

**Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор»
Министерства Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий»**

На правах рукописи

Лебедева Виктория Валентиновна

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ И
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Специальность 2.10.1 – Пожарная безопасность (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном казенном учреждении «Научно-исследовательский институт «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России).

Научный руководитель доктор технических наук, старший научный сотрудник, **Долженков Анатолий Филиппович**

Официальные
оппоненты: **Канин Владимир Алексеевич**
доктор технических наук,
федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Республиканский академический
научно-исследовательский и проектно-
конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела»,
ведущий научный сотрудник

Красногрудов Александр Васильевич
кандидат технических наук, доцент,
институт гражданской защиты
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Луганский государственный университет имени
Владимира Даля»,
заведующий кафедрой «Пожарная безопасность»

Ведущая организация: Федеральное государственное казенное
образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий институт ГПС МЧС России»

Защита состоится 17.04.2025 в 12 часов на заседании диссертационного совета 04.1.006.01 при ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» по адресу: 283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 157, корп. 1, каб. 401. тел. +7(856) 332-78-01, +7(856) 332-78-18, факс +7(856) 332-78-78.

E-mail: respirator@80.mchs.gov.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» по адресу: 283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 157, корп. 2, каб. 208.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук

Старикова И.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одним из эффективных способов повышения огнестойкости деревянных и металлических конструкций является применение огнезащитных покрытий вспучивающегося типа, механизм действия которых основан на увеличении исходной толщины слоя покрытия и образовании слоя кокса низкой теплопроводности при внешнем тепловом воздействии.

Эффективность огнезащитных покрытий вспучивающегося типа в значительной степени зависит от ряда параметров, классификации которых в настоящее время недостаточно полно отражают комплексную оценку огнезащитных, физико-механических и теплофизических свойств покрытий с учетом дифференцированного подхода к выделению каждого из параметров в зависимости от влияющих факторов в условиях длительной эксплуатации.

Общепринятая система оценки рисков возникновения и развития пожаров имеет ряд недостатков в связи с низкой степенью достоверности прогноза качества огнезащиты конструкций не только в условиях пожара, но и в эксплуатационный период из-за отсутствия количественных критериев оценки влияния внешних факторов на состояние огнезащитных, физико-механических и теплофизических свойств защитных покрытий и на их огнезащитную эффективность. Не в полной мере изучены и обоснованы параметры, определяющие уровень огнезащитной эффективности покрытий – изменение кратности вспучивания, массы, плотности и пористости кокса, образующегося в результате нагрева покрытий с учетом продолжительного периода воздействия на них внешних факторов, что не позволяет достоверно оценить степень изменения огнестойкости конструкций в длительный период эксплуатации, а также разрабатывать перспективные направления в создании новых более эффективных огнезащитных покрытий.

Изложенное определяет актуальность поставленной в работе научно-технической задачи, заключающейся в обосновании параметров эффективности огнезащитных покрытий для повышения огнестойкости деревянных и металлических конструкций с учетом продолжительного воздействия на них внешних факторов, решение которой позволит прогнозировать степень изменения эффективности огнезащиты конструкций в длительный период их эксплуатации и повысить уровень пожарной безопасности объектов защиты в условиях пожара.

Степень разработанности темы. Изучению механизмов действия огнезащитных покрытий, методологии оценки их свойств посвящены научные работы многих отечественных и зарубежных ученых: Асеевой Р.М., Баратова А.П., Гаращенко А.Н., Ереминой Т.Ю., Зыбиной О.А., Канина В.А., Корольченка А.Я., Корольченка Д.А., Ненахова С.А., Xiao J., Kozlowski R., Wesolek D., Kimmo Saari, Garner A., White R., Nordheim E., Janssens M. и др.

Однако научное обоснование параметров, учитывающих условия эксплуатации огнезащитных покрытий, которые накладывают дополнительные требования по устойчивости к воздействию внешних факторов (вода, влажность,

переменное воздействие температуры и влажности), не теряет своей актуальности. Решение указанной научной задачи позволит установить зависимости воздействия влияющих факторов на эффективность огнезащитных покрытий и создать на этой основе новую рецептуру вспучивающегося огнезащитного покрытия с улучшенными эксплуатационными параметрами.

Связь работы с научными планами, программами, темами.

Диссертация является результатом обобщения законченных научно-исследовательских работ в соответствии с научной тематикой на 2020–2021 гг. Государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики», выполнявшихся автором в качестве научного руководителя в рамках работы «Исследовать возможность создания и разработать рецептуру огнезащитного вспучивающегося покрытия для деревянных и металлических конструкций» (№ ГР 12015007), исполнителя – в работе «Разработать и изготовить лабораторную установку для исследований и оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных покрытий по металлу» (№ ГР 12015009).

Цель и задачи исследования. Цель исследования заключается в обосновании параметров огнезащитных покрытий путем установления зависимостей, характеризующих степень воздействия внешних факторов на огнезащитные свойства покрытий для повышения огнестойкости деревянных и металлических конструкций.

Задачи исследования:

1. Установить параметры, влияющие на огнезащитную эффективность покрытий, и научно обосновать выбор исходных материалов, физико-химические свойства которых способствуют повышению устойчивости покрытия к воздействию внешних факторов.
2. Научно обосновать классификацию параметров огнезащитных покрытий и критерии их оценки с учетом внешних факторов, влияющих на огнезащитные, физико-механические и теплофизические свойства покрытий.
3. Разработать на основе результатов экспериментальных исследований рецептуру огнезащитного покрытия, обладающего повышенными показателями устойчивости к воздействию внешних факторов.
4. Установить зависимости воздействия внешних факторов: воды, влажности, а также переменного воздействия температуры и влажности на огнезащитную эффективность разработанного огнезащитного покрытия.
5. Оптимизировать параметры огнезащитного покрытия посредством моделирования компонентного состава при обеспечении его эффективности.

Объект исследования – процессы тепло- и массопереноса, обеспечивающие повышение огнестойкости деревянных и металлических конструкций.

Предмет исследования – параметры огнезащитных покрытий вспучивающегося типа и влияние на них внешних факторов.

Научная новизна полученных результатов

Впервые экспериментально установлено массовое соотношение компонентов покрытия, обеспечивающее повышение огнезащитной эффективности на 22,7 % за счет образования при нагреве вспененного кокса с высокой плотностью и низкой пористостью и снижение показателей водопоглощения на 15,7 %, влагопоглощения на 40,0 %, что послужило основой разработки новой рецептуры более эффективного по сравнению с аналогами вспучивающегося огнезащитного покрытия.

Впервые установлены зависимости влияния воды, влажности, переменного воздействия температуры и влажности на изменение кратности вспучивания, потери массы, плотности и пористости кокса, образующегося в процессе нагревания разработанного огнезащитного покрытия в диапазоне температур 27–670 °С, позволившие обосновать и оценить степень влияния внешних факторов на изменение огнезащитных свойств покрытия.

Впервые разработаны полиномиальные модели неполного третьего порядка зависимости «состав – кратность вспучивания» и «состав – потеря массы», что позволило установить рациональное содержание полифосфата аммония (15,6 масс. %), терморасширяющегося графита (10,4 масс. %), бората цинка (2,6 масс. %) в компонентном составе вспучивающей добавки, оказывающей определяющее влияние на огнезащитные свойства и стойкость огнезащитного покрытия к воздействию внешних факторов.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в:

- установленных зависимостях изменения кратности вспучивания, массы, плотности и пористости вспененного кокса от температуры нагрева огнезащитного покрытия для прогноза сохранения его огнезащитной эффективности с учетом воздействия внешних факторов в длительный период эксплуатации деревянных и металлических конструкций,
- разработанных математических моделей зависимости «состав – кратность вспучивания» и «состав – потеря массы» для оптимизации параметров огнезащитного покрытия.

Практическая значимость работы обусловлена:

- установлением требований к параметрам, наиболее влияющим на показатели эффективности огнезащитных покрытий, таких как водостойкость, влагостойкость и стойкость к переменному воздействию температуры и влажности,
- созданием новой рецептуры вспучивающегося огнезащитного покрытия, теоретически установленные и экспериментально обоснованные параметры которого обеспечивают повышенную стойкость к воздействию внешних факторов в период эксплуатации и в условиях пожара,
- оптимизацией параметров разработанного огнезащитного покрытия по критериям – кратность вспучивания и потеря массы – посредством моделирования компонентного состава,
- установлением синергетического эффекта влияния совместного введения полифосфата аммония, терморасширяющегося графита и бората цинка на

формирование устойчивого коксового остатка в результате нагрева огнезащитного покрытия,

– разработкой «Инструкции по приготовлению огнезащитного покрытия для деревянных и металлических конструкций», утвержденной Министром МЧС ДНР 10.01.2023.

Методология и методы исследований. Для решения поставленных задач использованы современные методы научных исследований: анализ, обобщение и статистическая обработка экспериментальных данных с применением компьютерных технологий; экспериментальные исследования и испытания по оценке параметров огнезащитного покрытия с использованием стандартных и лабораторных методов; симплекс-решетчатый метод математического планирования эксперимента; установление зависимостей между огнезащитными и эксплуатационными свойствами покрытия с применением многофакторного регрессионного анализа.

Положения, выносимые на защиту:

1. Зависимости влияния содержания компонентов вспучивающей добавки на водопоглощение, влагопоглощение и стойкость огнезащитного покрытия к переменному влиянию температуры и влажности, что позволило установить диапазоны массовых концентраций полифосфата аммония 13,9–15,6 масс. %, терморасширяющегося графита 9,0–10,4 масс. % и бората цинка 2,0–3,0 масс. %, при которых внешние факторы не оказывают влияния на параметры огнезащитных свойств покрытия для деревянных и металлических конструкций, обеспечивая высокий уровень их пожарной безопасности.

2. Зависимости влияния воды, влажности, переменного воздействия температуры и влажности на изменение кратности вспучивания, массы, плотности и пористости коксового остатка, образующегося в процессе нагревания огнезащитного покрытия, при повышении огнезащитной эффективности на 22,7 %, снижении показателя водопоглощения на 15,7 % и влагопоглощения – на 40,0 %.

3. Математические модели зависимости «состав – кратность вспучивания» и «состав – потеря массы», позволившие установить синергетический эффект влияния совместного введения полифосфата аммония, терморасширяющегося графита, бората цинка на снижение потери массы до 1 % и увеличение кратности вспучивания огнезащитного покрытия до 44 единиц для обеспечения необходимого уровня огнестойкости деревянных и металлических конструкций в условиях пожара.

Степень достоверности и апробация результатов диссертации.

Достоверность результатов исследований, выводов подтверждена адекватностью разработанных математических моделей; представительностью и репрезентативностью статистических данных экспериментальных исследований по влиянию внешних факторов на огнезащитную эффективность покрытий; корректностью и обоснованной доказательной базой применения методик проведения экспериментальных исследований, корректным применением методов математической статистики при оценке огнезащитной эффективности покрытий.

Основные положения и отдельные этапы диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительные отзывы на семи научно-практических конференциях, проводимых в ДНР, Российской Федерации: Четвертой Республиканской научно-технической конференции «Пожарная безопасность объектов Республики», приуроченной ко Дню пожарной охраны (г. Донецк, 28 апреля 2022 г.); VIII Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» (г. Донецк, 24–26 мая 2022 г.); VI Республиканской научной конференции «Современное состояние и перспективы дальнейшего развития системы гражданской обороны Донецкой Народной Республики» (г. Донецк, 18 октября 2022 г.); V Республиканской научной конференции «Безопасность в чрезвычайных ситуациях», приуроченной ко Дню спасателя ДНР (г. Донецк, 14 декабря 2022 г.); Первой Международной научной конференция «Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве» (г. Макеевка, 16 февраля 2023 г.); Пятой республиканской научно-технической конференции «Пожарная безопасность объектов Республики» (г. Донецк, 28 апреля 2023 г.); XVIII Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» (г. Иваново, 23 ноября 2023 г.).

Личный вклад соискателя. Автором самостоятельно проведен информационный поиск, обоснована целесообразность работы, сформулирована цель работы, определены задачи исследований для ее достижения; обосновано применение экспериментальных методов оценки параметров, влияющих на огнезащитную эффективность покрытий; научно обоснован подход к оценке эффективности огнезащитных покрытий с учетом влияния внешних факторов; сформулированы выводы по работе.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 22 научных работах, из которых 12 статей в изданиях ВАК, 7 статей – материалы научно-практических конференций.

Структура и объем диссертации. Структура диссертационной работы определяется поставленной целью и соответствует логической последовательности решения поставленных автором задач исследования. Диссертация состоит из введения, основной части (из пяти глав), заключения (с основными выводами), списка литературы из 127 наименования (115 отечественных авторов и 12 – зарубежных) и четырех приложений. Работа изложена на 145 страницах компьютерного текста, иллюстрирована 35 таблицами и 26 рисунками, из которых 2 таблицы занимают 4 полные страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы. Определены цель, задачи, объект и предмет, методы исследований, сформулированы научная новизна полученных результатов, научные положения, выносимые на защиту, приведены основные положения, определяющие научное и практическое значение результатов исследований.

В первой главе приведены результаты аналитического обзора отечественных и зарубежных информационных ресурсов – работ по тематике пассивной огнезащиты деревянных и металлических конструкций, усовершенствованию рецептур огнезащитных покрытий для повышения огнестойкости конструкций, методам определения влияния внешних факторов на огнезащитную эффективность покрытий. Установлено, что значительная часть исследований посвящена модификации существующих огнезащитных покрытий и разработке на эмпирической основе новых покрытий применительно к конкретным технологическим задачам. Наиболее перспективным направлением можно считать развитие комплексного подхода к изучению взаимосвязей и дальнейшему установлению степени влияния внешних факторов на параметры огнезащитных свойств покрытий вспучивающегося типа. Результаты таких исследований позволят прогнозировать степень изменения огнезащитных свойств покрытий для деревянных и металлических конструкций, как в длительный период их эксплуатации, так и в условиях пожара.

Результаты анализа состояния вопроса позволили сформулировать цель и задачи исследований, а также составили основу для выбора исходных компонентов с учетом их эффективности, доступности и экономической целесообразности для создания нового огнезащитного покрытия с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Во второй главе изложена методика исследований, приведены сведения о применяемых материалах и основных методах исследования. При создании новой рецептуры вспучивающегося огнезащитного покрытия в качестве связующего вещества использован полимерный раствор хлоропренового каучука марки CR2322 в сольвенте. Выбор каучука обусловлен способностью к кристаллизации при естественных условиях с образованием когезионной поверхностной пленки, стойкой к открытому огню и атмосферному воздействию. Для усиления эффекта вспучивания, а также получения кокса с высокой плотностью и низкой пористостью использованы полифосфат аммония кристаллической формы II, хлорпарафин ХП-66Т и терморасширяющийся графит марки EG350-8095. Борат цинка выбран не только как эффективный антипирен, но и в качестве добавки, дополнительно структурирующей вспененный кокс при высоких температурах. Источником углерода выбран многоатомный спирт – пентаэритрит. В качестве дисперсной фазы, не обладающей интумесцентными свойствами, использован диоксид титана пигментный. Параметрами, характеризующими устойчивость огнезащитного покрытия к воздействию внешних факторов, служили водостойкость, влагостойкость, устойчивость к переменному воздействию температуры и влажности.

Перечисленные параметры оценены по количественным критериям – изменению кратности вспучивания, массы, плотности и пористости вспененного кокса после нагрева образцов. Изменение кратности вспучивания δ и массы $\bar{m}$ образцов покрытия при нагреве рассчитаны по формулам (1) и (2)

$$\delta = \frac{h - h_0}{h_0}, \quad (1)$$

где h – высота образца после нагрева, м; h_0 – исходная толщина образца, м.

$$\bar{m} = \frac{m}{m_0}, \quad (2)$$

где m – масса образца после нагрева, кг; m_0 – первоначальная масса образца, кг.

Для расчета плотности ρ , кг·м⁻³, вспененного кокса использована формула (3), пористости φ – формула (4).

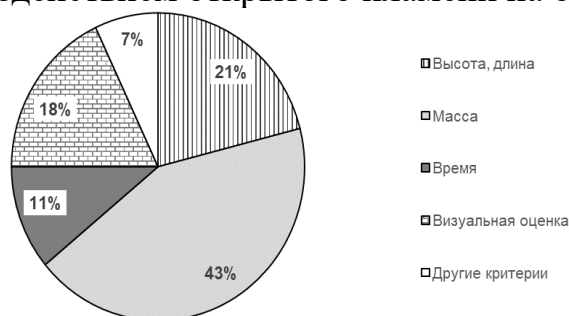
$$\rho = \frac{\rho_0 \bar{m}}{1 + \delta} \quad (3)$$

где ρ_0 – начальная плотность покрытия, кг·м⁻³.

$$\varphi = 1 - \frac{\bar{m}}{1 + \delta} \quad (4)$$

При определении φ по формуле (4) полагали, что φ обусловлена только $\bar{m}$ и δ материала огнезащитного покрытия.

В третьей главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по созданию огнезащитных покрытий вспучивающегося типа для деревянных и металлических конструкций. Изучен механизм их огнезащитного действия на основании современных представлений о химических превращениях в результате термического разложения ингредиентов материала покрытия и физических закономерностях прохождения фронта превращения через толщину слоя покрытия. Установлено, что максимальный огнезащитный эффект может быть достигнут в результате закрепления компонентов покрытия в виде гомогенной смеси на подложке, тем самым препятствуя осыпанию, истиранию и уносу влагой при наложении определенных факторов внешнего воздействия. Наиболее существенно на огнезащитные свойства покрытия влияет эффект вспучивания с последующим образованием стабильного и стойкого слоя кокса. Научно обоснована классификация параметров огнезащитных покрытий и критериев их оценки с учетом внешних факторов, влияющих на огнезащитные, физико-механические и теплофизические свойства как в процессе эксплуатации покрытий, так и в условиях пожара. Установлены наиболее значимые количественные критерии – высота (длина), изменение массы, время, а также качественные критерии – визуальная оценка состояния покрытия, степень растрескивания, отслаивания покрытия от поверхности. Для наглядности построена диаграмма (рис. 1) значимости критериев количественной оценки параметров, связанных с механическим, физическим, химическим, технологическим воздействием и воздействием открытого пламени на огнезащитное покрытие.



К наиболее значимым критериям оценки большинства параметров огнезащитных покрытий можно отнести массу (43 %) и высоту вспученного слоя покрытия (21 %).

Рисунок 1 – Диаграмма значимости критериев количественной оценки параметров огнезащитного покрытия

Теоретически обосновано и экспериментальным путем установлено, что наиболее эффективным связующим разрабатываемого огнезащитного покрытия является хлоропреновый каучук, компонентами вспучивающей антипиреновой системы – терморасширяющийся графит, борат цинка и полифосфат аммония.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию внешних факторов на огнестойкость разработанного огнезащитного покрытия. Результаты предварительных исследований показали, что наиболее эффективным является введение добавки, содержащей терморасширяющийся графит (8 – 38 масс. %), борат цинка (2 – 10 масс. %) и полифосфат аммония (8 – 68 масс. %). Для поиска наиболее рациональных рецептурных решений, а также проверки связи между выходными факторами и независимыми факторами, оказывающими на него влияние, был применен полный факторный эксперимент. На основании результатов экспериментальных исследований построены регрессионные модели водопоглощения W , %, влагопоглощения H , %, а также стойкости к комплексному влиянию температуры и влажности P , %, (5) – (7):

$$W = 4,62 + 0,88z_1 + 0,35z_2 - 0,73z_3 - 0,37z_1 \cdot z_3 - 0,45z_2 \cdot z_3 - 0,85z_1 \cdot z_2 \cdot z_3, \quad (5)$$

$$H = 9,26 + 1,75z_1 + 0,72z_2 - 1,44z_3 - 0,74z_1 \cdot z_3 - 0,92z_2 \cdot z_3 - 1,70z_1 \cdot z_2 \cdot z_3, \quad (6)$$

$$P = 9,22 + 1,76z_1 + 0,74z_2 - 1,42z_3 - 0,76z_1 \cdot z_3 - 0,94z_2 \cdot z_3 - 1,75z_1 \cdot z_2 \cdot z_3, \quad (7)$$

где z_1 , z_2 , z_3 – нормализованные значения массовых содержаний терморасширяющегося графита, бората цинка и полифосфата аммония соответственно, доля единицы.

Результаты регрессионного анализа подтверждены кинетическими зависимостями (рис. 2–4), описывающими процессы водопоглощения, влагопоглощения и стойкости покрытия к переменному влиянию температуры и влажности (влагопоглощение при температуре (60 ± 5) °С и относительной влажности воздуха 100 %).

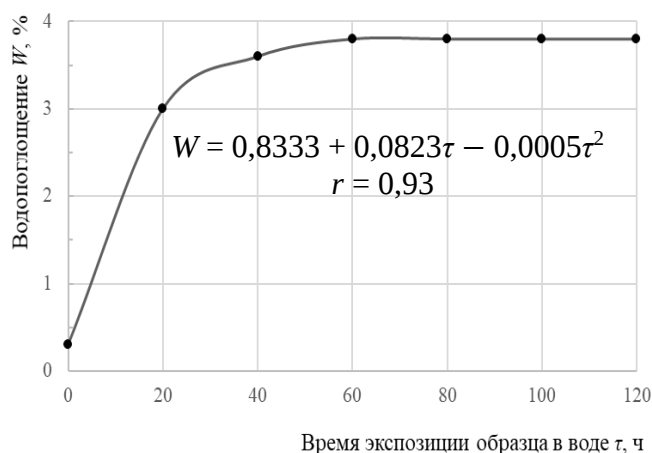


Рисунок 2 – Кинетика поглощения дистиллированной воды образцом покрытия в течение 5 сут

Водопоглощение образцов покрытия составило 3,8 %.

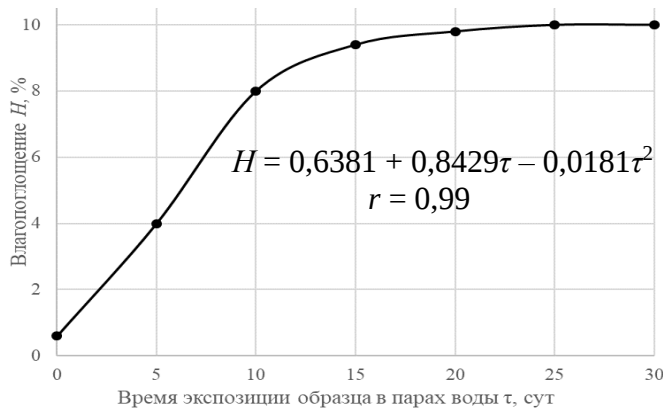


Рисунок 3 – Кинетика поглощения влаги образцом покрытия в течение 30 сут

Влагопоглощение образцов покрытия после воздействия воздуха с относительной влажностью 100 % составило 10 %

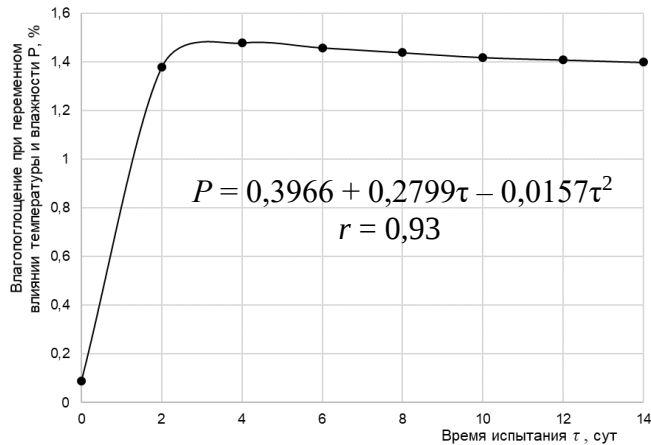


Рисунок 4 – Кинетика поглощения влаги образцом покрытия при переменном влиянии температуры и влажности в течение 14 сут

Влагопоглощение образцов покрытия после переменного влияния температуры и влажности составило 10 %

Результаты огневых испытаний показали, что вода, влажность, а также переменное воздействие температуры и влажности не оказывают влияния на огнезащитные свойства покрытия на основе хлоропренового каучука – I группа огнезащитной эффективности для древесины и теплоизоляционные свойства вспененного кокса на стальной пластине не изменились. Таким образом, разработанное покрытие на основе полимерного раствора хлоропренового каучука для повышения огнестойкости конструкций можно считать влаго- и водостойким. Исследованы параметры вспучивания огнезащитного покрытия – кратность вспучивания δ (рис. 5), изменение массы m/m_0 (рис. 6), изменение плотности ρ/ρ_0 (рис. 7) и пористость φ (рис. 8) кокса, образующегося в результате нагрева образцов в диапазоне температуры 300 – 950 К.

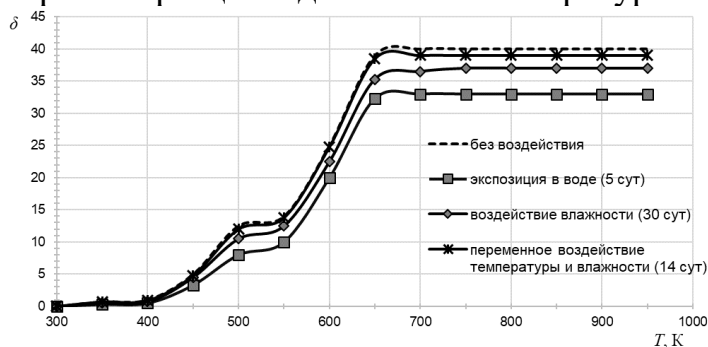


Рисунок 5 – Зависимость изменения кратности вспучивания от температуры нагрева образца без и после воздействия внешних факторов

Таблица 1 – Зависимости, характеризующие δ от T образца без воздействия и после воздействия на него внешних факторов

Уравнение зависимости	r
$\delta = 24,755 + 0,0781T$	0,93
$\delta = 21,625 + 0,0657T$	
$\delta = 23,44 + 0,0727T$	
$\delta = 24,126 + 0,0763T$	

Получены уравнения для каждой зависимости δ от T образцов без воздействия и после воздействия на них внешних факторов (табл. 1).

Высота первого плато составляет примерно 8 – 14 единиц, что является определенным преимуществом состава покрытия, так как при низких температурах сильнее блокируется процесс теплопереноса.

Уравнения для каждой зависимости m/m_0 от T образцов без воздействия и после воздействия на них внешних факторов приведены в таблице 2.

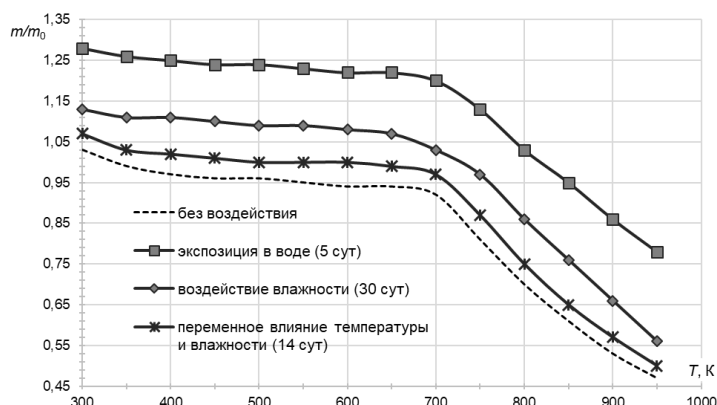


Рисунок 6 – Зависимость изменения массы от температуры нагрева образца без воздействия и после воздействия внешних факторов

Таблица 2 – Зависимости, характеризующие m/m_0 от T образца без воздействия и после воздействия на него внешних факторов

Уравнение зависимости	r
$m/m_0 = 1,3323 - 0,0008T$	0,91
$m/m_0 = 1,5666 - 0,0007T$	0,88
$m/m_0 = 1,4668 - 0,0008T$	0,88
$m/m_0 = 1,3925 - 0,0008T$	0,88

Процесс незначительного изменения массы образца покрытия с ростом вспучивания в интервале довольно низких температур нагрева (420 – 510 K) является главным механизмом, ответственным за формирование огнезащитных свойств покрытия.

Экспериментальные данные (рис. 7) аппроксимированы линейными уравнениями с достоверностью аппроксимации $r = 0,80 - 0,81$ (табл. 3).

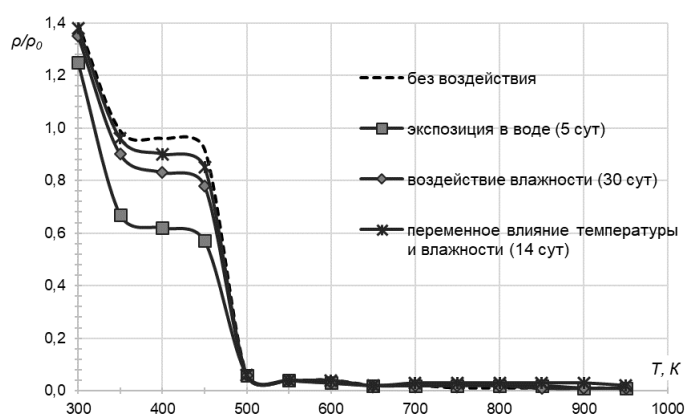


Рисунок 7 – Зависимость изменения плотности кокса от температуры нагрева образца без воздействия и после воздействия внешних факторов

Таблица 3 – Зависимости, характеризующие ρ/ρ_0 кокса от T нагрева образца без воздействия и после воздействия на него внешних факторов

Уравнение зависимости	r
$\rho/\rho_0 = 1,5331 - 0,0019T$	0,81
$\rho/\rho_0 = 1,1438 - 0,0014T$	0,80
$\rho/\rho_0 = 1,3967 - 0,0018T$	0,81
$\rho/\rho_0 = 1,4608 - 0,0018T$	0,80

В диапазоне температуры 750 – 950 К процесс структурирования кокса прекращается, что свидетельствует о формировании стабильного и стойкого изолирующего вспученного слоя покрытия, определяющего в значительной степени уровень его огнезащитной эффективности.

Экспериментальные данные (рис. 8) аппроксимированы линейными уравнениями с достоверностью аппроксимации $r = 0,85 – 0,86$ (табл. 4).

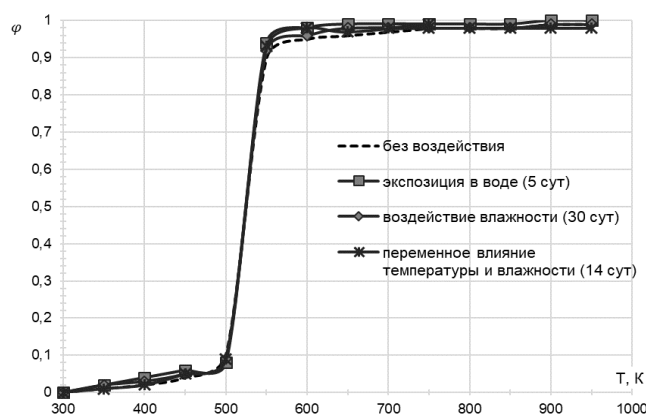


Рисунок 8 – Зависимость изменения пористости кокса от температуры нагрева образца без воздействия и после воздействия внешних факторов

Таблица 4 – Зависимости, характеризующие изменение φ кокса от T образца без воздействия и после воздействия на него внешних факторов

Уравнение зависимости	r
$\varphi = 0,5553 + 0,0019 T$	0,85
$\varphi = 0,5551 + 0,0019 T$	0,86
$\varphi = 0,5545 + 0,0019 T$	0,85
$\varphi = 1,5550 + 0,0019 T$	0,86

В интервале температур 750 – 950 К изменения пористости кокса не наблюдается, что свидетельствует о прекращении процесса структурирования кокса и формировании стабильного и стойкого вспученного слоя покрытия, что является важным условием обеспечения высокого уровня его огнезащитной эффективности.

Таким образом, логично предположить, что для повышения огнезащитной эффективности покрытия наиболее эффективно снижение потери массы, а также повышение плотности и прочности вспененного кокса при высоких температурах. Анализ представленных результатов показал принципиальную возможность определения параметров вспененного кокса в качестве комплексного количественного критерия оценки эффективности огнезащитных покрытий.

Пятая глава посвящена оптимизации параметров огнезащитных свойств вспучивающегося огнезащитного покрытия путем моделирования компонентного состава. В ходе экспериментальных исследований выявлено, что наиболее эффективными с точки зрения процесса объемного расширения, являются серии составов на основе хлоропренового каучука со вспучивающими добавками – боратом цинка (БЦ), полифосфатом аммония (ПФА) и терморасширяющимся графитом (ТРГ). Исходя из этого, для оптимизации параметров огнезащитного покрытия входными переменными (x) выбраны массовые содержания указанных компонентов. В качестве выходных переменных (y_i), взято среднее значение коэффициента вспучивания $K_{всп.}$ и потери массы Δt двух параллельных опытов, принятые критериями

оптимизации. Матрица планирования неполного третьего порядка в координатах симплекса и состав огнезащитного покрытия в реальных переменных в этих же точках представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	Кодированные значения факторов			Натуральные значения факторов				
				массовая концентрация, %			среднее значение Δm	среднее значение $K_{всп}$
	БЦ x_1	ПФА x_2	ТРГ x_3	БЦ	ПФА	ТРГ		
1	1	0	0	10,0	60,0	30,0	0,07	11
2	0	1	0	2,0	68,0	30,0	0,06	15
3	0	0	1	2,0	60,0	38,0	0,04	28
4	0,5	0,5	0	6,0	64,0	30,0	0,05	14
5	0,5	0	0,5	6,0	60,0	34,0	0,03	21
6	0	0,5	0,5	2,0	64,0	34,0	0,02	30
7	0,333	0,333	0,333	4,6	62,7	32,7	0,04	25
8	0,600	0,300	0,100	6,8	62,4	30,8	0,02	14

Эмпирические зависимости интерполированы 7-параметрическим приведенным полиномом неполного третьего порядка (11)

$$\hat{y} = \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \beta_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, \quad (11)$$

где $\hat{y}$ – среднее значение отклика по двум параллельным измерениям; $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – коэффициенты уравнения полинома; x_1, x_2, x_3 – количество компонента (БЦ, ПФА, ТРГ соответственно) в смеси, доля единицы.

Коэффициенты уравнения полинома (11), которые отображают зависимость Δm и $K_{всп}$ от соотношения компонентов (x_i), рассчитаны по экспериментальным данным с помощью соотношений:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= y_1; \beta_2 = y_2; \beta_3 = y_3; \beta_{12} = 4y_{12} - 2y_1 - 2y_2; \beta_{13} = 4y_{13} - 2y_1 - 2y_3; \\ \beta_{23} &= 4y_{23} - 2y_2 - 2y_3; \beta_{123} = 27y_{123} - 12(y_{12} + y_{13} + y_{23}) + 3(y_1 + y_2 + y_3). \end{aligned}$$

После подстановки вычисленных коэффициентов в уравнение (11) получена регрессионная модель (12), характеризующая изменение кратности вспучивания огнезащитного покрытия при его нагревании до температуры 600 °С в течение 5 мин

$$K_{всп} = 11x_1 + 15x_2 + 28x_3 - 4x_1 \cdot x_2 - 6x_1 \cdot x_3 - 34x_2 \cdot x_3 + 57x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (12)$$

и регрессионная модель (13), характеризующая изменение потери массы огнезащитного покрытия

$$\Delta m = 0,07x_1 + 0,06x_2 + 0,04x_3 - 0,06x_1 \cdot x_2 - 0,1x_1 \cdot x_3 - 0,12x_2 \cdot x_3 + 0,39x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (13)$$

от состава трехкомпонентной вспучивающей добавки.

Для получения покрытия с максимальным вспучиванием наиболее рациональным является введение ТРГ (значение параметра при первой степени x_3 модели (12) максимально). Замещение ТРГ на БЦ и ПФА снижает $K_{всп}$ примерно в два раза. Совместное введение БЦ, ПФА и ТРГ решает задачу за счет комбинированного механизма вспучивания графита и ячеистого вспучивания БЦ и ПФА. Для всех средних значений Δm испытанных образцов древесины с покрытием выполняется неравенство $\Delta m > 9 \%$ (см. табл. 5), что соответствует I группе огнезащитной эффективности покрытия. Это позволяет утверждать, что

область факторного пространства при выполнении оптимизации выбрана рационально. Увеличение количества интумесцентных фаз сопровождается возрастанием $K_{всп}$ при одновременном снижении Δt покрытия.

Результаты анализа регрессионных моделей (12) и (13) показали, что основным фактором, влияющим на $K_{всп}$ и Δt , следовательно, и на огнезащитную эффективность покрытия, является массовая доля БЦ, ТРГ и ПФА. Проверка однородности дисперсий воспроизводимости параметров оптимизации проведена по критерию Кохрена (C -критерию). Для определения расчетного значения C -критерия (C_p) находили отношение наибольшей из оценок дисперсий воспроизводимости $S_{i\max}^2$ к сумме всех оценок дисперсий воспроизводимости S_i^2 по формуле (14)

$$C_p = \frac{S_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}. \quad (14)$$

Для параметра оптимизации – кратность вспучивания, C_p составило 0,295, потери массы – 0,467. Табличное значение критерия Кохрена ($C_{\text{табл}} = 2,365$) найдено с учетом доверительной вероятности $P = 0,95$, числа серии экспериментов $n = 7$, числа повторных измерений в серии $m = 2$ и числа степеней свободы $f = n(m - 1) = 7$. Поскольку условие $C_p < C_{\text{табл}}$ выполнено, можно сделать вывод, что различия между дисперсиями параметров оптимизации незначимые и все измерения обеспечивают одинаковую воспроизводимость результатов, следовательно, гипотеза об однородности дисперсий воспроизводимости параметров оптимизации принимается.

Оценка значимости коэффициентов модели (12) и (13) выполнена по критерию Стьюдента (t -критерию) при выполнении условия неравенства (15)

$$|\beta_i| \geq t \cdot S(\beta_i), \quad (15)$$

где $|\beta_i|$ – модуль значения коэффициента регрессии; t – табличное значение критерия Стьюдента; $S(\beta_i)$ – квадратическая ошибка коэффициента регрессии.

Квадратическую ошибку каждого коэффициента регрессии $S(\beta_i)$ рассчитывали по формуле (16)

$$S(\beta_i) = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2}{N\sqrt{N}} \quad (16)$$

где y_i – значение параметра в конкретном опыте; $\bar{y}_i$ – среднее значение параметра из серии повторных опытов i – той точки плана; N – число серии экспериментов.

Табличное значение критерия Стьюдента t_T для $f = 7$ и $P = 0,95$ составило 2,365. Абсолютные значения всех коэффициентов полинома (12) и (13) удовлетворяют неравенству (15), что подтверждает их значимость в каждой модели.

Адекватность модели (12) и (13) оценивали в проверочной точке 8 (таблица 5) по критерию Фишера (F -критерию) путем сравнения его расчетного значения с табличным. Доверительный интервал, определяющий ошибку предсказываемого отклика, равен 0,05. Расчетное значение F -критерия определяли по формуле (17)

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_i^2}, \quad (17)$$

где $S_{ад}^2$ – дисперсия адекватности; S_i^2 – дисперсия воспроизводимости.

Дисперсия адекватности рассчитана по формуле (18)

$$S_{ад}^2 = \frac{m}{N-k-1} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i^p - \bar{y}_i)^2, \quad (18)$$

где k – число факторов; y_i^p – значение параметра в i -той точке плана, рассчитанное по уравнению регрессии.

Расчетное значение F -критерия для модели (12) составило 3,2, для модели (13) – 3,7. Табличное значение критерия Фишера при доверительной вероятности $P = 0,95$, числе степеней свободы $f_1 = 3$ при определении дисперсии адекватности $S_{ад}^2$ и $f_2 = 7$ при определении дисперсии воспроизводимости, составило 4,4. Так как расчетные значения F -критерия меньше табличного, гипотеза о неадекватности моделей (12) и (13) отвергается.

Проведен анализ полученных полиномиальных моделей, которые являются математическим отображением наиболее существенных взаимосвязей между параметрами, определяющими огнезащитные свойства покрытия – $K_{всп}$, Δt и составом вспучивающейся добавки БЦ-ТРГ-ПФА. В линейной части уравнения (12) ($11x_1$; $15x_2$; $28x_3$) явно преобладает вклад в расчетное значение $K_{всп}$ третьего компонента (x_3 – ТРГ). Нелинейная часть полинома (12) состоит из квадратичной ($4x_1 \cdot x_2$; $6x_1 \cdot x_3$; $34x_2 \cdot x_3$) и кубической ($57x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$) составляющих. Положительный знак при факторах x_1 , x_2 , x_3 и их произведениях указывает на синергизм влияния на выходной параметр. Как видно из уравнения (12), явление синергизма для нелинейной части полинома определяет только кубический β_{123} (57) коэффициент, то есть существенный вклад в увеличение $K_{всп}$ вносит тройная система БЦ (x_1)-ПФА (x_2)-ТРГ (x_3). Отрицательный знак при факторах x_1 , x_2 и x_3 и их произведениях указывает на антагонизм их влияния на процесс вспучивания. Явление антагонизма наблюдается для нелинейной части полинома и связано с квадратичными коэффициентами β_{12} (-4), β_{13} (-6), β_{23} (-34).

Для приведенного полинома (13) нелинейная часть состоит из квадратичной ($0,06x_1 \cdot x_2$; $0,1x_1 \cdot x_3$; $0,12x_2 \cdot x_3$) и кубической ($0,39x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$) составляющих. Из уравнения (13) следует, что явление синергизма для нелинейной части полинома определяет только кубический β_{123} (0,39) коэффициент, то есть наибольший вклад в Δt также вносит тройная система БЦ (x_1)-ПФА (x_2)-ТРГ (x_3). Обработка экспериментальных данных и результатов, полученных с помощью симплекс-планирования проведены с помощью табличного процессора Excel и программы STATISTICA 10.0. На основании результатов экспериментальных исследований и данных математической обработки построены диаграммы «состав-кратность вспучивания» (рисунок 9) и «состав-потеря массы» (рисунок 10).

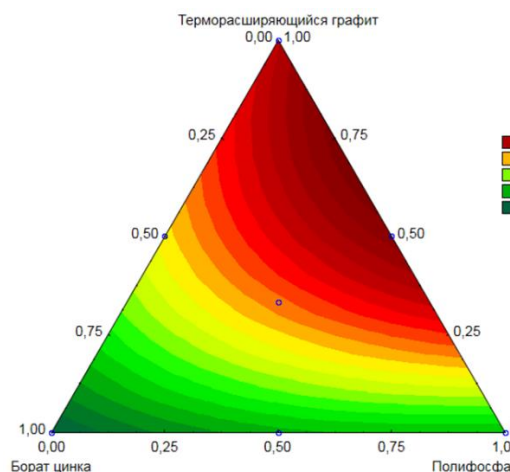


Рисунок 9 – Диаграмма
«состав-кратность вспучивания»

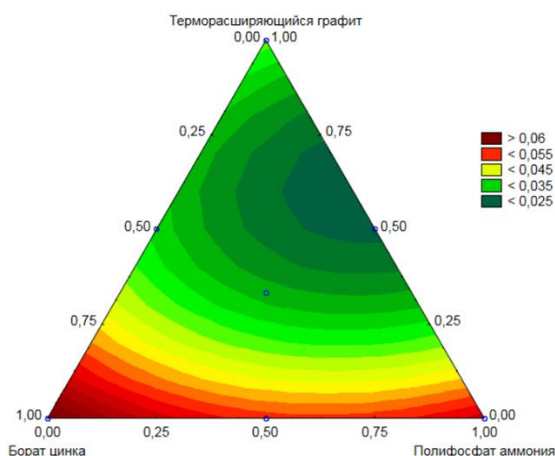


Рисунок 10 – Диаграмма
«состав-потеря массы»

Увеличение количества интумесцентной фазы (ТРГ) и уменьшение содержания ПФА приводит к росту $K_{всп}$ от 11 до 44 единиц при одновременном снижении Δm с 7 до 1 %. Увеличение $K_{всп}$ до 44 единиц можно отнести к преимуществу огнезащитного покрытия. Дальнейшее увеличение толщины слоя кокса нецелесообразно, так как это приводит к снижению его механической и когезионной прочности ввиду нарушения целостности структуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании научного обоснования параметров огнезащитных покрытий дано решение актуальной научно-технической задачи по повышению огнестойкости деревянных и металлических конструкций для обеспечения противопожарной защиты объекта и созданию на этой основе новой рецептуры вспучивающегося огнезащитного покрытия, обладающего устойчивостью к воздействию внешних факторов.

Основные научные и практические результаты, выводы и рекомендации сводятся к следующему:

1. Выполнен анализ патентной и научно-технической информации относительно рецептур и свойств огнезащитных покрытий для деревянных и металлических конструкций, способов их получения, что позволило установить и обосновать направление исследований по созданию рецептурного состава вспучивающегося огнезащитного покрытия с устойчивостью к воздействию внешних факторов и повышенной огнезащитной эффективностью.

2. Научно обоснована классификация параметров, отражающая комплексный подход к оценке внешних факторов, влияющих на огнезащитные, физико-механические и теплофизические свойства огнезащитных покрытий, что позволяет прогнозировать сохранение эффективности огнезащиты деревянных и металлических конструкций не только в условиях пожара, но и в эксплуатационный период.

3. Получены зависимости влияния содержания полифосфата аммония в диапазоне концентраций 13,9–15,6 масс. %; терморасширяющегося графита – 9,0–10,4 масс. %; бората цинка – 2–3 масс. % в компонентном составе огнезащитного покрытия на его водопоглощение, влагопоглощение, а также стойкость к переменному воздействию температуры и влажности.

4. На основании результатов экспериментальных исследований разработана новая рецептура вспучивающегося огнезащитного покрытия на основе хлоропренового каучука. Установлено, что водопоглощение образцов покрытия, погружаемых в воду в течение 5 сут, составляет 3,8 %; подвергающихся воздействию влажного воздуха в течение 30 сут, а также переменному воздействию температуры и влажности (14 сут) – 10 %. Показано, что вода, влажность, переменное воздействие температуры и влажности не оказывают влияния на огнезащитные свойства разработанного покрытия – I группа огнезащитной эффективности для древесины и теплоизоляционные свойства вспененного кокса на стальной пластине толщиной 2 мм не изменились.

5. Определены параметры кокса, образующегося в результате нагрева и последующего вспучивания огнезащитного покрытия. Установлены зависимости влияния воды, влажности, переменного воздействия температуры и влажности на изменение потери массы, кратности вспучивания, плотности и пористости кокса, образующегося в процессе нагрева огнезащитного покрытия в диапазоне температур 27–670 °С.

6. Выполнена оптимизация параметров разработанного вспучивающегося огнезащитного покрытия по критериям – коэффициенту вспучивания и потере массы, в результате которой установлены рациональные диапазоны содержания ингредиентов вспучивающей добавки: полифосфата аммония 13,9–15,6 масс. %, терморасширяющегося графита 9,0–10,4 масс. %, бората цинка 2–3 масс. %, определяющих наиболее эффективные огнезащитные свойства (относительная потеря массы – 1 %, коэффициент вспучивания – 44 единицы) покрытия.

7. Установлен синергетический эффект влияния совместного введения бората цинка, терморасширяющегося графита и полифосфата аммония на комплекс эксплуатационных свойств покрытия и формирование устойчивого коксового остатка в результате нагрева покрытия. Новое технологическое решение обеспечивает повышение огнестойкости деревянных и металлических конструкций, обработанных вспучивающимся огнезащитным покрытием, отличающимся устойчивостью к воздействию внешних факторов.

8. Проведена сравнительная оценка экономической эффективности внедрения разработанного огнезащитного покрытия вспучивающегося типа для деревянных и металлических конструкций с огнезащитными покрытиями (близкими аналогами) других производителей – Эндотермом ХТ-150 (группа компаний «Спецматериалы») и Chartek-8 (компания Akzo Nobel). Установлено, что расчетный экономический эффект от применения разработанного вспучивающегося огнезащитного покрытия составляет около 47642 руб/м² за один год эксплуатации.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях ВАК ДНР

1. **Лебедева, В.В.** Полимерный материал для огнезащиты строительных конструкций / В.В. Лебедева, А.А. Козлитин, О.В. Храпоненко // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2020. – № 3(57). – С. 75-83.

2. **Лебедева, В.В.** Покрытия на основе минерального связующего для огнезащиты деревянных конструкций / В.В. Лебедева, А.А. Козлитин, И.Н. Непочатых // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2020. – № 4(57). – С. 26-32.

3. **Лебедева, В.В.** Покрытие для огнезащиты деревянных конструкций / В.В. Лебедева, И.Н. Непочатых // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2021. – № 1(58). – С. 27-33.

4. **Лебедева, В.В.** Лабораторная установка для исследования свойств огнезащитного покрытия / В.В. Лебедева, И.Н. Непочатых, О.В. Храпоненко // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2021. – № 2(58). – С. 100-108.

5. **Лебедева, В.В.** Полимерная композиция для получения огнезащитного материала / В.В. Лебедева // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2021. – № 3(58). – С. 24-31.

6. **Лебедева, В.В.** Огнезащита древесины с помощью состава на основе силиката / В.В. Лебедева, А.А. Козлитин, И.Н. Непочатых, О.В. Храпоненко // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2021. – № 4(58). – С. 56-64.

7. **Лебедева, В.В.** Влияние эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытия для металлических конструкций / В.В. Лебедева, А.А. Козлитин, И.Н. Непочатых // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2022. – № 1(59). – С. 62-70.

8. Долженков, А.Ф. Устойчивость огнезащитного покрытия к воздействию природных и техногенных факторов / А.Ф. Долженков, **В.В. Лебедева** // Научный вестник НИИ «Респиратор». – Донецк, 2022. – № 3(59). – С. 18-26.

9. **Лебедева, В.В.** Оптимизация состава огнезащитного покрытия методом симплекс-решетчатого планирования / В.В. Лебедева, И.Н. Непочатых // Научный вестник НИИ «Респиратор». – Донецк, 2022. – № 4(59). – С. 60-65.

10. **Лебедева, В.В.** Количественные параметры вспучивания огнезащитного покрытия на основе хлоропренового каучука / В.В. Лебедева // Научный вестник НИИ «Респиратор». – Донецк, 2023. – №1(60). – С. 90-97.

Публикации в рецензируемых изданиях ВАК Российской Федерации

11. Долженков, А.Ф. Критерии оценки огнезащитных свойств композиции на основе хлорсодержащего связующего / А.Ф. Долженков, **В.В. Лебедева** // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 3 (67). – С. 60–66. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-60-66.

12. Мамаев, В.В. Влияние состава вспучивающей добавки на свойства огнезащитного покрытия для деревянных и металлических конструкций // В.В. Мамаев, А.Ф. Долженков, **В.В. Лебедева** // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 4 (49). – С. 170–175. ISSN 2658-6223.

Публикации в других рецензируемых изданиях

13. **Лебедева, В.В.** Материал для огнезащиты деревянных строительных конструкций / В.В. Лебедева, И.Н. Непочатых, О.В. Храпоненко // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – Донецк, 2021. – № 1(8). – С. 264-268.

14. **Лебедева, В.В.** Огнезащитное покрытие вспучивающегося типа для древесины / В.В. Лебедева // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – Донецк, 2021. – № 2(98). – С. 205-211.

15. Долженков, А.Ф. Огнезащитные покрытия на связующих, растворимых в воде и органических растворителях / А.Ф. Долженков, А.А. Козлитин, **В.В. Лебедева** // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – Донецк, 2022. – № 2(128). – С. 98-103.

Публикации в сборниках материалов научных конференций, входящих в наукометрическую базу РИНЦ:

16. Полимерный материал огнезащитного действия / А.А. Козлитин, **В.В. Лебедева** // Инновационные перспективы Донбасса, Донецк, 24-26 мая 2022 г. – Донецк: ДОННТУ, 2022. Т. 4: 4. Перспективные направления развития экологии и химической технологии. – 2022. – С. 105-110.

17. Оптимизация огнезащитных свойств покрытия на основе хлоропренового каучука / **В.В. Лебедева** // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: сб. тезисов докладов V Республиканской научной конференции, 14 декабря 2022 г., Донецк. – Донецк: ГБОУ ВО «АГЗ МЧС ДНР», 2022. – 13-14 с.

18. Параметры огнезащитного покрытия на основе хлоропренового каучука / **В.В. Лебедева** // Современное состояние и перспективы дальнейшего развития системы гражданской обороны Донецкой Народной Республики: сб. тезисов докладов VI Республиканской научной конференции, 18 октября 2022 г., Донецк. – Донецк: ГБОУ ВО «АГЗ МЧС ДНР», 2022. – 79-80 с.

19. Огнезащита строительных конструкций – один из путей обеспечения техносферной безопасности / **В.В. Лебедева**, И.Н. Непочатых, О.В. Храпоненко // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: сборник материалов I Международной научной конференции, 16 февраля 2023 г. – Макеевка: ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2023. – С. 29-32.

20. Оптимизация свойств огнезащитного покрытия для повышения огнестойкости строительных конструкций / **В.В. Лебедева**, О.В. Храпоненко // ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» XXII-ая Международная конференция «Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий» 20.04.2023

21. Оптимизация свойств огнезащитного покрытия для повышения огнестойкости строительных элементов и конструкций / **В.В. Лебедева**, И.Н. Непочатых, А.В. Сиверский // Сборник тезисов пятой республиканской научно-технической конференции «Пожарная безопасность объектов республики», 28 апреля 2023 г. – Донецк: ГБОУ ВО «АГЗ МЧС ДНР», 2023. – С. 30-31.

22. Лабораторная установка для исследования огнезащитных свойств покрытий / **В.В. Лебедева**, И.Н. Непочатых, О.В. Храпоненко // Сборник тезисов

пятой республиканской научно-технической конференции «Пожарная безопасность объектов Республики», 28 апреля 2023 г. – Донецк: ГБОУ ВО «АГЗ МЧСДНР», 2023. – С. 31-32.

АННОТАЦИЯ

Лебедева Виктория Валентиновна. **Обоснование параметров огнезащитных покрытий для повышения огнестойкости деревянных и металлических конструкций.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности – 2.10.1 Пожарная безопасность (технические науки). – ФГКУ «НИИ «Респиратор» Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий». Установлены параметры, влияющие на показатели эффективности огнезащитных покрытий. Обоснована классификация параметров, основанная на комплексном подходе к оценке внешних факторов, влияющих на эксплуатационные свойства покрытий. Создана рецептура вспучивающегося огнезащитного покрытия, отличающаяся устойчивостью к воздействию внешних факторов. Оптимизированы параметры огнезащитных свойств покрытия посредством моделирования компонентного состава. Получены полиномиальные модели изменения кратности вспучивания и потери массы покрытия от массового содержания компонентов вспучивающей добавки.

Ключевые слова: влияние внешнего фактора, вспененный кокс, вспучивающая добавка, изменение массы, кратность вспучивания, огнезащитная эффективность, плотность кокса, пористость кокса, потеря массы

ANNOTATION

Lebedeva Victoria Valentinovna. **Substantiation of the parameters of fire-resistant coatings to increase the fire resistance of wooden and metal structures.** – On the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty – 2.10.1 Fire safety (technical sciences). – Federal State Budgetary Institution "Scientific Research Institute "Respirator" of the Ministry of Civil Defense, Emergency Situations and Elimination of Consequences of Natural Disasters of the Russian Federation." The parameters affecting the effectiveness of flame retardant coatings have been established. The classification of parameters based on an integrated approach to the assessment of external factors affecting the performance properties of coatings is justified. A formulation of a bulging flame retardant coating has been created, which is resistant to external factors. The parameters of the flame retardant properties of the coating are optimized by modeling the component composition. Polynomial models of changes in the multiplicity of swelling and loss of coating mass from the mass content of the components of the swelling additive are obtained.

Keywords: the influence of an external factor, foamed coke, swelling additive, weight change, swelling rate, flame retardant efficiency, coke density, coke porosity, mass loss