировать рабочие условия, такие как температура и давление, таким образом, чтобы разрушить стабильную структуру гидрата, быстро разложить и устранить засор, а также обеспечить бесперебойную работу трубопровода.

Выводы: Для эффективного предотвращения и контроля засорения трубопроводов природного газа гидратами. Рекомендуется уделять приоритетное внимание этапам предварительной обработки и обессеривания, оптимизировать параметры процесса для повышения эффективности удаления примесей, выбирать оборудование с высокой степенью адаптации, регулярно контролировать содержание примесей в трубопроводном природном газе и устранять условия гидратообразования из источника. В связи с возникшей закупоркой необходимо разработать стандартизированный процесс аварийного реагирования, уточнить разумный диапазон регулирования температуры и давления, а также оснастить трубопровод профессиональным оборудованием быстрого реагирования, чтобы обеспечить эффективное устранение закупорки без повреждения трубопровода. В то же время был создан механизм мониторинга для нормализации работы трубопровода, позволяющий отслеживать ключевые данные, такие как давление и температура, в режиме реального времени, заранее прогнозировать риск закупорки и сочетать регулярное техническое обслуживание и капитальный ремонт для обеспечения непрерывной бесперебойной работы трубопровода.

Ключевые слова: Природный газ; гидрат; технология обессеривания

1 Механизм образования гидрата природного газа

Процесс кристаллизации гидратов природного газа обычно можно разделить на две стадии: зарождение и рост кристаллов. Анализируемый с точки зрения динамики механизм образования можно разделить на три последовательных этапа: сначала формируется прототип ядра с критическим радиусом; затем ядро постепенно развивается и расширяется; и, наконец, составляющие вещества мигрируют к поверхности ядра через границу раздела твердое тело-жидкость. Под непрерывным действием силы Ван-дер-Ваальса взаимодействие между молекулами газа и соседними молекулами воды может постепенно усиливаться, вызывая непрерывное расширение объема ядра. [1] Когда различные ядра сталкиваются в системе, сила

межмолекулярной адсорбции заставляет их соединяться друг с другом, образуя составное ядро. Этот процесс агломерации и роста продолжается и, в конце концов, приводит к образованию твердой структуры гидрата природного газа.

2 Предварительная обработка природного газа для обессеривания

2.1 Анализ опасности сульфидов в природном газе

Основные опасности, связанные с сульфидами, такими как сероводород, при транспортировке по трубопроводам, проявляются как в засорении гидратами, так и в коррозии трубопроводов: с одной стороны, при одинаковых температурных условиях с увеличением объемной доли сероводорода

критическое давление для образования гидратов природного газа уменьшается, а диапазон образования гидратов увеличивается. условия становятся более суровыми, что указывает на то, что сероводород способствует образованию гидратов природного газа и увеличивает риск аварий из-за засорения гидратов природного газа; [1] С другой стороны, он вызывает серьезную коррозию трубопроводов оборудования и различного сопутствующего оборудования, особенно в условиях высокой температуры и высокого давления, что приводит к это еще больше сократит срок службы оборудования.

2.2 Классификация технологий обессеривания

Для предотвращения и контроля препятствий при транспортировке, потерь оборудования и рисков для безопасности, вызванных закупоркой природного газа гидратами во время транспортировки природного газа, обработка природного газа сероочисткой стала одним из ключевых методов профилактики и контроля. По техническому принципу его можно разделить на три категории: метод сухой десульфурации, метод влажной десульфурации и метод десульфурации с мембранным разделением.

(1) Процесс сухой обессеривания: Суть процесса сухого обессеривания заключается в удалении сероводорода посредством физической или химической адсорбции твердыми адсорбентами. Обычно используемые адсорбенты включают оксид железа, оксид цинка и т.д. Если взять в качестве примера способ десульфурации оксида железа, то сероводород в природном газе вступает в химическую реакцию с оксидом железа с образованием сульфида железа и воды, тем самым достигая десульфурации.[1]

(2) Процесс мокрой десульфурации: В процессе мокрой десульфурации используется химическая реакция между жидким поглотителем и сероводородом для достижения разделения. Обычно используемыми поглотителями являются растворы аминов (таких как MEA, DEA), щелочь и т.д. В качестве примера можно привести процесс десульфурации раствора спиртоamina, при котором спиртоамин вступает в реакцию с сероводородом в природном газе с образованием соответствующих сульфидов и протонированных спиртоаминов, и абсорбент может быть регенерирован и переработан путем нагревания, анализа и т.д., что значительно снижает эксплуатационные расходы.[1]

(3) Процесс мембранного разделения и десульфурации: Метод мембранного разделения и

десульфурации основан на селективной проницаемости специальных полимерных мембран и использует разницу в скорости проникновения различных молекул газа в мембрану для достижения разделения.[1] Из-за различных коэффициентов растворимости и диффузии основных компонентов природного газа, таких как сероводород и метан, молекулы сероводорода могут предпочтительно проходить через мембранный материал, в то время как активные компоненты, такие как метан, задерживаются для достижения цели обессеривания.

2.3 Анализ и сравнение технологии обессеривания

Сероочистка природного газа в основном включает в себя три основных процесса: сухое, мокрое и мембранное разделение, каждый из которых имеет свои собственные сценарии адаптации и характеристики. Метод десульфурации оксида железа, обычно используемый в процессе сухой десульфурации, обладает высокой практичностью благодаря преимуществам короткого процесса и простой конструкции оборудования, но необходимо регулярно заменять десульфураторное средство, а стоимость обработки отработанного десульфуратора высока. Он подходит для условий работы с концентрацией сероводорода $\leq 2,4$ мг./л. Спирто-аминный метод мокрой десульфурации обладает высокой технологической зрелостью и является широко используемым решением в промышленности. Однако конфигурация оборудования для этого метода сложна, а первоначальные инвестиции и последующие эксплуатационные расходы выше. Он больше подходит для крупномасштабных проектов по десульфурации природного газа, особенно для сценариев где содержание скрытой серы превышает 10 т/сут.[1] Основным преимуществом процесса мембранного разделения и десульфурации является то, что структура мембраны чрезвычайно избирательна по отношению к сероводороду. Однако процесс производства мембранной системы сложен, стоимость приобретения высока, а потери энергии при эксплуатации велики, что значительно затрудняет практическое применение этого метода. ограниченный, и он еще не получил широкой популяризации. Эти три типа процессов имеют свои преимущества и недостатки, и фактический выбор необходимо учитывать в сочетании с концентрацией сероводорода в природном газе, масштабами очистки, бюджетными затратами и другими факторами.

Таблица 1. Таблица анализа технологии десульфурации
Table 1. Desulfurization Technology Analysis Table

Категория	Способ обессеривания	Преимущества	Недостатки	Сфера применения
Способ сухого обессеривания	Способ десульфуризации оксида железа	Кратковременный процесс, простота оборудования	Требуется регулярная замена десульфуризирующего агента; высокие затраты на утилизацию отработанного десульфуризирующего агента.	$\rho(\text{H}_2\text{S}) \leq 2.4 \text{ mg/L}$ [1]
Процесс мокрой десульфуризации	Спиртоаминный способ	Относительно отработанная технология	Сложность оборудования, что приводит к высоким инвестиционным и эксплуатационным расходам.	Крупномасштабная десульфуризация природного газа; потенциальное содержание серы более 10 т/д
Процесс мембранного разделения и обессеривания	Способ мембранного разделения	Структура мембраны обеспечивает максимальную селективность к сероводороду	Мембранные системы сложны в производстве, дороги и имеют значительные потери энергии	Практические применения ограничены

3 Способ устранения засорения гидратом природного газа

Основными методами устранения гидратного засорения трубопроводов природного газа являются метод нагрева и понижающий метод. Эти две компании реализуют решение проблемы перегруженности на основе различных принципов, каждый из которых имеет свои собственные технические характеристики и требования к применению.

Во-первых, основная логика метода нагрева заключается в нагревании закупорки таким образом, чтобы ее температура превышала температуру фазового равновесия водного соединения в рабочем состоянии, что приводит к разложению закупорки. Способ включает в себя такие виды нагрева обсадной колонны, как электромагнитный нагрев и высокотемпературный газовый нагрев. Среди них нагрев обсадной колонны достигается за счет противоточного теплообмена холодных и горячих жидкостей во внутренней и внешней трубах, при этом температура жидкости контролируется, а безопасность является высокой; [1] Метод электромагнитного нагрева подразделяется на ленточный метод электронагрева, метод прямого электронагрева и метод микроволнового нагрева. При применении необходимо заранее уточнить местоположение и длину засора, а диапазон нагрева должен полностью охватывать участок засора.

Во-вторых, метод снижения давления заключается в снижении давления в системе до уровня ниже равновесного давления гидратной фазы для достижения разблокировки. Это наиболее широко используемый и эффективный метод разблокировки гидратов в подводных трубопроводах. Он делится на два типа: одностороннее снижение давления и двустороннее одновременное снижение давления. Одностороннее снижение давления относительно просто в эксплуатации, но легко привести к тому, что блокирующий блок соприкоснется с трубопроводом с низким давлением, что представляет угрозу безопасности. Двустороннее одновременное снижение давления позволяет поддерживать баланс давления по обе стороны блокирующего блока, что не только безопаснее, но и быстрее при разблокировке. [1] Поскольку давление на глубоководной стороне подводного трубопровода трудно контролировать, на практике часто необходимо реализовать одностороннее снижение давления на стороне платформы. Кроме того, скорость снижения давления должна разумно контролироваться во время процесса разблокировки, чтобы обеспечить равномерное давление в трубопроводе и избежать дополнительных рисков, вызванных колебаниями давления.

Таблица 2. Таблица анализа технологии очистки трубопроводов
Table 2. Pipeline cleaning technology analysis table

	Способ нагрева	Понижающий метод
Основной принцип	В месте нагрева закупорки температура выше равновесной температуры гидратной фазы при данных рабочих условиях, что приводит к ее разложению и разблокированию.	Уменьшите давление в системе до уровня ниже равновесного давления гидратной фазы, тем самым разлагая гидрат
Основные типы	Лучевой нагрев корпуса, электромагнитный нагрев, высокотемпературный газовый нагрев	Односторонний подъем, двусторонний одновременный подъем
Статус заявки	Широко используется ленточный метод электрообогрева, но он требует большого энергопотребления, а метод прямого электрообогрева является более спорным из-за проблемы электрической коррозии.	Наиболее часто используемый метод устранения засоров в подводных трубопроводах, с продуманным применением и превосходным эффектом

ВЫВОДЫ

Закупорка гидратами природного газа является серьезной скрытой опасностью при транспортировке природного газа, которая серьезно повлияет на безопасность и эффективность эксплуатации трубопроводов, поэтому необходимы научные методы профилактики и контроля. В этой статье рассматриваются основные идеи предотвращения и реагирования на чрезвычайные ситуации, а также предлагаются целенаправленные решения: во-первых, предварительная обработка и обессеривание являются основными средствами предотвращения. Поскольку сероводород может легко соединиться с природным газом, образуя засоры, примеси могут быть удалены с помощью процесса предварительной обессеривания, что может уменьшить количество материала. основа образования гидрата из источника и значительно снижает риск закупорки; во-вторых, для устранения возникшей закупорки используются традиционные методы обработки, проверенные практикой, которые разрушают стабильную структуру гидрата путем регулирования параметров температуры, давления и других условий работы и реализуют быстрое разложение и устранение засоров, а также своевременное беспрепятственное восстановление трубопровода. Комбинированный план предварительной обработки источника и экстренного реагирования на чрезвычайные ситуации не только предотвращает образование засоров в источнике, но и эффективно реагирует на чрезвычайные ситуации, обеспечивая надежную поддержку стабильной и безопасной транспортировки природного газа по трубопроводам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang Sublime. Research and application of natural gas desulfurization technology in the third Oil Production Plant of Zhongyuan Oilfield [J]. Sichuan Chemical Industry, 2021, 24(01):39-42.
2. Liu Ke, Wang Xianglin, Yuan Qinghong, etc. Highly acidic natural gas desulfurization and decarbonization process technology, Technical research [J]. Petroleum and natural gas chemical industry, 2020, 49 (3) : 14-20.
3. Xiong Gang, Hu Yong, Fu Jingqiang, etc. New progress in high-sulfur natural gas purification technology and Development direction [J]. Natural gas industry, 2023, 43 (9) : 34-48.
4. Huang Chao, Dai Yiyang, on behalf of Changchun. Dynamic simulation and energy consumption analysis of natural gas desulfurization process [J]. Natural Gas and Petroleum, 2022, 40(1): 35-43
5. Wang Shihui, Jiang Wei, Huang Kun, etc. Research on multi-objective predictive modeling of natural gas desulfurization process based on deep learning [J]. Petroleum and natural gas chemical industry, 2025, 54 (4) : 1-11.
6. Fan Qinchu, Ruan Yujiao, Zhou Jun. The operating status and prospects of domestic natural gas purification plants under the carbon neutrality target of Carbon peak [J]. Petroleum and natural gas chemical industry, 2023, 52 (1) : 25-31.
7. Gao Libing, Lu Zhongyuan, Suo Hansheng, etc. Status quo of petrochemical process simulation software and development trends [J]. Chemical Progress, 2021, 40:1-14.
8. Huang Ting, Li Changjun, Ding Lin, etc. Dynamics of methane hydrate generation and decomposition in gas-water system [J]. Chemical progress, 2020, 39(8):2954-2961.
9. Gong Jing, Shi Bohui, Chen Yuchuan, etc. Subsea multiphase pipeline transportation containing natural gas hydrates and its clogging risk control [J]. Natural gas industry, 2020, 40(12):133-142.

RESEARCH ON TECHNOLOGY TO PREVENT NATURAL GAS HYDRATE BLOCKAGE

Xiao Zhenxin¹, Gulkov A.N.²

Far Eastern Federal University,
Vladivostok, 690922, Sukhanova St., 8
E-mail:¹syao.ch@dvfu.ru

Abstract. Natural gas hydrate blockage is a core safety hazard in pipeline operation, posing significant risks. Its crystal accumulation and deposition reduce the pipeline's flow cross-section, increase flow resistance, and decrease gas transmission efficiency. In severe cases, it can cause complete pipeline blockage, leading to gas field production interruptions. It can also trigger pipeline ruptures, natural gas leaks, and even explosions and fires. Furthermore, unblocking operations are extremely difficult and costly, and can also shorten the pipeline's service life, hindering the safe and stable development of the gas field.

Subject: To prevent clogging of natural gas hydrates in natural gas pipelines and ensure the safety and stability of transportation. First, clarify its generation mechanism and influencing factors. Through the systematic analysis of these mechanisms and factors, it is concluded that desulfurization treatment is an efficient prevention and control method to prevent the formation of hydrate clogging. In the case of known blockages, use a normalization scheme to remove blockages in water and material pipelines.

Materials and methods: Combine desulfurization technology with existing normalized pipe cleaning technology to solve the problem of hydrate clogging in natural gas pipelines.

Results: Prevention and control of hydrate blockage in natural gas pipelines needs to be based on prevention and supplemented by pipe cleaning technology. Pretreatment desulfurization technology is one of the main preventive methods, which can reduce the possibility of hydrogen sulfide and natural gas combining to form blockages, and reduce the risk of hydrate formation and blockage from the source. For the formed blockage, the operating conditions such as temperature and pressure can be adjusted to destroy the stable structure of the hydrate, quickly decompose and remove the blockage, and ensure the smooth operation of the pipeline.

Conclusions: In order to effectively prevent and control the clogging of natural gas pipelines with hydrates. It is recommended to give priority to the pretreatment and desulfurization links, optimize the process parameters to improve the efficiency of impurity removal, choose highly adaptable equipment, regularly monitor the impurity content in the pipeline natural gas, and cut off the hydrate formation conditions from the source. In view of the blockage that has occurred, a standardized emergency response process should be formulated, a reasonable range of temperature and pressure regulation should be clarified, and professional rapid response equipment should be equipped to ensure that the blockage is efficiently decomposed and removed without damaging the pipeline. At the same time, a monitoring mechanism for the normalization of pipeline operation has been established to track key data such as pressure and temperature in real time, predict the risk of blockage in advance, and combine regular maintenance and overhaul to ensure the continuous smooth operation of the pipeline.

Key words: Natural gas; hydrates; desulfurization technology

СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАК МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Чемодуров В. Т.¹, Литвинова Э. В.²

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Институт «Академия строительства и архитектуры»,
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181.
¹Chens_mu1@mail.ru, ²EllaLit@mail.ru

Аннотация. Совершенствование системы эксплуатации зданий и сооружений является насущной потребностью в экономии материальных и финансовых средств, а также является актуальным и перспективным научно-техническим направлением. В связи с этим появляется необходимость глубокого анализа влияния возможностей, обслуживающих комплекс строительных сооружений, организаций на общее их техническое состояние. Эту задачу вполне можно решить, если свести весь комплекс мероприятий поддержания строительных сооружений на должном техническом уровне в систему технического обеспечения. Система технического обслуживания строительных сооружений является затратной организацией. Одним из путей оптимизации затрат на обслуживание строительных сооружений является использование математического аппарата к исследованию их функционирования и выработке оптимальных стратегий, связанных с их структурой и организацией выполняемых работ. В этом случае существует настоятельная необходимость использовать хорошо апробированный на практике аппарат массового обслуживания, который дает существенный выигрыш в экономии материальных затрат особенно при обслуживании однотипных по своему назначению зданий.

Предмет исследования. Изучение совокупности мероприятий, которые служат поддержанию и восстановлению рабочих свойств технических систем: текущее обслуживание; контроль работоспособности и диагностика; ремонтно-восстановительные работы.

Материалы и методы. Теория технического обеспечения систем тесно связана с теорией вероятностей и математической статистики в виду наличия случайных процессов, происходящих в процессе эксплуатации как строительных сооружений в целом, так и внутренних их систем, и оборудования. Использование на практике методов теории массового обслуживания позволяет сформулировать цели исследования для совершенствования системы технического обеспечения строительных сооружений.

Результаты. Для получения результатов, имеющих практическую ценность, надо хорошо изучить систему обслуживания, знать вероятностные законы функционирования ее отдельных частей. В этом случае, используя метод Монте-Карло, можно вычислить вероятностные характеристики любой системы, как бы сложна она не была.

Выводы. Для получения результатов, имеющих практическую ценность, надо хорошо изучить систему обслуживания, знать вероятностные законы функционирования отдельных ее частей. Моделирование систем массового обслуживания находит (должно находить) широкое применение при создании систем технического обеспечения.

Ключевые слова: система технического обеспечения, система массового обслуживания, метод Монте-Карло, математическое ожидание, поток требований, Марковская случайная функция.

ВВЕДЕНИЕ

В современном обществе необходимо совершенствование методической базы организационно-технологического проектирования строительного производства с помощью компьютерных технологий, развитие алгоритмов вариантного формирования, оценки и выбора организационно-технологических решений строительного производства, в том числе с учетом его вероятностного характера [1].

Совершенствование системы эксплуатации зданий и сооружений является насущной потребностью в экономии материальных и финансовых средств. Совершенствование системы эксплуатации отвечает насущным проблемам развития строительной отрасли, является актуальным и перспективным научно-техническим направлением. В связи с этим появляется необходимость глубокого анализа влияния возможностей, обслуживающих комплекс

строительных сооружений, организаций на общее их техническое состояние. Эту задачу вполне можно решить, если свести весь комплекс мероприятий поддержания строительных сооружений на должном техническом уровне в систему технического обеспечения.

Теория технического обеспечения систем выделилась в самостоятельную и важную ветвь теории эксплуатации. Ее предметом стало изучение совокупности мероприятий, которые служат поддержанию и восстановлению рабочих свойств технических систем.

Важнейшими из них являются [3-7]:

- текущее обслуживание;
- контроль работоспособности и диагностика;
- ремонтно-восстановительные работы.

Система технического обслуживания строительных сооружений является затратной организацией. Затраты связаны с оплатой обслуживающего персонала, стоимостью материалов и приборного оборудования, созданием

определенного запаса элементов конструкции тех или иных систем строительного сооружения. Несомненно, на практике существует стремление к сокращению затрат на содержание системы технического обслуживания. Одним из путей оптимизации затрат на обслуживание строительных сооружений является использование математического аппарата к исследованию их функционирования и выработке оптимальных стратегий, связанных с их структурой и организацией выполняемых работ. В этом случае существует настоятельная необходимость использовать хорошо апробированный на практике аппарат массового обслуживания. Данный аппарат дает существенный выигрыш в экономии материальных затрат особенно при обслуживании однотипных по своему назначению зданий.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В работах Бедова А.И., Сапрыкина В.Ф., Гроздова В.Т., Добромыслова А.Н. и др. рассмотрены методы визуального обследования для оценки технического состояния строительных конструкций [2]. Задачи и требования, выполняемые в процессе технической эксплуатации зданий рассмотрены в работах [3-7]. Решение проблем обеспечения устойчивой безаварийной работы сложных систем рассмотрено в работах [8-11].

Основоположником теории массового обслуживания считается датский ученый А.К. Эрланг. Значительный вклад в создание и разработку общей теории массового обслуживания внесли выдающиеся советские математики А.Я. Хинчин, который разработал метод «вложенных цепей Маркова» и предложил сам термин теория массового обслуживания, и А.Н. Колмогоров [12]. Б.В. Гнеденко обобщил формулы Эрланга, а также рассмотрел случаи потери заявок при отказе канала обслуживания [12].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использование на практике методов теории массового обслуживания позволяет сформулировать цели исследования для совершенствования системы технического обеспечения строительных сооружений, к которым можно отнести:

- разработка теоретических основ эффективности эксплуатации строительных сооружений;

- обоснование показателей эффективности эксплуатации строительных объектов;

- разработка на основе имитационного моделирования методов оценивания эффективности эксплуатации строительных объектов.

Теория технического обеспечения тесно связана с теорией вероятностей и математической статистики в виду наличия случайных процессов, происходящих в процессе эксплуатации как строительных сооружений в целом, так и внутренних их систем, и оборудования.

Часть задач исследования функционирования системы массового обслуживания довольно легко решается аналитически. Однако, ряд задач, встречающихся на практике, зачастую оказываются настолько сложными, что получить их характеристики с помощью аналитических методов невозможно. В таких случаях прибегают к искусственному, но достаточно точному воспроизведению реального процесса функционирования системы массового обслуживания. Моделирование подобных систем состоит в построении искусственных реализаций случайных процессов. Такой метод реализации функционирования системы массового обслуживания называется методом Монте-Карло или методом статистических испытаний [14].

Система массового обслуживания (СМО) считается заданной, если определены следующие ее параметры (рисунок 1) [12-13].

1. Входящий поток требований (моменты поступлений требований в систему). Как правило, считают, что требования однородны.

2. Система обслуживания состоит из накопителя и узла обслуживания (прибора – математическая терминология). Узлов обслуживания может быть несколько (ремонтных бригад). В накопителе образуются очереди.

3. Время обслуживания каждым прибором (бригадой).

4. Дисциплина ожидания. В системах без ожидания требование получает отказ, если все приборы заняты. Если требование становится в очередь и ждет своего часа, то такая система называется системой с ожиданием.

5. Дисциплина очереди – совокупность правил, в соответствии с которыми требование отдает предпочтение той или иной очереди.

6. Дисциплина обслуживания – совокупность правил, в соответствии с которыми требование выбирает прибор, которым оно будет обслужено.

Введем следующие обозначения:

- q / v – число требований в системе обслуживания / в накопителе;

- j – число требований в узле обслуживания;

- s / ρ – число приборов / незанятых приборов.

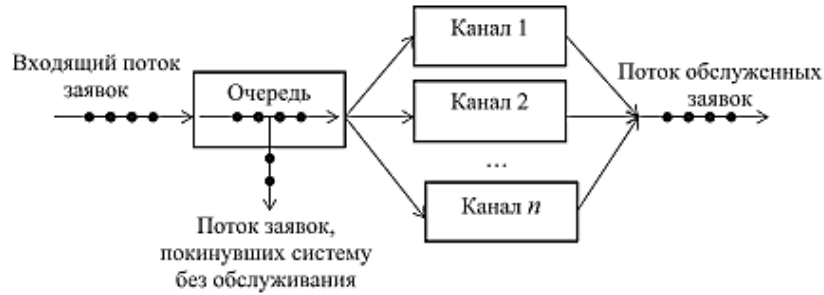


Рис. 1. Структурная схема СМО
Fig. 1. Block diagram of the mass service system (MSS)

Очевидно

$$q = v + j, \quad s = j + \rho.$$

На практике обычно моменты поступления требований в систему случайны. В этом случае и поток требований называют случайным. Как правило, является случайной и длительность обслуживания требования. Введем еще ряд обозначений параметров, связанных с теорией вероятностей [14]:

– λ – математическое ожидание числа требований, поступивших в систему обслуживания в единицу времени;

– μ_s – математическое ожидание числа требований, обслуженных s приборами в единицу времени;

– $\varphi = \lambda/\mu_s$ – коэффициент загрузки системы (в дальнейшем рассматриваем системы, у которых $\varphi < 1$);

– p_q – вероятность того, что в системе обслуживания q требований ($0 \leq q \leq q_{max}$).

Математическое ожидание числа требований в системе обслуживания

$$M(q) = \sum_{q=0}^{q_{max}} q \cdot p_q.$$

Математическое ожидание числа требований в накопителе

$$M(v) = \sum_{q=s}^{q_{max}} (q - s)p_q.$$

Математическое ожидание числа требований в узле обслуживания

$$M(j) = \sum_{q=0}^s q \cdot p_q + \sum_{q=s+1}^{q_{max}} s \cdot p_q.$$

Математическое ожидание числа свободных приборов

$$M(\rho) = \sum_{q=0}^s (s - q)p_q.$$

Очевидно, что

$$M(q) = M(v) + M(j) \quad \text{и} \quad s = M(j) + M(\rho).$$

Для систем, которые работают уже длительное время, естественно предположить, что математическое ожидание числа требований, покинувших систему за единицу времени, равно математическому ожиданию числа требований,

поступивших в систему за единицу времени, то есть λ .

В этом случае математическое ожидание времени ожидания в накопителе

$$\omega = \frac{M(v)}{\lambda},$$

Математическое ожидание времени пребывания требования в системе

$$u = \frac{M(q)}{\lambda}.$$

Теория массового обслуживания позволяет установить зависимость вероятностных характеристик системы обслуживания от плотности потока требований, производительности приборов, их количества и прочих параметров. Таким образом, включается экономический эффект, очень важно найти наименьшую полную стоимость C единицы времени ожидания обслуживания в накопителе и простоя приборов

$$C = c_1 M(v) + c_2 M(\rho) = c_1 \sum_{q=s}^{q_{max}} (q - s)p_q + c_2 \sum_{q=0}^s (s - q)p_q. \quad (1)$$

Здесь c_1 – стоимость единицы времени ожидания одного требования; c_2 – стоимость единицы времени простоя одного прибора.

Характеристики системы массового обслуживания зависят от вероятностей p_q пребывания в системе q требований. Вычисление p_q строится на базе теории случайных функций.

Поток требований можно описать с помощью случайной функции $X(t)$, которая определяет число требований поступивших в систему за промежуток времени $(0, t)$ и является дискретным случайным процессом. Она принимает неотрицательные значения и является неубывающей функцией $P[X(t_i) = m_i]$ – вероятность того, что за время $(0, t_i)$ поступит m_i требований. Такой способ задания потока требования является довольно громоздким. На практике чаще всего встречаются потоки, которые, обладая специфическими свойствами, задаются более простыми выражениями. К ним относятся свойства стационарности, отсутствием последействия, ординарности.

Простейшим или пуассоновским потоком требований называется поток, одновременно обладающий свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последействия. Можно

показать, что для простейшего потока вероятность появления m требований определяется формулой

$$p_m(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^m}{m!}. \quad (2)$$

Таким образом, для полного определения простейшего потока достаточно знать математическое ожидание числа требований, поступивших в систему в единицу времени.

В [12-13] было показано, что поток требований можно считать простейшим, если он получен суммированием достаточно большого числа независимых между собой потоков, влияние каждого из которых на сумму равномерно малое. Например, поток неисправностей систем, состоящих из большого количества узлов (деталей), считается простейшим, если поломки узлов (деталей) независимы между собой, и каждый узел может выйти из строя, лишь с малой вероятностью. На практике достаточно сложить 4-5 потоков, удовлетворяющих указанным условиям, чтобы получить простейший поток.

Важным для аналитического исследования функционирования системы обслуживания является выбор законов распределения для интервала времени между двумя последовательными требованиями и для времени обслуживания требования. Основанием выбора перечисленных законов распределения является добросовестно собранная статистика периодичности появления отказов в отдельных системах строительных сооружений и времени их устранения (восстановления систем). Эти данные (в идеале) должны фиксироваться в разработанном паспорте на каждое строительное сооружение.

Закон распределения интервала времени между двумя последовательными требованиями достаточно точно описывается показательным распределением

$$F(\tau) = 1 - e^{-\lambda \tau}.$$

Его плотность распределения

$$f(\tau) = \lambda e^{-\lambda \tau}$$

Математическое ожидание длительности интервала между двумя последовательными требованиями

$$M(\tau) = \int_0^{\infty} \tau f(\tau) d\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

Дисперсия длительности интервала

$$\sigma^2 = M(\tau^2) - [M(\tau)]^2 = \frac{1}{\lambda^2}.$$

Главное свойство показательного закона заключается в следующем: если промежуток времени T между двумя последовательными требованиями, распределенный по показательному закону, уже длился некоторое время τ_1 , то это никак не влияет на закон распределения оставшейся части промежутка; он будет таким же, как и закон распределения всего промежутка T .

Время обслуживания является случайной величиной. Особый интерес представляет случай, когда время обслуживания требования одним прибором имеет показательное распределение:

$$F(t_0) = 1 - e^{-\mu t_0};$$

$$f(t_0) = \mu e^{-\mu t_0},$$

и $1/\mu$ – математическое ожидание времени обслуживания требования; μ – математическое ожидание числа требований, обслуженных прибором в единицу времени, при условии, что он занят непрерывно.

Применительно к времени обслуживания, свойство показательного закона формулируется так: если в какой-то момент времени происходит обслуживание требования, то закон распределения оставшегося времени обслуживания не зависит от того, сколько времени обслуживание уже продолжалось.

Если $s > 1$, то $\mu_s = s\mu$ и $1/s\mu$ – математическое ожидание времени обслуживания требований s приборами, которые заняты непрерывно μ_s – математическое ожидание числа обслуживания s приборами за единицу времени при условии, что все они заняты непрерывно. В этом случае поток обслуженных требований называется простейшим.

Обозначим $X(t)$ – число требований, находящихся в системе в момент времени t . Функция $X(t)$ принимает $(n + 1)$ значения: $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$. Функция $X(t)$ – Марковская случайная функция.

Определим вектор вероятностей $p(t)$ для любого момента времени t ; $p_q(t)$ – вероятность того, что функция $X(t)$ в момент времени t принимает значение x_q , $q = (0, 1, \dots, n)$. Заменяя непрерывное время t на скачкообразное Δt , сведем функцию $X(t)$ к простой цепи Маркова. Составим матрицу вероятностей перехода системы из одного состояния в последующее. В интервале $(t, t + \Delta t)$ могут произойти следующие переходы:

$$\begin{cases} x_0 \rightarrow x_0, & x_0 \rightarrow x_1; \\ x_q \rightarrow x_{q-1}, & x_q \rightarrow x_q, & x_q \rightarrow x_{q+1}, & (n > q > 0); \\ x_n \rightarrow x_{n-1}, & x_n \rightarrow x_n. \end{cases}$$

Определим вероятности следующих событий [14].

1. За интервал $(t, t + \Delta t)$ в систему не поступит ни одного требования. Используем формулу (2)

$$p_0(\Delta t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^0}{0!} = e^{-\lambda t}.$$

Так как $e^{-x} = 1 - x + o(x)$ (разложение в ряд Тейлора), то

$$p_0(\Delta t) \approx 1 - \lambda \Delta t.$$

2. За интервал $(t, t + \Delta t)$ прибор не закончит обслуживание. Вероятность этого события

$$P(T_0 > \Delta t) = 1 - F(\Delta t) = e^{-\mu \Delta t} \approx 1 - \mu \Delta t.$$

Тогда вероятность поступления в систему ровно одного требования за интервал $(t, t + \Delta t)$ и вероятность того, что за интервал $(t, t + \Delta t)$ прибор обслужит ровно одно требование, соответственно равны как вероятности противоположных рассмотренных событий: $1 - (1 - \lambda \Delta t) = \lambda \Delta t$ и $1 - (1 - \mu \Delta t) = \mu \Delta t$.

Вычислим вероятность $p_{qq}(t, t + \Delta t)$, где $n > q > 0$. Если в момент t в системе находилось q требований, то событие, состоящее в том, что в момент $(t + \Delta t)$ в системе по-прежнему будет

находиться q требований, можно рассматривать как сумму следующих двух несовместных событий.

Событие A – за интервал $(t + \Delta t)$ ни одно требование не поступило в систему и ни одно требование не было обслужено, тогда

$$P(A) \approx (1 - \lambda\Delta t)(1 - \mu\Delta t).$$

Событие B – за интервал $(t + \Delta t)$ в систему поступило ровно одно требование и за это же время прибор закончил обслуживание одного требования и оно покинуло систему, тогда

$$P(B) \approx \lambda\Delta t \cdot \mu\Delta t.$$

Таким образом,

$$p_{qq}(t, t + \Delta t) \approx (1 - \lambda\Delta t)(1 - \mu\Delta t) + \lambda\Delta t \cdot \mu\Delta t \approx 1 - \lambda\Delta t - \mu\Delta t.$$

Здесь $2\lambda\mu(\Delta t)^2$ – величина бесконечно малая. Рассуждая аналогично, можно определить и другие вероятности переходов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Модель функционирования системы обеспечения зависит от состава и типа обслуживающих сооружений, их предназначений и насыщением внутреннего оборудования. Рассмотрим одну из возможных систем обслуживания, у которых входящий поток требований – простейший, а время обслуживания требования каждым прибором имеет один и тот же показательный закон распределения. Будем считать, что потоки требований и обслуживаний независимы.

Рассмотрим частный случай – систему с ожиданием и с s приборами. Параметры системы: узел обслуживания имеет s приборов и очередь; на количество требований никакие ограничения не накладываются; очередь упорядоченная.

Вероятности перехода (матрица перехода):

Наименование состояния	Вероятность перехода
$x_0 \rightarrow x_0$	$1 - \lambda\Delta t$
$x_0 \rightarrow x_1$	$\lambda\Delta t$
$x_q \rightarrow x_{q-1}, s > q > 0.$	$q\mu\Delta t$
$x_q \rightarrow x_q, s > q > 0.$	$1 - (\lambda + q\mu)\Delta t$
$x_q \rightarrow x_{q+1}, s > q > 0.$	$\lambda\Delta t$
$x_q \rightarrow x_{q-1}, q > s.$	$s\mu\Delta t$
$x_q \rightarrow x_q, q > s.$	$1 - (\lambda + s\mu)\Delta t$
$x_q \rightarrow x_{1+1}, q > s.$	$\lambda\Delta t$

Матрица перехода позволяет создать систему уравнений для определения предельных вероятностей $p_0, p_1, \dots, p_s, p_{s+1}, \dots, p_{s+n}$:

$$\left. \begin{aligned} -\lambda p_0 + \mu p_1 &= 0, \\ \lambda p_{q-1} - (\lambda + q\mu)p_q + (q+1)\mu p_{q+1} &= 0 \quad s > q > 0, \\ \lambda p_{q-1} - (\lambda + s\mu)p_q + s\mu p_{q+1} &= 0, \quad q \geq s. \end{aligned} \right\}$$

Далее, необходимо учесть, что $\varphi = \lambda/\mu_s = \lambda/(s\mu) < 1,0$. Теперь определяем параметры процесса обеспечения. Вероятность p_0 определяем из нормированного условия

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{q=0}^{s-1} \frac{\varphi^q s^q}{q!} + \frac{s^s \varphi^s}{s!(1-\varphi)}}.$$

Формулы для вероятностей состояния системы:

$$p_q = \frac{\frac{(\varphi s)^q}{q!}}{\sum_{q=0}^{s-1} \frac{\varphi^q s^q}{q!} + \frac{s^s \varphi^s}{s!(1-\varphi)}}, \quad s \geq q \geq 0;$$

$$p_q = \frac{\frac{s!}{s^q}}{\sum_{q=0}^{s-1} \frac{\varphi^q s^q}{q!} + \frac{s^s \varphi^s}{s!(1-\varphi)}}, \quad q \geq s.$$

Математическое ожидание числа требований в накопителе

$$M(v) = \frac{\varphi^{s+1} s^s}{s!(1-\varphi)^2} p_0.$$

Математическое ожидание числа требований в узле обслуживания

$$M(j) = \varphi s.$$

Математическое ожидание числа требований в системе обслуживания

$$M(q) = \frac{\varphi^{s+1} s^s}{s!(1-\varphi)^2} p_0 + \varphi s.$$

Математическое ожидание числа свободных приборов

$$M(\rho) = s(1-\varphi).$$

Время ожидания обслуживания

$$\omega = \frac{M(v)}{\lambda} = \frac{p_0}{\mu} \cdot \frac{\varphi^s s^{s-1}}{s!(1-\varphi)^2};$$

Время пребывания требования в системе

$$u = \frac{M(q)}{\lambda} = \frac{p_0}{\mu} \cdot \frac{\varphi^s s^{s-1}}{s!(1-\varphi)^2} + \frac{1}{\mu}$$

Универсальной оценкой системы обслуживания являются затраты на ее восстановление и потери при вынужденном простое (1).

Рассмотрим одну из самых простых систем массового обслуживания. Система состоит из s одинаковых приборов; входящий поток – простейший с параметром λ ; время обслуживания одного требования t_0 постоянно. Система без ожидания, то есть требование при занятых приборах покидает систему. Порядок обслуживания следующий: если в момент поступления k -го требования, первый прибор свободен, то он приступает к обслуживанию требования; если этот прибор занят, то требование обслуживает второй прибор и так далее. Требуется определить, сколько требований в среднем обслужит система за время T и сколько в среднем отказов она даст?

За начальный момент отсчета выберем момент поступления первого требования $T_1 = 0$. Введем следующие обозначения:

- T_k – момент поступления k -го требования;
- τ_k – промежуток времени между поступлением в систему k -го и $(k+1)$ -го требования;
- t_i – момент окончания обслуживания требования i -м прибором.

Предположим, что в момент времени T_1 все приборы свободны. Первое требование поступает на 1 прибор. Таким образом, этот прибор в течении t_0 занят. Поэтому t_1 следует заменить на $t_1 = T_1 + t_0$, добавив единицу к счетчику обслуженных требований, и перейти к рассмотрению второго требования.

Предположим, что k требований уже рассмотрено. Определим момент поступления $(k+1)$ -го требования. Для этого найдем очередное значение *random* равномерно распределенное на интервале $(0, 1)$ случайной величины и вычислим очередное значение

$$\tau_k = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - \text{random})$$

или

$$\tau_k = -\frac{1}{\lambda} \ln(\text{random})$$

Затем находим момент поступления $(k+1)$ -го требования $T_{k+1} = T_k + \tau_k$. Свободен ли в этот момент первый прибор? Для ответа на этот вопрос необходимо проверить условие $t_1 \leq T_{k+1}$. Если это условие выполнено, то к моменту T_{k+1} первый прибор освободился и может обслуживать требование. В этом случае t_1 заменяем на $T_{k+1} + t_0$, добавляя единицу к счетчику обслуженных требований, и переходим к следующему требованию. Если $t_1 > T_{k+1}$, то первый прибор в момент T_{k+1} занят. В этом случае проверяем, свободен ли второй прибор.

Если условие $t_2 < T_{k+1}$ выполнено, заменяем время $t_2 = T_{k+1} + t_0$, добавляя единицу к счетчику обслуженных требований, и переходим к

следующему требованию. Если $t_2 > T_{k+1}$, то проверяем условие $t_3 \leq T_{k+1}$ и так далее.

Если при всех i от 1 до s имеем $t_i > T_{k+1}$, то в момент T_{k+1} все приборы заняты. В этом случае прибавляем единицу в счетчик отказов и переходим к рассмотрению следующего требования.

Каждый раз, вычислив T_{k+1} , надо проверить еще условие окончания реализации $T_{k+1} > T$. Если это условие выполнено, то одна реализация случайного процесса функционирования системы воспроизведена и опыт заканчивается. В счетчике обслуженных требований и в счетчике отказов находятся числа $n_{обс}$ и $n_{отк}$.

Получив n реализаций случайного процесса, найдем математические ожидания обслуженных требований и отказов

$$M(n_{обс}) \approx \frac{1}{n} \sum_{j=1}^s (n_{обс})_j; \quad M(n_{отк}) \approx \frac{1}{n} (n_{отк})_j.$$

где $(n_{обс})_j$ и $(n_{отк})_j$ – значения $n_{обс}$ и $n_{отк}$ в j -ом опыте.

ВЫВОДЫ

Систему технического обеспечения можно представить, как совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления зданий и сооружений.

Процесс технического обеспечения можно рассматривать как комплекс операций по поддержанию работоспособности или исправности строительных сооружений и их систем при использовании по назначению.

Системы обеспечения функционирования зданий по своему назначению относятся к системам многоазового действия, их поток отказов может быть принят простейшим, то есть характеризующимся ординарностью, стационарностью и отсутствием последействия. В этом случае можно найти решение для одного из частных случаев. Это случай, когда время безотказной работы и время восстановления системы вполне согласуются с экспоненциальным законом распределения (что вполне отвечает гипотезе наилучших условий).

Для получения результатов, имеющих практическую ценность, надо хорошо изучить систему обслуживания, знать вероятностные законы функционирования отдельных ее частей. Тогда, используя метод Монте-Карло, можно вычислить вероятностные характеристики любой системы, как бы сложна она не была. Моделирование систем массового обслуживания находит (должно находить) широкое применение при создании систем технического обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев Ю.Н. Компьютерные технологии проектирования строительного производства [Электронный ресурс]: учебное пособие и лабораторный практикум / Ю.Н. Николаев; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Электронные текстовые и графические данные (6,2 Мбайт). – Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. – Учебное электронное издание сетевого распространения.
2. Добромислов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. Справочное пособие / А.Н. Добромислов. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 72 с.
3. Абрашитов В.С. Техническая эксплуатация и обследование строительных конструкций: учебное пособие / В.С. Абрашитов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. – 104 с.
4. Григорьев П.Я. Техническая эксплуатация зданий: учебное пособие / П.Я. Григорьев, Н.П. Чипига. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2001. – 152 с.
5. Дементьева М.Е. Техническая эксплуатация зданий: оценка и обеспечение эксплуатационных свойств конструкций зданий: учебное пособие / М.Е. Дементьева. – М.: МГСУ, 2008. – 227 с.
6. Комков В.А. Техническая эксплуатация зданий и сооружений: учебник / В.А. Комков, С.И. Рощина, Н.С. Тимакова. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 287 с.
7. Лебедев В.М. Техническая эксплуатация зданий: учебное пособие / В.М. Лебедев. – Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010. – 235 с.
8. Андреев А.В. Теоретические основы надежности технических систем: учебное пособие / А.В. Андреев, В.В. Яковлев, Т.Ю. Короткая. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – 164 с.
9. Шкляр В.Н. Надежность систем управления: учебное пособие / В.Н. Шкляр; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 126 с.
10. Шубин Р.А. Надёжность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / Р.А. Шубин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.
11. Надежность технических систем и техногенный риск: учебно-методическое пособие / сост. А.В. Кулагин, С.В. Ширококов. – Ижевск: Изд. центр «Удмуртский университет», 2020. – 110 с.
12. Олейникова С.А. Математическое моделирование и системы массового обслуживания / С.А. Олейникова. – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 90 с.
13. Плескунов М.А. Теория массового обслуживания: учебное пособие / М.А. Плескунов; М-во науки и высшего образования РФ, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та,

2022. – 264 с.

14. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа: учебное пособие / Н.Н. Моисеев. – М.: URSS, 2023. – 532 с.

REFERENCES

1. Nikolaev Yu.N. Computer technologies for designing construction production [Electronic resource]: a training manual and a laboratory workshop / Yu.N. Nikolaev; M-in education and science. Federation, Volgogr. state. archit. un-t. – Electronic text and graphic data (6.2 MB). – Volgograd: VolgGASU, 2015. – Educational electronic edition of network distribution.
2. Dobromyslov A.N. Assessment of the reliability of buildings and structures by external characteristics. Reference manual / A.N. Dobromyslov. – M.: Publishing House of the ASV, 2004. – 72 p.
3. Abrashitov V.S. Technical operation and inspection of building structures: a training manual / V.S. Abrashitov. – M.: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2005. – 104 p.
4. Grigoriev P.Ya. Technical operation of buildings: a textbook/P.Ya. Grigoriev, N.P. Chipiga. – Khabarovsk: Publishing House DVGUPS, 2001. – 152 p.
5. Dementieva M.E. Technical operation of buildings: assessment and provision of operational properties of building structures: training manual / M.E. Dementieva. – M.: MGSU, 2008. – 227 p.
6. Komkov V.A. Technical operation of buildings and structures: textbook / V.A. Komkov, S.I. Roshchina, N.S. Timakova. – M.: INFRA-M, 2008. – 287 p.
7. Lebedev V.M. Technical operation of buildings: textbook / V.M. Lebedev. – Belgorod: Publishing House BSTU named after V. G. Shukhov, 2010. – 235 p.
8. Andreev A.V. Theoretical foundations of the reliability of technical systems: a textbook / A.V. Andreev, V.V. Yakovlev, T.Yu. Short. – St. Petersburg: Publishing House Polytechnic. University, 2018. – 164 p.
9. Shklyar V.N. Reliability of control systems: training manual / V.N. Shklyar; Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2009. – 126 p.
10. Shubin R.A. Reliability of technical systems and man-made risk: a textbook / R.A. Shubin. – Tambov: Publishing House of FSBEI HPE «TSTU», 2012. – 80 p.
11. Reliability of technical systems and man-made risk: training manual / Comp. A.V. Kulagin, S.V. Shirobokov. – Izhevsk: Ed. Center «Udmurt University», 2020. – 110 p.
12. Oleinikova S.A. Mathematical Modeling and Mass Service Systems / S.A. Oleinikova. – FSBEI HE «Voronezh State Technical University». – Voronezh: Publishing House of VSTU, 2021. – 90 p.
13. Pleskunov M.A. Theory of mass service: a textbook / M.A. Pleskunov; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural. feder.

un-t. – Yekaterinburg: Ural Publishing House.
University, 2022. – 264 p.

system analysis: a textbook / N.N. Moiseev. – M.:
URSS, 2023. – 532 p.

14. Moiseev N.N. Mathematical problems of

MASS SERVICE SYSTEM AS A MODEL OF HARDWARE SYSTEM OPERATION STUDY CONSTRUCTION FACILITIES

Chemodurov V.T.¹, Litvinova E.V.²

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Institute "Academy of Construction and Architecture"
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea 295050
¹Chens_mu1@mail.ru, ²EllaLit@mail.ru

Abstract. Improving the system of operation of buildings and structures is an urgent need to save material and financial resources, and is an urgent and promising scientific and technical direction. In this regard, there is a need for an in-depth analysis of the impact of the capabilities serving the complex of construction structures, organizations on their general technical condition. This task can be solved if you reduce the entire range of measures to maintain building structures at the proper technical level into a technical support system. The construction facilities maintenance system is a costly organization. One of the ways to optimize the cost of maintaining building structures is to use a mathematical apparatus to study their functioning and develop optimal strategies related to their structure and organization of work. In this case, there is an urgent need to use a well-proven mass service apparatus, which gives significant benefits in saving material costs, especially when servicing buildings of the same type.

Subject. Study of a set of measures that serve to maintain and restore the working properties of technical systems: routine maintenance; performance monitoring and diagnostics; repair and restoration work.

Materials and methods. The theory of technical support of systems is closely related to the theory of probabilities and mathematical statistics in view of the presence of random processes that occur during the operation of both building structures as a whole and their internal systems and equipment. Using the methods of the theory of mass service in practice, it is possible to formulate research goals for improving the technical support system of building structures.

Results. To obtain results of practical value, it is necessary to study the service system well, to know the probabilistic laws of the functioning of its individual parts. In this case, using the Monte Carlo method, it is possible to calculate the probabilistic characteristics of any system, no matter how difficult it is.

Conclusions. To obtain results of practical value, it is necessary to study the service system well, to know the probabilistic laws of functioning of its individual parts. The modeling of mass service systems is (should be) widely used in the creation of technical support systems.

Key words: technical support system, mass service system, Monte Carlo method, mathematical expectation, requirements flow, Markov random function.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ СЕКЦИОННОГО ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ НАРУЖНЫХ СТЕНОВЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУАССОНА

Шуршилин¹ Е. А., Олехнович² Я. А.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет»,
г. Санкт-Петербург, Политехническая улица, 29,
E-mail: ¹ shurshilin.ea@edu.spbstu.ru, ²olehnovich.yaa@spbstu.ru

Актуальность исследования. Вопросы надежности строительных конструкций являются ключевыми при реализации строительных проектов. В большинстве случаев исследователи рассматривают и изучают надежность конструкций несущих элементов зданий и сооружений, напрямую влияющих на жесткость, прочность и устойчивость зданий и сооружений при исследовании вопросов сроков эксплуатации того или иного сооружения. Тем не менее, помимо вопросов безопасности зданий и сооружений актуальным стало и повышение энергоэффективности объектов строительства в том числе путём применения новых технологий, методик и инструментальных средств при проектировании тепловой защиты зданий. Потому авторы исследования считают актуальным рассмотрение вопросов надежности конструкции секционного облицовочных слоев наружных ограждающих конструкций, имеющих непосредственное влияние на тепло-влажностный режим зданий и сооружений. Под секционным облицовочным слоем авторы исследования понимают любой облицовочный слой, состоящий из набора отдельных плит, пластин и прочих изделий разделяющих облицовочный слой на определенное число секций. К такого рода конструкциям относят панельные и кирпичные фасады.

Цель исследования. На основе распределения Пуассона получить вероятностную модель прогрессирующего разрушения секционного облицовочного слоя наружных стеновых ограждающих конструкций.

Задачи исследования.

1. Провести обзор научных разработок по теме исследования и определить степень проработки вопроса исследования;
2. Определить исходную постановку задачи моделирования разрушения секционного облицовочного слоя наружных стеновых ограждающих конструкций, в т. ч. входные данные и начальные условия.
3. Сформировать вероятностную модель разрушения секционного облицовочного слоя наружных стеновых ограждающих конструкций с использованием распределения Пуассона;
4. Апробировать модель на практическом примере.

Предмет исследования: секционный облицовочный слой наружной стеновой ограждающей конструкции

Материалы и методы: математическое моделирование с применением распределения Пуассона.

Результаты: математическая модель разрушения секционного облицовочного слоя наружной стеновой ограждающей конструкции на основе распределения Пуассона.

Выводы: проведен анализ научных разработок по тематике исследования, определена исходная постановка задачи моделирования разрушения секционного облицовочного слоя фасадной конструкции, получена математическая модель разрушения секционного облицовочного слоя фасадной конструкции, математическая модель апробирована на практическом примере, получены сведения о возможностях расчета срока эксплуатации фасадной конструкции с применением разработанного математического аппарата.

Ключевые слова: наружная стена, математическое моделирование, ограждающая конструкция, облицовочный слой, срок службы фасада

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции проектирования фасадных конструкций направлены на повышение их энергетической и экономической эффективности в составе зданий и сооружений в целом. Достижение этих целей при проектировании фасадных систем достигается за счет реализации следующих положений в процессе разработки проектных решений:

– Использование типовых конструктивных решений фасадных систем, отвечающих современным требованиям нормативно-технической документации и обладающих достаточной степенью теоретического и практического обоснования их эффективности, при проектировании объектов капитального строительства;

– Применение современных методов и алгоритмов расчета фасадных конструкций по

различным критериям (прочность, надежность, тепловая защита, влажностная защита и т. д.) на этапе проектирования зданий и сооружений с целью обоснования применимости проектного решения в конкретных условиях проектирования;

– Использование в рамках разрабатываемых проектных решений фасадных систем современных строительных материалов, строительного оборудования и прочих технологий, позволяющих повысить эффективность и надежность конструкции.

Реализация вышеописанных положений при проектировании конструкций диктует необходимость в разработке новых методик расчёта фасадных систем в части обоснования их экономической и энергетической эффективности. В частности, упомянутые тенденции требуют анализа прогнозируемого срока службы как зданий и сооружений в целом, так и отдельных систем в их составе. Прогнозирование срока службы фасадных

конструкций как для проектируемых, так и для эксплуатируемых зданий и сооружений позволит более точно обосновать применение того или иного решения фасадных конструкций, учитывая различные расчётные критерии эффективности системы и затраты на реализацию проектного решения. Описанные факторы позволили сделать вывод об актуальности проводимого исследования, целью которого является разработка методики моделирования разрушения секционного облицовочного слоя фасадных конструкций с использованием методов вероятностного моделирования. Данная методика позволит оценивать прогрессирование разрушения секционного облицовочного слоя фасадной конструкции во времени и, как следствие, при наложении граничных условий определять срок службы фасадной конструкции. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

1. Провести обзор научных разработок по теме исследования и определить степень проработки вопроса исследования;
2. Определить исходную постановку задачи моделирования разрушения секционного облицовочного слоя наружных стеновых ограждающих конструкций, в т. ч. входные данные и начальные условия.
3. Сформировать вероятностную модель разрушения секционного облицовочного слоя наружных стеновых ограждающих конструкций с использованием распределения Пуассона;
4. Апробировать модель на практическом примере.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На первом этапе исследования были проанализированы научные разработки, относящиеся к тематике исследования [1-20]. Анализ научных исследований позволил сделать следующие выводы:

1. Научные разработки по теме исследования можно классифицировать по следующим признакам:

– *Критерий эффективности фасадной конструкции, рассматриваемый в рамках исследования:* разработки, рассматривающие вопросы прочности, устойчивости и жесткости фасадных конструкций [1-4]; разработки, анализирующие надежность фасадных конструкций и их поведение при эксплуатации [5-11]; разработки, анализирующие теплотехнические свойства фасадных систем [12-17]; разработки, рассматривающие вопросы экономической эффективности и/или экономического обоснования применения проектного решения фасадной конструкции [18-20].

– *Метод получения данных о фасадных конструкциях по тому или иному критерию:* математическое моделирование [1-5, 12-16], обследование введенных в эксплуатацию зданий

или сооружений [6-11], сравнительный анализ проектных решений, методик и/или статистических данных [17-20].

– *Характер полученных научных данных по тому или иному критерию в результате исследования:* новые сведения о поведении фасадных конструкций в условиях эксплуатации [1-4, 6, 10, 12-15, 17], рекомендации по выбору проектных решений или методик расчёта фасадных конструкций и их описание [5, 7-9, 11, 16, 18-20].

2. Основными недостатками рассмотренных научных исследований, характеризующими относительно невысокую значимость для проводимого исследования, являются:

– Ограниченность исследования поведения фасадных конструкций в рамках одного критерия эффективности конструкции, не дающего комплексного представления о поведении фасадных конструкций в условиях реальной эксплуатации [1-4, 12-17];

– Отсутствие выводов о сроках эксплуатации конструкций как одного из важнейших критериев обоснования надежности и экономической эффективности конструкций [5, 17-20];

– Массивность математического аппарата, используемого для описания свойств и/или поведения фасадных конструкций, не позволяющее сформулировать на основе результатов исследования конкретную методику расчёта или обоснования проектного решения, удобную для практического применения [1-4, 12-16].

Вышеописанные недостатки существующих научных разработок, относящихся к тематике исследования, позволили сделать вывод о недостаточной степени научной проработанности вопросов обоснования сроков эксплуатации фасадных конструкций объектов капитального строительства, а также определили целесообразность разработки математических моделей разрушения фасадных конструкций зданий и сооружений во времени. Подробное описание модели представлено в следующем разделе исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно поставленным задачам исследования на втором этапе сформулирована постановка задачи.

Пусть есть стеновая конструкция, состоящая из k слоёв. 1 слой конструкции – облицовочный секционный. Секционный слой состоит из N облицовочных секций (панелей). Схема представлена на рис. 1. Каждый слой конструкции обладает определенным набором характеристик $\chi_j, j \in \square$, описывающих физические свойства материалов слоёв. Требуется установить процесс разрушения (отказа работы) облицовочной секции и, основываясь на предельно допустимом числе упавших панелей n_u и полученной модели процесса

установить предельный срок службы фасадной конструкции.

Входными данными к разработке модели являются величины, описанные в таблице 1.

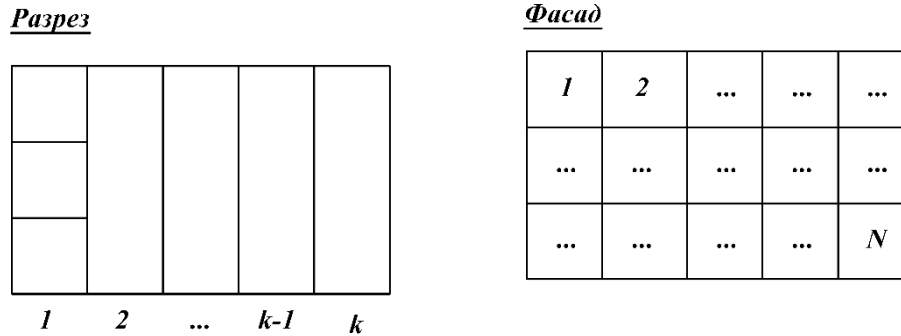


Рис. 1. Схема к постановке задачи
Fig. 1. Scheme for problem statement

Таблица 1. Входные данные
Table 1. Input data

Величина	Единица измерения	Обозначение
Количество слоёв конструкции	-	k
Количество панелей 1 слоя	-	N
Количество рассматриваемых величин, описывающих физические свойства материалов слоёв конструкции	-	j
j -я(й) характеристика (критерий) k -го слоя	EI_{jk}^{-1}	χ_{jk}

Упомянутые входные данные позволяют описать критерий предельно допустимого числа упавших панелей. Определение предельно допустимого количества упавших секций по каждому критерию производится путём решения уравнения:

$$\chi_{jk}(N - n_u) = \chi_{jk}(N) - |\Delta\chi_{jk}| \rightarrow n_u(\chi_{jk}), \quad (1)$$

где $\chi_{jk}(N)$ - значение характеристики (критерия) в нулевой момент времени, когда все секции функционируют;

$\chi_{jk}(N - n_u)$ - значения критерия при достижении предельного количества отказавших секций;

$|\Delta\chi_{jk}|$ - предельно допустимое изменение критерия;

$n_u(\chi_{jk})$ - решение уравнения относительно предельного числа панелей.

Таким образом, решая $j \times k$ уравнений и получая соответствующее количество его решений, формируется матрица решений. За предельно допустимое число панелей принимается минимальное из решений:

$$n_u = \min \begin{bmatrix} n_u(\chi_{11}) & n_u(\chi_{21}) & \dots & n_u(\chi_{j1}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_u(\chi_{1k}) & n_u(\chi_{2k}) & \dots & n_u(\chi_{jk}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Примем, что за один раз число секций может изменяться только на единицу (т. е. события

падения панелей являются независимыми между собой). Тогда процесс уменьшения числа секций можно назвать пуассоновским потоком событий. Что означает, что за время эксплуатации конструкции T случится n случайных событий, соответствующих уменьшению числа секций. При чём в промежуток времени T вместится конечное количество промежутков времени τ , в моменты между которыми количество секций уменьшится на единицу. Этот промежуток времени определяется как:

$$\tau = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln(P), \quad (3)$$

где P - вероятность наступления n событий пуассоновского потока. Определяется как равномерно распределённое случайное число в интервале от 0 до 1;

λ - интенсивность процесса (среднее число событий в единицу времени).

Очевидно, что при эксплуатации сооружений:

$$T = \sum_{i=1}^n \tau_i; \quad (4)$$

Для определения начальной интенсивности процесса необходимо определить начальные условия:

- T_0 - срок эксплуатации сооружения до начала моделирования. В случае зданий, вводимых в эксплуатацию, задается равным единице времени;

n_0 - количество упавших секций за срок эксплуатации T_0 . В случае зданий, вводимых в

эксплуатацию, принимается на основании статистических данных, приведенных к единице времени в виде целого числа.

Тогда начальная интенсивность задается как:

$$\lambda_0 = \frac{N_0}{T_0}; \quad (5)$$

Затем на каждом этапе расчета интенсивность задается как:

$$\lambda_i = \frac{N_0 + (i-1)}{T_0 + \sum_{i=1}^{i-1} \tau_i}; \quad (6)$$

Таким образом можно выразить первичную модель процесса:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_i = -\frac{T_0 + \sum_{i=1}^{i-1} \tau_i}{N_0 + (i-1)} \cdot \ln(P_i), i \in \square; \\ \lambda_i = \frac{N_0 + (i-1)}{T_0 + \sum_{i=1}^{i-1} \tau_i}; \\ \lambda(n) = \frac{N_0 + (n-1)}{T_0 + \sum_{i=1}^{n-1} \tau_i}; \\ T(n) = \sum_{i=1}^n \tau_i; \\ T_u = T(n = n_u); \end{array} \right. \quad (7)$$

Процесс будут описывать функции $T(n)$ и $\lambda(n)$. Отметим, что для получения наиболее вероятного значения функций, исключаящее чрезмерное завышение и занижение результатов, установленный алгоритм необходимо просчитывать

определенное число итераций для повышения точности вычислений. В дальнейшем при реализации модели авторы задаются 10000 итерациями алгоритма. Таким образом, если r – число итераций алгоритма, то итоговые функции срока эксплуатации и интенсивности будут выражаться как:

$$\langle T(n) \rangle = \frac{\sum_{r=1}^r T(n)_r}{r} \quad (8)$$

$$\langle \lambda(n) \rangle = \frac{\sum_{r=1}^r \lambda(n)_r}{r} \quad (9)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В качестве простейшего примера реализации введём единственный эмпирический критерий конструкции χ_{11} , подчиняющийся зависимостям:

$$\begin{aligned} \chi_{11}(N) &= 0; \\ \chi_{11}(N-100) &= 1; \\ |\Delta \chi_{11}| &= 1; \end{aligned}$$

Откуда следует:

$$n_u = n_{u,11} = 100.$$

В качестве начальных условий зададим:

$$\begin{aligned} T_0 &= 1; \\ N_0 &= 10; \end{aligned}$$

В результате реализации алгоритма получим графическую интерпретацию результатов:

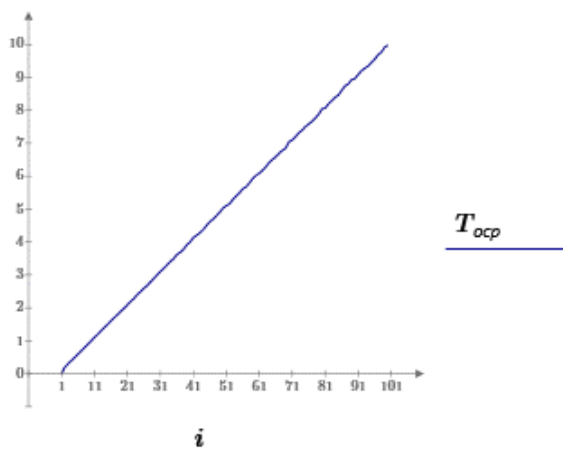


Рис. 2. График зависимости $\langle T(n) \rangle$

Fig. 2. Dependency graph $\langle T(n) \rangle$

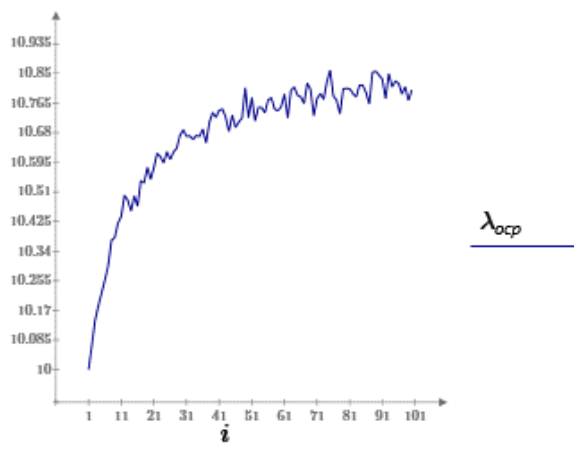


Рис. 3. График зависимости $\langle \lambda(n) \rangle$

Fig. 3. Dependency graph $\langle \lambda(n) \rangle$

Аппроксимируя зависимость $\langle T(n) \rangle$ к линейной функции, а $\langle \lambda(n) \rangle$ к логистической кривой, получим функции вида:

$$T(n) = a_1 + a_2 n, \quad (10)$$

где a_1 и a_2 - коэффициенты аппроксимации функции $\langle T(n) \rangle$ к линейной. В случае поставленного численного примера $a_1 = 0,001$, $a_2 = 0.1$.

$$\lambda(n) = \frac{b_1}{1 + b_2 \cdot \exp(-b_3 \cdot n)}, \quad (11)$$

где b_1 , b_2 , b_3 - коэффициенты аппроксимации функции $\langle \lambda(n) \rangle$ к логистической кривой. В случае

поставленного численного примера $b_1 = 10,797$; $b_2 = 0,076$; $b_3 = 0,062$.

В дальнейшем повторяя эту операцию, варьируя входные данные T_0 и N_0 , т. е. задавая исходную интенсивность процесса можно получить значения коэффициентов аппроксимированных функций и их значения для ряда значений входных данных. Значения указанных функций для целочисленных значений интенсивности процесса от 1 до 20 представлены в таблице 2.

По данным таблицы 2 можно определить график зависимости конечного срока службы фасада T при заданных граничных условиях от заданной интенсивности процесса λ (см. рис. 5).

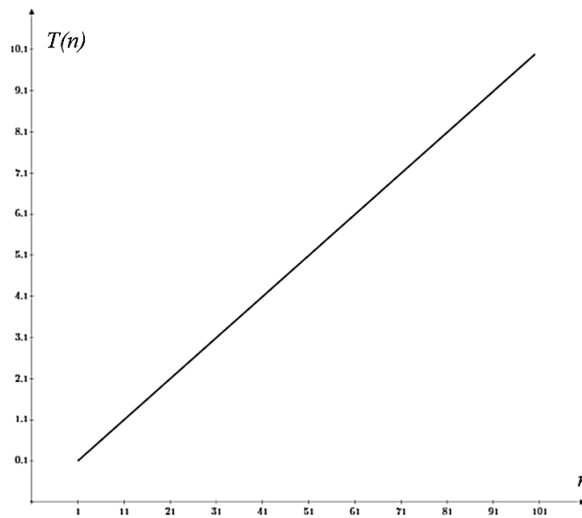


Рис. 4. Аппроксимированная к линейной функция срока эксплуатации фасада
Fig. 4. Facade service life function approximated to linear

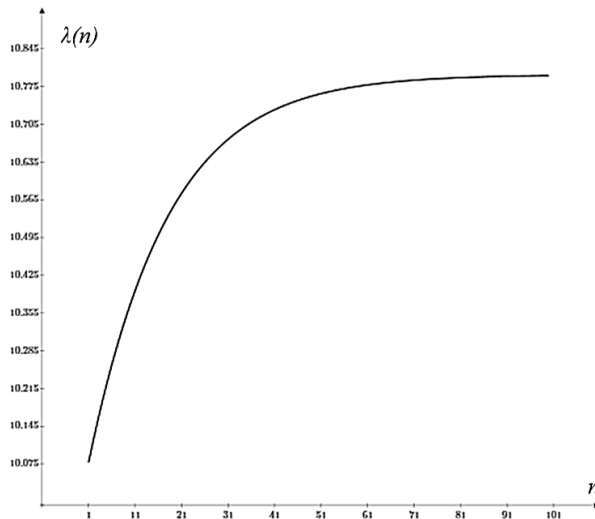


Рис. 5. Аппроксимированная к логистической кривой функция интенсивности разрушения фасада
Fig. 5. Facade fracture intensity function approximated to the logistic curve

Таблица 2. Срок эксплуатации фасада и интенсивность процесса в зависимости от начальной интенсивности

Table 2. Façade service life and process intensity depending on the initial intensity

Начальная интенсивность λ_0	Функция $T(n)$			Функция $\lambda(n)$			
	a_1	a_2	$T(100)$	b_1	b_2	b_3	$\lambda(100)$
1	-0.102	1.002	100.5	1.605	0.571	0.228	1.605
2	-0.041	0.501	50.0	2.701	0.329	0.154	2.701
3	-0.003	0.333	31.5	3.746	0.226	0.118	3.746
4	0.009	0.250	25.0	4.766	0.175	0.101	4.766
5	-0.009	0.200	20.0	5.782	0.142	0.086	5.782
6	-0.011	0.167	16.5	6.790	0.120	0.076	6.790
7	-0.011	0.143	14.3	7.796	0.104	0.072	7.796
8	-0.009	0.125	12.5	8.801	0.093	0.064	8.801
9	-0.002	0.111	11.1	9.799	0.083	0.062	9.797
10	-0.006	0.100	10.0	10.792	0.074	0.060	10.790

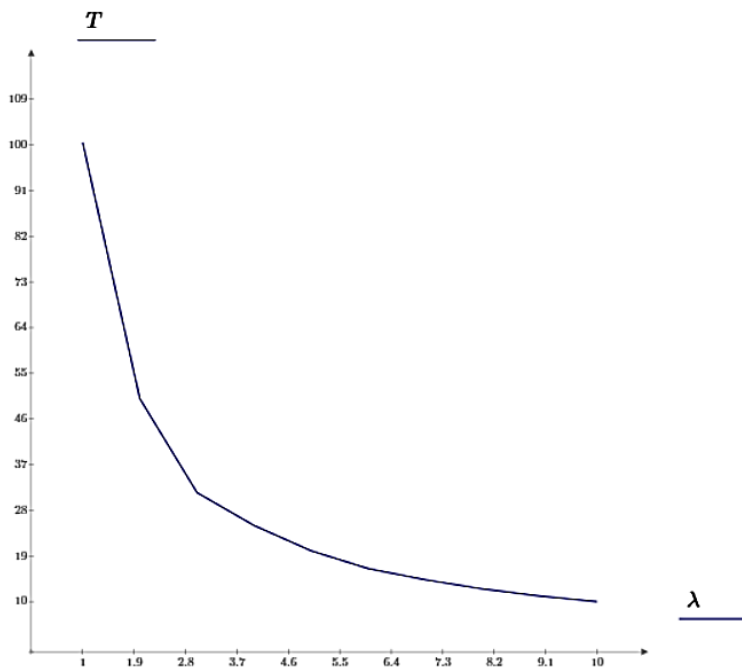


Рис. 6. График зависимости срока службы фасада T от начальной интенсивности процесса λ при предельном количестве упавших панелей $n = 100$

Fig. 6. Graph of the dependence of the service life of the façade T on the initial intensity of the process λ at the limit number of fallen panels $n = 100$

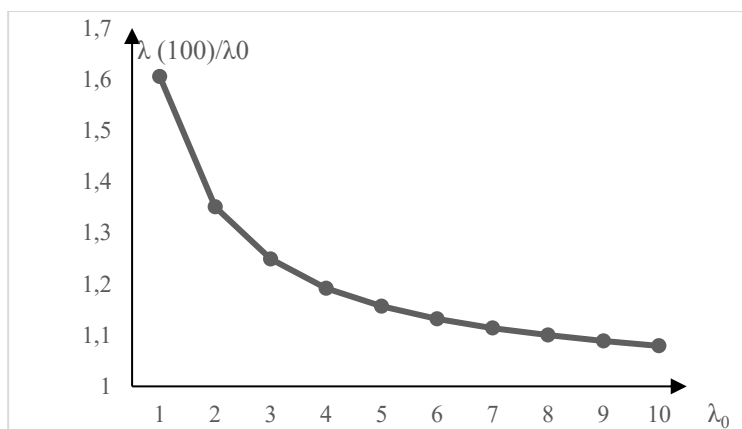


Рис. 7. График зависимости изменения интенсивности процесса относительно начальной

Fig. 7. Graph of the dependence of the change in the intensity of the process relative to the initial one

ВЫВОДЫ

На завершающем этапе исследования были сформулированы следующие положения:

– Разработанная математическая модель позволяет получить стабильные средние значения функций интенсивности процесса разрушения облицовочного слоя фасада и срока его эксплуатации;

– Функция среднего срока эксплуатации фасада в зависимости от числа отказавших секций облицовочного слоя конструкции описывается линейной зависимостью;

– Средняя интенсивность процесса разрушения облицовочного слоя фасада в зависимости от числа отказавших секций описывается логистической кривой;

– При возрастании количества отказавших секций значение средней интенсивности процесса стабилизируется вокруг определенного значения функции;

– Значение, вокруг которого стабилизируется функция средней интенсивности процесса, при возрастании начальной интенсивности процесса стремится к этому начальному значению (см. рис. 6).

В результате исследования можно констатировать выполнение поставленных задач исследования:

1. Проведен анализ научных разработок по тематике исследования;

2. Определена исходная постановка задачи моделирования разрушения секционного облицовочного слоя фасадной конструкции;

3. Получена математическая модель разрушения секционного облицовочного слоя фасадной конструкции;

4. Математическая модель апробирована на практическом примере, получены сведения о возможностях расчета срока эксплуатации фасадной конструкции с применением разработанного математического аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Combined behavior of the hinged facade system and reinforced concrete frame of the building under seismic impact / V. A. Rybakov, D. A. Saburov, K. V. Gusev, A. V. Galyamichiev // *Construction of Unique Buildings and Structures*. – 2023. – No. 4(109). – P. 10901. – DOI 10.4123/CUBS.109.1. – EDN JJWQCI;

2. Галямичев, А. В. Особенности сбора нагрузок на фасадные конструкции для их расчета по первому и второму предельным состояниям / А. В. Галямичев // *Светопрозрачные конструкции*. – 2015. – № 2(100). – С. 22-27. – EDN ZWUTXF;

3. Фроловская, А. В. Влияние дополнительных нагрузок от навесных фасадных систем при реконструкции зданий / А. В. Фроловская, М. А. Плясунова // *Актуальные вопросы и инновации в обследовании строительных конструкций зданий и сооружений* : Сборник научных статей по

материалам Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 23–24 мая 2024 года. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2024. – С. 55-57. – EDN MSBBJR;

4. Павлова, М. О. К вопросу определения причин трещинообразования в тонких крупноформатных облицовочных плитах / М. О. Павлова, В. А. Захаров, Л. И. Кошелева // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. – 2022. – № 4. – С. 34-46. – DOI 10.37153/2618-9283-2022-4-34-46. – EDN PWEWJW.;

5. Методы, используемые для оценки надежности строительных конструкций / П. В. Романюк, Г. А. Столповский, Т. С. Сорокина [и др.] // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии* : Сборник статей 81-ой Всероссийской научно-технической конференции, Самара, 15–19 апреля 2024 года. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2024. – С. 1042-1050. – EDN MIOCFZ.;

6. Бабкин, С. В. Анализ результатов обследования типовых навесных фасадных систем / С. В. Бабкин, И. В. Гиясова // *Инженерный вестник Дона*. – 2022. – № 12(96). – С. 684-693. – EDN JZGANY.;

7. Пахомова, А. Ю. Особенности капитального ремонта фасадов зданий в сложившейся застройке / А. Ю. Пахомова // *Образование. Наука. Производство* : Сборник докладов XIV Международного молодежного форума, Белгород, 13–14 октября 2022 года. Том Часть 20. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 164-166. – EDN BLFGJM.;

8. Кондратенко, Т. О. Технические решения по обслуживанию фасадов высотных зданий / Т. О. Кондратенко // *Строительство и архитектура - 2021* : Материалы Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 19–23 апреля 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. – С. 223-225. – EDN YUULAX.;

9. Воронин, А. В. Проблемы повышения эффективности капитальных ремонтов зданий / А. В. Воронин // *Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее* : Сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума - 2023, Симферополь, 15–17 ноября 2023 года. – Симферополь: ООО "Издательство Типография "Ариал", 2023. – С. 187-191. – EDN MRJHEM.;

10. Моисеев, С. Р. Техническая эксплуатация элементов фасадов зданий и сооружений / С. Р. Моисеев // *Молодежь и системная модернизация страны* : Сборник научных статей 8-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 4-х томах, Курск, 16–17 мая

2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 481-484. – EDN CFCECF.

11. Кушнир, С. В. Новое в подходе к обследованию фасадов зданий / С. В. Кушнир // Международный строительный конгресс. Наука. Инновации. Цели. Строительство : Сборник тезисов докладов, Москва, 11–13 апреля 2023 года. – Москва: АО «НИЦ «Строительство», 2023. – С. 212-214. – DOI 10.37538/2949-219X-2023-212-214. – EDN YTLGFM.

12. Туснина, В. М. К вопросу теплотехнического расчета неоднородных ограждающих конструкций зданий / В. М. Туснина, Д. Ш. Файзов // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 4. – С. 19-24. – EDN YKPKDKR.

13. Вытчиков, Ю. С. Оптимизация тепловлажностного режима многослойных строительных ограждающих конструкций / Ю. С. Вытчиков, М. Е. Сапарев, Д. Д. Конякина // Градостроительство и архитектура. – 2020. – Т. 10, № 4(41). – С. 36-41. – DOI 10.17673/Vestnik.2020.04.5. – EDN HPRRPI.

14. Гагарин, В. Г. Математическое моделирование нестационарного влажностного режима ограждений с применением дискретно-континуального подхода / В. Г. Гагарин, К. П. Зубарев // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, № 2. – С. 244-256. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.2.244-256. – EDN LQXAWF.;

15. Шуршилин, Е. А. Влияние отказа работы облицовочных панелей на теплотехнические свойства навесных вентилируемых фасадных конструкций / Е. А. Шуршилин, Я. А. Олехнович // Строительство и техногенная безопасность. – 2024. – № 32(84). – С. 55-62. – DOI 10.29039/2413-1873-2024-32-55-62. – EDN LDGNFF.

16. Шуршилин, Е. А. Оптимизация стоимости теплоизоляции за счёт учёта влияния воздушных прослоек на энергоэффективность навесных вентилируемых фасадов / Е. А. Шуршилин, Я. А. Олехнович // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 03–09 апреля 2023 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2023. – С. 183-186. – EDN VRIIAG.

17. Бабкин, С. В. Анализ теплозащитных свойств навесных фасадных систем многоэтажных жилых зданий г. Москвы / С. В. Бабкин, Р. Б. Гиясов, И. В. Гиясова // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 1(109). – С. 305-313. – EDN НКТJRL.

18. Экономическое обоснование надежности и долговечности строительных конструкций зданий и сооружений / В. Н. Левченко, В. И. Кротюк, С. Н. Водолазский [и др.] // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – № 1(153). – С. 91-98. – EDN QBUQZW.

19. Воднева, В. С. Сравнительный анализ эффективности устройства фасадных систем / В. С.

Воднева // Избранные доклады 67-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых : Доклады конференции студентов и молодых ученых, Томск, 19–23 апреля 2021 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 171-177. – EDN GWVJAD.

20. Крылов, С. А. Анализ стоимости фасадных систем с учетом эксплуатационных затрат / С. А. Крылов, Т. М. Бочкарева // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2021. – Т. 2. – С. 165-171. – EDN ZJLRCD.

REFERENCES

1. Combined behavior of the hinged facade system and reinforced concrete frame of the building under seismic impact / V. A. Rybakov, D. A. Saburov, K. V. Gusev, A. V. Galyamichev // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2023. – No. 4(109). – P. 10901. – DOI 10.4123/CUBS.109.1. – EDN JJWQCI;

2. Galyamichev A. V. Features of collecting loads on façade structures for their calculation according to the first and second limit states. – 2015. – № 2(100). – P. 22-27. – EDN ZWUTXF;

3. Frolovskaya, A. V. Influence of Additional Loads from Hinged Facade Systems in the Reconstruction of Buildings / A. V. Frolovskaya, M. A. Plyasunova // Actual Issues and Innovations in the Survey of Construction Structures of Buildings and Structures: Collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, May 23–24, 2024. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2024. – P. 55-57. – EDN MSBBJR;

4. Pavlova M. O., Zakharov V. A., Kosheleva L. I. On the issue of determining the causes of cracking in thin large-format facing plates. Safety of structures. – 2022. – № 4. – With. 34-46. – DOI 10.37153/2618-9283-2022-4-34-46. – EDN PWEWJW.;

5. Methods used to assess the reliability of construction structures / P. V. Romanyuk, G. A. Stolpovskiy, T. S. Sorokina [i dr.] // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Construction and Construction Technologies: Collection of Articles of the 81st All-Russian Scientific and Technical Conference, Samara, April 15–19, 2024. – Samara: Samara State Technical University, 2024. – P. 1042-1050. – EDN MIOCFZ.;

6. Babkin S. V., Giyasova I. V. Analysis of the results of the examination of typical hinged façade systems / S. V. Babkin, I. V. Giyasova // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2022. – № 12(96). – P. 684-693. – EDN JZGANY.;

7. Pakhomova A. Yu. Science. Production: Collection of reports of the XIV International Youth Forum, Belgorod, October 13–14, 2022. Volume Part 20. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2022. – P. 164-166. – EDN BLFGJM.;

8. Kondratenko T. O. Technical solutions for servicing the facades of high-rise buildings / T. O.

- Kondratenko // Construction and architecture - 2021 : Materials of the International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, April 19–23, 2021 / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Don State Technical University. – Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2021. – P. 223-225. – EDN YUULAX.;
9. Voronin A. V. Problems of improving the efficiency of capital repairs of buildings / A. V. Voronin // Innovative development of construction and architecture: a look into the future: Collection of theses of participants of the International Student Construction Forum - 2023, Simferopol, November 15–17, 2023. – Simferopol: Arial Printing House LLC, 2023. – P. 187-191. – EDN MRJHEM.;
10. Moiseev S. R. Technical Operation of Elements of Facades of Buildings and Structures / S. R. Moiseev // Youth and System Modernization of the Country: Collection of Scientific Articles of the 8th International Scientific Conference of Students and Young Scientists. In 4 volumes, Kursk, May 16–17, 2024. – Kursk: ZAO "Universitetskaya kniga", 2024. – P. 481-484. – EDN CFCECF.
11. Kushnir S. V. Novoe v podkhode k obsledovaniyu facadov zdaniy [New in the approach to the examination of building facades] / S. V. Kushnir // Mezhdunarodnyy stroitel'nyy kongres. Science. Innovation. Goal. Construction : Collection of abstracts of reports, Moscow, April 11–13, 2023. – Moscow: JSC "Research Center "Construction", 2023. – P. 212-214. – DOI 10.37538/2949-219X-2023-212-214. – EDN YTLGFM.
12. Tushina V. M., Faizov D. Sh. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2017. – № 4. – P. 19-24. – EDN YKPKDR.
13. Vytchikov, Y. S. Optimization of the Heat and Humidity Regime of Multilayer Construction Enclosing Structures / Y. S. Vytchikov, M. E. Saparev, D. D. Konyakina // Urban Planning and Architecture. – 2020. – T. 10, No 4 (41). – P. 36-41. – DOI 10.17673/Vestnik.2020.04.5. – EDN HPRRPI.
14. Gagarin, V. G. Mathematical Modeling of the Non-Stationary Humidity Regime of Fences with the Application of the Discrete-Continuum Approach / V. G. Gagarin, K. P. Zubarev // Vestnik MGSU. – 2020. – T. 15, No 2. – P. 244-256. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.2.244-256. – EDN LQXAWF.;
15. Shurshilin E. A., Olekhnovich Y. A. Influence of failure of facing panels on thermal properties of hinged ventilated façade structures. – 2024. – № 32(84). – pp. 55-62. – DOI 10.29039/2413-1873-2024-32-55-62. – EDN LDGNFF.
16. Shurshilin E. A., Olekhnovich Y. A. Optimization of the cost of thermal insulation due to the consideration of the influence of air layers on the energy efficiency of hinged ventilated facades // ICE Science Week: Collection of Materials of the All-Russian Conference, St. Petersburg, April 03–09, 2023. Volume Part 2. – St. Petersburg: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University", 2023. – P. 183-186. – EDN VRIIAG.
17. Babkin S. V., Giyasov R. B., Giyasova I. V. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering bulletin of the Don]. – 2024. – № 1(109). – P. 305-313. – EDN HKTJRL.
18. Economic substantiation of reliability and durability of building structures / V. N. Levchenko, V. I. Krotyuk, S. N. Vodolazsky // Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. – 2022. – № 1(153). – P. 91-98. – EDN QBUQZW.
19. Vodneva, V. S. Comparative Analysis of the Efficiency of Facade Systems / V. S. Vodneva // Selected reports of the 67th University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists: Reports of the Conference of Students and Young Scientists, Tomsk, April 19–23, 2021. – Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2021. – P. 171-177. – EDN GWVJAD.
20. Krylov S. A., Bochkareva T. M. Analysis of the cost of façade systems taking into account operational costs. Theory and practice. – 2021. – T. 2. – P. 165-171. – EDN ZJLRCD.

MODELING THE DESTRUCTION OF SECTIONAL CLADDING A LAYER OF EXTERNAL WALL ENCLOSING CONSTRUCTIONS USING THE POISSON DISTRIBUTION

Shurshilin¹ E. A., Olekhovich² Ya. A.

St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Polytechnic street, 29,
E-mail: ¹ shurshilin.ca@edu.spbstu.ru, ²olekhovich.yaa@spbstu.ru

Abstract: The relevance of research. The reliability of building structures is a key issue in the implementation of construction projects. In most cases, researchers consider and study the reliability of structures of load-bearing elements of buildings and structures that directly affect the rigidity, strength and stability of buildings and structures when investigating the issues of the service life of a particular structure. Nevertheless, in addition to the safety of buildings and structures, it has also become relevant to increase the energy efficiency of construction sites, including through the use of new technologies, techniques and tools in the design of thermal protection of buildings. Therefore, the authors of the study consider it relevant to consider the reliability of the construction of sectional cladding layers of external enclosing structures that have a direct impact on the heat and humidity conditions of buildings and structures. By a sectional cladding layer, the authors of the study mean any cladding layer consisting of a set of individual plates, plates and other products dividing the cladding layer into a certain number of sections. Such structures include panel and brick facades.

The purpose of the study. Based on the Poisson distribution, we obtain a probabilistic model of the progressive destruction of the sectional cladding layer of external wall enclosing structures.

Research objectives.

1. To review scientific developments on the research topic and determine the degree of elaboration of the research issue;
2. To determine the initial formulation of the problem of modeling the destruction of the sectional cladding layer of external wall enclosing structures, including input data and initial conditions.
3. To form a probabilistic model of the destruction of the sectional cladding layer of external wall enclosing structures using the Poisson distribution;
4. Test the model using a practical example.

Subject of the study: sectional cladding layer of an external wall enclosing structure

Materials and methods: mathematical modeling using Poisson distribution.

Results: a mathematical model of the destruction of the sectional cladding layer of an external wall enclosing structure based on the Poisson distribution.

Conclusions: the analysis of scientific developments on the research topic was carried out, the initial formulation of the problem of modeling the destruction of the sectional cladding layer of the facade structure was determined, a mathematical model of the destruction of the sectional cladding layer of the facade structure was obtained, the mathematical model was tested on a practical example, information was obtained on the possibilities of calculating the service life of the facade structure using the developed mathematical apparatus.

Key words: exterior wall, mathematical modeling, enclosing structure, cladding layer, facade service life

Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 628.14.1.001

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ С ВНУТРЕННИМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

Продоус¹ О.А., Шлычков² Д.И., Челоненко³ А.Г.

^{1,3} ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС), 190031, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 9,

E-mail: ¹pro@enco.su, ³andreicelonenco@mail.ru

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

E-mail: ²ShlyichkovDI@mgsu.ru

Аннотация. Предмет исследования: Гидравлическая эффективность эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями. Исследование направлено на решение проблемы отсутствия в нормативной документации методов количественной оценки гидравлического состояния таких трубопроводов и прогнозирования их остаточного срока службы.

Материалы и методы: В качестве основного метода использован гидравлический принцип оценки. Критерием эффективности служит коэффициент гидравлической эффективности (Кэф), рассчитываемый как отношение произведения характеристик гидравлического потенциала (диаметр, скорость, уклон) новой трубы к произведению тех же характеристик для трубы с отложениями. Метод позволяет количественно связать изменение гидравлических параметров с толщиной слоя отложений.

Результаты: Разработана количественная методика оценки состояния трубопроводов на основе расчетного коэффициента Кэф. Представлены таблицы зависимости между значением Кэф, толщиной отложений и остаточным сроком эксплуатации для стальных, чугунных и бетонных труб. Установлены критериальные диапазоны Кэф, позволяющие определить возможность дальнейшей эксплуатации, необходимость очистки или замены участка сети.

Выводы: Предложенный подход предоставляет практический инструмент для прогнозирования изменения гидравлических характеристик трубопроводов, планирования ремонтов и очистных мероприятий, а также для оценки энергопотребления насосных станций. Использование методики позволяет обоснованно управлять жизненным циклом сетей водоснабжения и водоотведения, повышая эффективность их эксплуатации и снижая затраты.

Ключевые слова: сети водоснабжения и водоотведения, металлические трубы, гидравлический расчет, гидравлическая эффективность эксплуатации трубопроводов.

ВВЕДЕНИЕ

В сфере водоснабжения и водоотведения, как в сложном инженерном комплексе, существуют следующие три главных направления эксплуатационной деятельности:

- эксплуатация сетей и сооружений на них для подачи и распределения питьевой воды;
- эксплуатация очистных водопроводных сооружений из поверхностных и подземных источников;
- эксплуатация очистных сооружений водоотведения, включая выпуски стоков в водоемы.

Следует акцентировать, что для каждого из этих направлений основным являются трубопроводы, без знаний об их эффективности эксплуатации которых каждое из перечисленных направлений не может существовать. Если нет трубопроводов, то нечего будет очищать. Поэтому трубопроводы систем водоснабжения и водоотведения следует отделять каждый отдельно от вопросов эксплуатации очистных водопроводных сооружений и сооружений для очистки бытовых сточных вод. Трубопроводы и сооружения на них (накопительные емкости, резервуары) можно

сравнивать с кровеносными сосудами у живых организмов. Если здоровы сосуды, то весь организм нормально работает и все его элементы (очистные сооружения – «печень» и «почки») работают эффективно [1, 2].

Эффективность работы любого трубопровода оценивается критериями, зависящими от величины энергопотребления насосного оборудования, перекачивающего по ним питьевую воду или сточную жидкость. Если трубопровод работает самотеком, то значениями характеристик гидравлического потенциала труб – $d_{вн}$, V , i [2, 3, 4]. Оценка эффективности работы (эксплуатации) трубопроводов водоснабжения и водоотведения определяет общую эффективность эксплуатации комплекса, включая очистные сооружения. Поэтому трубопроводы систем водоснабжения и водоотведения необходимо рассматривать, как отдельное направление в сфере водоснабжения и водоотведения, потому что к нему (направлению) относится целый перечень вопросов, связанных с разработкой новых проектов и проектов реконструкции изношенных трубопроводов, а также вопросов совершенствования эксплуатации сетей с целью снижения энергопотребления насосно-силовым оборудованием для подачи воды

потребителям или сбросу очистных сточных вод в водоемы [5, 6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Действующие в сфере водоснабжения и водоотведения нормативные требования, изложенные в СП 31.13330.2021 и СП 32.13330.2018, также предусматривают соответствующие требования к оценке экономической эффективности эксплуатации инженерных сетей водоснабжения и водоотведения в городах и населенных пунктах, однако, не выделяют отдельно вопросы количественной оценки гидравлической эффективности их работы. Так как трубопроводы водоснабжения и водоотведения из любого вида материалов являются гидравлической системой, характеризуемой, прежде всего, значениями характеристик гидравлического потенциала труб – фактическим внутренним диаметром труб $d_{вн}^{\phi}$, фактической скоростью V_{ϕ} и фактическим гидравлическим уклоном i_{ϕ} (потерей напора h на единицу длины трубопровода $l: h=i \cdot l$, м), то количественная оценка эффективности их эксплуатации должна производиться с помощью гидравлического критерия оценки. Таким критерием, согласно результатам исследований, проведенных авторами данной статьи и другими специалистами, является **коэффициент гидравлической эффективности** эксплуатации трубопровода водоснабжения или водоотведения, определяемый по формуле (1) [2]:

$$K_{эф} = \frac{(d_{вн}^p)^2 \cdot V_p \cdot i_p}{(d_{вн}^{\phi})^2 \cdot V_{\phi} \cdot i_{\phi}} \quad (1)$$

где: $K_{эф}$ – безразмерный коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации трубопровода; $d_{вн}^{\phi}$ – фактический (замеренный) внутренний диаметр труб с отложениями на момент оценки, м; V_p – скорость в новой трубе, м/с; i_p – расчетный гидравлический уклон в новой трубе, м/м; $d_{вн}^p$ – расчетный внутренний диаметр новых труб, м; V_{ϕ} – фактическая скорость в трубе с $d_{вн}^{\phi}$, м/с; i_{ϕ} – фактический гидравлический уклон на момент оценки, м/м.

Коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации трубопровода $K_{эф}$ – это величина, характеризующая характер изменения значений гидравлических характеристик труб ($d_{вн}$, V и i) в случае образования слоя внутренних отложений δ или h на их рабочей поверхности [3, 4, 5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В работах [7, 8] обоснован диапазон значений величины $K_{эф}$ для водопроводных труб из стали и серого чугуна диаметром 400 мм и для бетонных

труб сетей водоотведения того же диаметра 400 мм. Диапазон значений $K_{эф}$ следующий:

- для водопроводных труб: $0,9 \leq K_{эф} \leq 0,95$;
- для труб водоотведения: $0,5 \leq K_{эф} \leq 0,6$.
- Поясним, что означает значение цифр в указанном диапазоне.

Расчетной зависимостью для подсчета значений $K_{эф}$ является формула (1) – отношение произведения расчетных значений характеристик гидравлического потенциала новых труб: $d_{вн}$, V , i к значению произведения тех же характеристик для труб с отложениями: $d_{вн}^{\phi}$, V_{ϕ} , i_{ϕ} . Величина $K_{эф}$ изменяется в диапазоне значений:

$$0 \leq K_{эф} \leq 1.$$

Величина $K_{эф}$ зависит от толщины слоя отложений на внутренней поверхности (δ ; h) труб [9, 10]. Чем меньше значение $K_{эф}$, тем толще слой осадка (отложений) на внутренней поверхности труб и наоборот, чем больше значение $K_{эф}$, тем меньше толщина слоя отложений. Следовательно, анализ величин значений $K_{эф}$ позволяет прогнозировать величину значений гидравлических характеристик сетей водоснабжения и водоотведения в процессе эксплуатации трубопроводов, то есть количественно оценивать эффективность их эксплуатации [11, 12].

Эффективным с гидравлической точки зрения считается трубопровод, обладающий минимальными потерями напора на сопротивление по длине (гидравлическим уклоном), характеризуемый эффективной скоростью потока V и эффективным внутренним диаметром $d_{вн}$ (без внутренних отложений). Поэтому количественная оценка эффективности эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения – **необходима и актуальна**, так как такая оценка позволяет прогнозировать изменение значений величины значений характеристик гидравлического потенциала труб в процессе их жизненного цикла «Эксплуатация» и, в итоге, определять период их остаточной эксплуатации до замены труб на новые [13, 14]. Количественная оценка эффективности эксплуатации трубопроводов позволяет проводить:

- разработку прогнозов значений характеристик гидравлического потенциала труб на перспективу;
- совершенствование общепринятых методик гидравлического расчета трубопроводов водоснабжения и водоотведения, с учетом толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб.

Согласно выводам, приведенным в работе [15], количественная оценка гидравлической эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения по величине значения $K_{эф}$ (формула (1)), позволяет определить по специальным таблицам (табл. 1 и 2) остаточный период продолжительности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения до проведения их гидродинамической очистки или полного снятия с эксплуатации [16, 17, 18].

Таблица 1. Диапазон изменения значений $K_{эф}$ для сетей водоснабжения
Table 1. The range of changes in the values of the K_{ef} for water supply networks

Значение величины $K_{эф}$	Продолжительность остаточного использования трубопровода из стали и серого чугуна $T_{исп}$, лет
$0,95 \leq K_{эф} \leq 1$	$T_{исп} \geq 10$ лет с ежегодным контролем значений фактических потерь напора $i_{ф}$ и толщины фактического слоя отложений $\sigma_{ф}$
$0,90 \leq K_{эф} \leq 0,95$	$T_{исп} \geq$ не менее 5 лет с ежегодным контролем значений $i_{ф}$ и $\sigma_{ф}$
$0,8 \leq K_{эф} \leq 0,90$	Трубопровод использовать нецелесообразно
$K_{эф} < 0,80$	Трубопровод использовать недопустимо

Таблица 2. Диапазон изменения значений $K_{эф}$ для сетей водоотведения
Table 2. The range of changes in the values of the K_{ef} for wastewater disposal networks

Значение величины $K_{эф}$	Возможность продолжения дальнейшей эксплуатации сети
$0,6 \leq K_{эф} \leq 1$	Возможно
$0,5 \leq K_{эф} \leq 0,6$	Требуется проведение гидродинамической очистки сети
$K_{эф} \leq 0,5$	Сеть эксплуатировать недопустимо

Таблицы 1 и 2 обеспечивают возможность прогнозирования периода остаточной эксплуатации трубопроводов водоснабжения и водоотведения по результатам анализа величины значения основного критерия гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов $K_{эф}$, имеющих разную толщину слоя внутренних отложений (σ – в водопроводных трубах и h – в сетях водоотведения) [19, 20].

ВЫВОДЫ

Таблицы 1 и 2 являются обобщением результатов исследований, приведенных авторами статьи на протяжении последних нескольких лет.

Предложенный авторами количественная оценка эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями по значению величины коэффициента гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов $K_{эф}$ обеспечивает:

возможность проведения анализа величины значений характеристик гидравлического потенциала труб с разной толщиной слоя внутренних отложений, влияющих на величину энергопотребления напорных систем водоснабжения, или необходимость проведения гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения;

возможность прогнозирования на перспективу величины значений характеристик гидравлического потенциала труб с разной толщиной слоя внутренних отложений и прогнозирования фактического энергопотребления насосных агрегатов в напорных сетях водоснабжения;

возможность определения остаточного периода продолжительности эксплуатации до проведения реконструкции сетей водоснабжения или гидродинамической очистки сетей водоотведения с разной толщиной слоя внутренних отложений.

Таким образом, количественная оценка гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов водоснабжения и водоотведения с

внутренними отложениями – это «ключ» к разработке прогноза значений характеристик гидравлического потенциала водопроводных труб для определения значений фактического энергопотребления насосного оборудования или необходимости проведения гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения с отложениями осадка в лотковой части труб. Предлагаемый подход в сфере водоснабжения и водоотведения и обеспечивает также возможность прогноза остаточного периода продолжительности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями на рабочей поверхности труб.

Количественная оценка гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов относится к приоритетным направлениям научных исследований в государстве, выделенных в Указе Президента Российской Федерации от 16.12.2015, № 623, потому что вода относится к наукам о жизни и включает также вопросы энергоэффективности и энергосбережения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Продоус О.А., Шипилов А.А., Якубчик П.П. Эффективная структура управления отраслевой наукой в сфере водоснабжения и водоотведения Журнал «Водоснабжение и санитарная техника», № 6. 2022. – С. 39-42.
2. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Якубчик П.П., Пархоменко С.В. Влияние толщины слоя отложений в трубопроводах систем водоснабжения и водоотведения на продолжительность периода их остаточной эксплуатации. // НТ журнал по строительству и архитектуре «Вестник МГСУ». 2022. Том 17, вып. 6/22. – С. 738-746.
3. Продоус О.А. // Гидравлическая оценка остаточного срока службы изношенных металлических трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения. Электронный Сборник докладов 4-й международной конференции «Водоснабжение и водоотведение населенных мест и промышленных предприятий:

эффективные решения и технологии», Москва, 2020. // 8–9 сентября 2020 в рамках форума «ЭКВАТЭК–2020». // https://www.ecwatech.ru/ru-ru/program/conf2020_watersupply_waterdisp/watersupply_conference_paper_collect_2020.html

4. Продоус О.А., Шипилов А.А. Гидравлический критерий обоснования необходимости разработки проектов реконструкции водопроводных сетей из металлических труб. // Журнал «Водные системы и технологии» № 1, 2020. – С. 26-31. // <https://cloud.mail.ru/public/xeуP/gxLhGxHET>

5. Продоус О. А., Новиков М.Г., Самбурский Г.А., Шипилов А.А., Терехов Л.Д., Якубчик П.П., Чесноков В.А. Рекомендации по реконструкции неновых металлических трубопроводов из стали и серого чугуна. //Изд. ООО «Свое издательство», Санкт-Петербург – Москва, 2021. – 36 с. ил.

6. Продоус О.А. Гидравлическое регулирование продолжительности использования металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения. // «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». 2020/11 (155). – С. 28-32.

7. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Коэффициент эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения как фактор оценки возможности продолжения дальнейшей их эксплуатации // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 3. С. 162-168.

8. Абрамов Н.Н. Теория и методика расчета системы подачи и распределения воды. – М: Стройиздат. 1972. – 287 с.

9. Абрамович Н.А. Новая стратегия проектирования и реконструкции систем транспортирования сточных вод: практ. пособие. – Харьков: Основа. 1996. – 300 с.

10. Абрамович И.А. Повышение достоверности расчета сетей водоотведения. // Водоснабжение и санитарная техника. № 3. 1985. – С. 4-5.

11. Алексеев М.И., Дмитриев В.Д., Мишуков Б.Г. Эксплуатация систем водоснабжения и канализации: учебное пособие. – М.: Высшая школа. 1993. – 60 с.

12. Продоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И. Определение предельно допустимой толщины слоя внутренних отложений на стенках металлических водопроводных труб // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2024. № 1 (781). С. 80-88.

13. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Челоненко А.Г. Классификация состояния канализационных сетей по толщине слоя осадка в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1 (48). С. 96-104.

14. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Шестаков А.А., Челоненко А.Г. Об актуальности разработки справочных пособий по гидравлическому расчету изношенных инженерных сетей городской инфраструктуры // Архитектура, строительство, транспорт. 2023. № 4 (106). С. 64-70.

15. Shlychkov D., Chelonenko A. Hydraulic characteristics of sewer pipelines with internal deposits. // Сборник: E3S Web of Conferences. 2023. С. 08002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346008002>

16. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Способ определения остаточного срока службы трубопроводов канализационных и тепловых сетей // Патент на изобретение RU 2807163 C1, 10.11.2023. Заявка от 04.05.2023.

17. Braga A.S., Filion Y. A Novel Monitoring Scheme to Detect Iron Oxide Particle Deposits on the Internal Surface of PVC Drinking Water Pipes // Environmental Science: Water Research & Technology. 2021. Iss. 11 (7). P. 2116–2128. <https://doi.org/10.1039/D1EW00614B>.

18. Soboksa N.E., Gari S.R., Hailu A.B., Alemu B.M. Childhood Malnutrition and the Association with Diarrhea, Water Supply, Sanitation, and Hygiene Practices in Kersa and Omo Nada Districts of Jimma Zone, Ethiopia // Environmental Health Insights. 2021. Vol. 15. 9 p. <https://doi.org/10.1177/1178630221999635>.

19. Schwermer C.U., Uhl W. Calculating Expected Effects of Treatment Effectivity and River Flow Rates on the Contribution of WWTP Effluent to the ARG Load of a Receiving River // Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 288. 15 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112445>

20. Prodous O., Shlychkov D., Shestakov A.A. On the need to account changes in hydraulic performance of worn-out metal water pipes // Сборник: BIO Web Conf. Volume 107, 02002, 2024. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410702002>

REFERENCES

1. Prodous O.A., Shipilov A.A., Yakubchik P.P. Effective management structure of branch science in the field of water supply and sanitation Journal "Water supply and sanitary engineering", No. 6. 2022. – pp. 39-42.

2. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Yakubchik P.P., Parkhomenko S.V. Influence of layer thickness deposits in pipelines of water supply and sanitation systems for the duration of their residual operation. // NT journal of construction and architecture "Bulletin of MGSU". 2022. Volume 17, issue 6/22. – pp. 738-746.

3. Prodous O.A. // Hydraulic assessment of the residual service life of worn-out metal pipelines of water supply and sanitation systems. Electronic Collection of reports of the 4th International conference "Water supply and sanitation of settlements and industrial enterprises: effective solutions and technologies", Moscow, 2020. // September 8-9, 2020 within the framework of the ECWATECH 2020 forum. // https://www.ecwatech.ru/ru-ru/program/conf2020_watersupply_waterdisp/watersupply_conference_paper_collect_2020.html

4. Prodous O.A., Shipilov A.A. Hydraulic criterion for substantiating the need to develop projects for the reconstruction of water supply networks from metal pipes. // Journal "Water Systems and Technologies" No.

- 1, 2020. – pp. 26-31. // <https://cloud.mail.ru/public/xeyP/gxLhGxHET>
5. Prodous O. A., Novikov M.G., Sambursky G.A., Shipilov A.A., Terekhov L.D., Yakubchik P.P., Chesnokov V.A. Recommendations for the reconstruction of non-standard metal pipelines made of steel and gray cast iron. // Ed. Svoye Publishing House LLC, St. Petersburg – Moscow, 2021. – 36 p. ill.
6. Prodous O.A. Hydraulic regulation of the duration of use of metal pipelines for water supply and sanitation. // "Water treatment. Water treatment. Water supply". 2020/11 (155). – pp. 28-32.
7. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Efficiency coefficient of operation of water supply and sanitation networks as a factor in assessing the possibility of continuing their further operation // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2023. Vol. 25. No. 3. pp. 162-168.
8. Abramov N.N. Theory and methodology of calculation of the water supply and distribution system. – M: Stroyizdat. 1972. – 287 p
9. Abramovich N.A. A new strategy for the design and reconstruction of wastewater transportation systems: practice. stipend. – Kharkiv: Osnovy. 1996. – 300 p.
10. Abramovich I.A. Increasing the reliability of calculation of wastewater disposal networks. // Water supply and sanitary engineering. No. 3. 1985. – pp. 4-5.
11. Alekseev M.I., Dmitriev V.D., Mishukov B.G. Operation of water supply and sewerage systems: textbook. – M.: Higher School. 1993. – 60 p.
12. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychkov D.I. Determination of the maximum permissible thickness of the layer of internal deposits on the walls of metal water pipes // Izvestia of higher educational institutions. Construction. 2024. No. 1 (781). pp. 80-88.
13. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Chelonenko A.G. Classification of the state of sewer networks by the thickness of the sediment layer in the tray part of pipes // Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty. 2024. Vol. 14. No. 1 (48). pp. 96-104.
14. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Shestakov A.A., Chelonenko A.G. On the relevance of the development of reference manuals on the hydraulic calculation of worn-out engineering networks of urban infrastructure // Architecture, construction, transport. 2023. No. 4 (106). pp. 64-70.
15. Shlychkov D., Chelonenko A. Hydraulic characteristics of sewer pipelines with internal deposits. // Collection: Web conferences E3S. 2023. p. 08002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346008002>
16. Prodous O.A., Chlychkov D.I. Assistance in creating a remote service for mobile operators and heating networks // The patent for the publication RU 2807163 C1, 10.11.2023. Application dated 05/04/2023.
17. Braga A.S., Filion Yu. A new monitoring scheme for detecting deposits of iron oxide particles on the inner surface of PVC drinking water pipes // Environmental Science: Water Research and Technology. 2021. Iss. 11 (7). pp. 2116-2128. <https://doi.org/10.1039/D1EW00614B>.
18. Soboksa N.E., Gary S.R., Hailu A.B., Alemu B.M. Childhood malnutrition and its relationship with diarrhea, water supply, sanitation and hygiene in the Kersa and Omonada areas of the Jimma zone, Ethiopia // Environmental Health Insights. 2021. Volume 15. 9 p. <https://doi.org/10.1177/1178630221999635>
19. Schwermer K.U., Ul U. Calculation of the expected effect of purification efficiency and river flow rate on the contribution of wastewater treatment plants to the load on the receiving river // Journal of Environmental Management. 2021. Volume 288. 15 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112445>
20. Prodous O., Shlychkov D., Shestakov A.A. On the need to take into account changes in the hydraulic characteristics of worn metal water pipes // Collection: BIOL. web conf. Volume 107, 02002, 2024. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410702002>

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF OPERATION OF WATER SUPPLY PIPELINES AND DRAINAGE NETWORKS WITH INTERNAL DEPOSITS

Prodous¹ O.A., Shlychkov² D.I., Chelonenko¹ A.G.

¹ St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I (PGUPS),
9 Moskovsky Prospekt, Saint Petersburg, 190031, Russian Federation,
E-mail: lpro@enco.su, ³andreiclonenco@mail.ru

² National Research Moscow State University of Civil Engineering 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26,
E-mail: ²ShlyichkovDI@mgsu.ru

Abstract. Subject: Hydraulic efficiency of operation of pipelines of water supply and sanitation systems with internal deposits. The study is aimed at solving the problem of the lack of methods in the regulatory documentation for quantifying the hydraulic condition of such pipelines and predicting their remaining service life.

Materials and methods: The hydraulic evaluation principle is used as the main method. The efficiency criterion is the hydraulic efficiency coefficient (Cef), calculated as the ratio of the product of the characteristics of the hydraulic potential (diameter, speed, slope) of a new pipe to the product of the same characteristics for a pipe with deposits. The method makes it possible to quantify the change in hydraulic parameters with the thickness of the sediment layer.

Results: A quantitative method for assessing the condition of pipelines based on the calculated coefficient of the Kef has been developed. Tables of the relationship between the value of the Kef, the thickness of deposits and the remaining service life for steel, cast iron and concrete pipes are presented. The criteria ranges of the Cef have been established to determine the possibility of further operation, the need to clean or replace a section of the network.

Conclusions: The proposed approach provides a practical tool for predicting changes in the hydraulic characteristics of pipelines, planning repairs and cleaning measures, as well as for estimating the energy consumption of pumping stations. The use of the methodology makes it possible to reasonably manage the lifecycle of water supply and sanitation networks, increasing their operational efficiency and reducing costs.

Key words: water supply and sanitation networks, metal pipes, hydraulic calculation, hydraulic efficiency of pipeline operation.

СПИСОК АВТОРОВ

Ангелюк И. П.	к.т.н., Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Баландина А. Г.	аспирант, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
Бодня М. С.	к.т.н., доцент, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань
Боронина Л. В.	к.т.н., доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва
Важдаев К. В.	к.т.н., доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
Высоцкая Н. Д.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Гульков А.Н.	д.т.н., профессор, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток
Гусенцова Я. А.	д.т.н., профессор, Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск
Добринская А. А.	к.т.н., доцент, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
Зайченко Н. М.	д.т.н., профессор, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Макеевка
Красногрудов А. В.	к.т.н., Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск
Лахтарина Н. Н.	Донбасская национальная академия строительства и архитектуры филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Макеевка
Лахтарина С. В.	к.т.н., Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Макеевка
Литвинова Э. В.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Мартяшева В. А.	к.т.н., доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
Мокрова М.М.	обучающийся, Московский Архитектурный Институт (Государственная Академия), г. Москва
Мокрова Н.В.	д.т.н., доцент, профессор, РЭУ им. Г.В.Плеханова, г. Москва
Олехнович Я. А.	старший преподаватель, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
Продоус О. А.	д.т.н., профессор, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург
Резяпов Б. Р.	аспирант, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
Резяпов Т. Р.	аспирант, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
Родыгина М. М.	к.т.н., Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск
Сухов А. С.	обучающийся, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва
Сяо Чжэньсинь	Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток
Топорен С. С.	к.т.н., Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Федюшко Ю. М.	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Челоненко А. Г.	Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург
Чемодуров В.Т.	д.т.н., профессор, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
Шлычков Д. И.	к.т.н., доцент, Национальный исследовательский Московский гусадарственный строительный университет, г. Москва
Шуршилин Е. А.	Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются! Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей.

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjournal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи.

1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи. Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему или направляет на электронный адрес ger_bilenko@cfuv.ru для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале.

1.3. Прием пакета сопроводительных документов осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу ger_bilenko@cfuv.ru.

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .doc или .docx, форматированную по шаблону (см. п. 2), вместе с файлами отсканированных документов: экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее – экспертного заключения) и информации об авторах статьи.

Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации – работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования. Также к загружаемой статье может быть приложен файл отсканированной внешней (т.е. из сторонней организации) рецензии (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется.

Сопроводительные документы можно направить по электронной почте по адресу ger_bilenko@cfuv.ru. Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

Бланки сопроводительных документов и требования:

Информация об авторах статьи. Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты ger_bilenko@cfuv.ru в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

Бланк экспертного заключения и авторской справки (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную))

Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия – загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты ger_bilenko@cfuv.ru в сканированном виде (файл PDF).

2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

Общие требования для подготовки статей

Объем статьи, включая таблицы, рисунки и фотографии должен быть не менее 6 страниц и не превышать 10 страниц.

Язык статьи: русский, английский.

Шрифт. Нормальный Times New Roman (TNR), размер шрифта – 10 пт, одинарный интервал; интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения). Варианты шрифта в тексте статьи: типа курсива или жирного шрифта допускаются, подчеркивание слов и предложений не допускаются.

Параметры страницы: верхнее поле – 2,5 см, нижнее – 2,5 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см.

Таблицы. Таблица озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер B5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

Рисунки и графики. Рисунки и графики озаглавливаются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

Формулы. Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами
- **Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject of research):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Материалы и методы (Materials and methods):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Результаты (Results):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Выводы (Conclusions):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Ключевые слова (Key words)** до 6 слов и словосочетаний, необходимых для поиска или классификатора, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Текстовая часть.** Статья должна содержать следующие разделы:
 - ВВЕДЕНИЕ;
 - АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ;
 - МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ;
 - РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ;
 - ВЫВОДЫ;
 - СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Заголовки разделов набираются строчными буквами, шрифт TNR 11 пунктов и центрируются.

В конце статьи размещается **Название статьи, Имя и фамилия автора(ов), Место работы авторов, Аннотация статьи, Предмет исследований, Материалы и методы, Результаты, Выводы, Ключевые слова** на английском языке с сохранением редакторских требований, указанных выше к каждому структурному элементу статьи.

Рекомендации по подготовке аннотации статьи

Аннотация выполняет следующие основные функции:

- дает возможность читателю быстро оценить основное содержание статьи с тем, чтобы решить, следует ли ему обращаться к ее полному тексту;
- предоставляет читателю самую общую информацию о статье, устраняя необходимость чтения ее полного текста в случае, если статья представляет для читателя второстепенный интерес;
- используется в научных, библиотечных и поисковых информационных системах.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи);
- структурированной (следовать логике изложения материала в статье);

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «автор полагает...» и т.д.), а также сложных грамматических конструкций. Аннотацию следует писать как можно более лаконичным, точным и простым языком. Должна быть понятна широкому кругу читателей, поэтому не должна изобиловать научными терминами. Следует избегать общеизвестных сведений и штампов. Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи. В аннотации обычно используются конструкции констатирующего характера (автор анализирует, доказывает, излагает, обосновывает и т. д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделяет основное внимание, важный актуальный вопрос, проблема, детально анализирует, убедительно доказывает).

Список литературы оформляется на русском и английском языках.

Библиографическое описание выполняется по:

- ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание;
- ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов;
- Регламент включения научных журналов в Российский индекс научного цитирования. – М., 2008.

Не менее 12 источников, с ссылками на статьи в предыдущих выпусках сборника «Строительство и техногенная безопасность», в которых не участвовали авторы представленной статьи.

Рекомендации по подготовке списка литературы

- Цитирование двух или более источников под одним номером, одного и того же источника под разными номерами не допускается.
- Во всех источниках необходимо указывать фамилии и инициалы всех авторов.
- Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных оригинального издания.
- Ссылки на книги должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название книги, город, год, количество страниц.

- Ссылки на статьи в журналах должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том (если указан), номер, страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на сборники (конференции, симпозиумы) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), количество страниц.
- Ссылки на статьи в сборниках (материалах конференций, симпозиумов) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на электронные ресурсы удаленного доступа должны содержать следующую обязательную информацию: название ресурса, режим доступа, дата обращения.
- В инициалах авторов между именем и отчеством пробел не ставится.
- В заголовке описания запятая после фамилии автора перед его инициалами может быть опущена.
- Если в документе один, два или три автора, то в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) они могут не повторяться.
- При наличии **четырёх и более** авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии **всех** авторов.
- Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.
- Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать в список литературы ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях или расчетах или аргументации лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
- 4 Самоцитирование, т.е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных показателей автора.