

На правах рукописи



Колесникова Нина Николаевна

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

2.10.1. Пожарная безопасность

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Иваново – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Научный руководитель:

Циркина Ольга Германовна
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Тихонова Наталья Васильевна
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технологический
университет», директор Института
технологии легкой промышленности, моды и
дизайна, заведующий кафедрой
«Конструирование одежды и обуви»

Владимирцева Елена Львовна
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
химико-технологический университет»,
профессор кафедры «Химическая технология
волокнистых материалов»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Уральский институт
Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по
делам гражданской обороны, чрезвычайным
ситуациям и ликвидации последствий
стихийных бедствий»

Защита состоится 24 сентября 2026 г. в 14:30 на заседании диссертационного совета 04.2.005.02 на базе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России по адресу: 153040, г. Иваново, пр. Строителей, д. 33, ауд. 1101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России: <https://www.edufire37.ru/>.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 04.2.005.02,
кандидат технических наук, доцент

Колбашов Михаил Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На сегодняшний день перед Российской Федерацией стоит ряд задач по обеспечению безопасности государства, одной из которых является пожарная безопасность. Причиной пожаров, приводящих к трагическим последствиям и происходящих в местах массового скопления людей, в жилых помещениях, зачастую являются легковоспламеняемые текстильные материалы и изделия. Согласно статистике, количество пожаров, возникающих в зданиях и помещениях, где используются различные виды текстиля (занавеси, шторы, декоративные элементы интерьера, мягкая мебель, постельные принадлежности, ковровые покрытия), неуклонно возрастает. Ущерб от подобных пожаров также увеличивается, что подчеркивает необходимость использования огнезащитных материалов. Придание огнезащитных свойств текстильным материалам является сложной и многоаспектной проблемой, поскольку необходимо одновременно выдерживать требования законодательства, учитывать экономический фактор и сохранять функциональные свойства материала с учетом его практического назначения.

Проблема огнезащиты текстильных материалов и изделий важна как для жилых помещений, так и для мест с массовым пребыванием людей, таких как гостиницы, кинотеатры, театры, офисные здания и транспортные средства. Использование огнестойких текстильных материалов помогает минимизировать риск возникновения пожара и способствует повышению общей безопасности населения. В настоящее время придание тканям огнезащитных свойств осуществляется за счет пропитки полотна технологическими растворами, которые зачастую не обеспечивают перманентности отделки или необходимой степени огнезащиты тканого материала. В связи с этим **актуальность** темы исследования заключается в выработке новых подходов к созданию огнезащитных текстильных материалов за счет изменения рецептур технологических растворов для объемного нанесения на полотно, а также путем получения тканей с огнезащитным пленочным покрытием на основе поливинилхлорида.

Степень разработанности темы. Разработкой огнезащитных составов для текстильных материалов занимаются как отечественные, так и зарубежные ученые. Группа ученых в составе Miller B., Martin J.R. проводит исследование процесса воспламенения тканей. В работах Horrocks A.R. приводятся сравнительные данные по результатам исследования воспламеняемости необработанных и обработанных антипиренами текстильных материалов различного волокнистого состава. Проблеме поиска экологичных антипиренов для тканей посвящены труды Basak S., Chena Y., Attia N.F. Вандерсалом Х. были сформулированы первоосновы термолитического синтеза огнезащитных интумесцентных покрытий. В течение последних десятилетий наиболее активно над изучением вспучивающихся систем и возможного механизма их огнезащитного действия работают зарубежные и отечественные исследовательские группы Камино Г., Буорбигота С., Левитес Ф.А., Машляковского Л.Н., Ненахова С.А., Решетникова И.С. Особенности коксообразования при горении полимерных материалов в присутствии антипиренов изучались научными коллективами Халтуринского Н.А., Берлина А.А., Асеевой Р.М. Вопросы огнезащиты текстильных материалов освещены в работах Константиновой Н.И., Болодьян Г.И., Бешапошниковой В.И., Коломейцевой Э.А., Морыганова А.П., Одинцовой О.И., Владимирцевой Е.Л. Однако разработке интумесцентных огнезащитных составов для текстиля уделяется недостаточное внимание.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является разработка научного подхода к созданию полимерных композиций для огнезащиты текстильных материалов из целлюлозосодержащих волокон.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **научно-исследовательские и практические задачи**:

- 1) провести анализ имеющихся в научной литературе данных по пожарной опасности целлюлозосодержащих и смесовых тканей, методов оценки их пожароопасных свойств и способов огнезащиты;
- 2) разработать пропиточные огнезащитные составы для целлюлозосодержащих тканей декоративного назначения и проанализировать свойства полученных текстильных материалов;
- 3) разработать полимерные композиции для поверхностного нанесения на ткани технического назначения, теоретически и экспериментально обосновать выбор наиболее эффективных антипиренов, вводимых в состав пленочного покрытия;
- 4) адаптировать методику определения огнестойкости текстильного материала применительно к тканям технического назначения с полимерным покрытием;
- 5) разработать методику определения огнезащитных интумесцентных свойств двухслойных текстильных материалов с пленочным покрытием;
- 6) исследовать свойства полученных материалов с использованием методов синхронного термического анализа; термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией; изучить теплофизические характеристики тканей, морфологию и элементный состав поверхности образцов;
- 7) исследовать влияние наполнителей полимерной композиции на эффективность огнезащиты целлюлозосодержащих тканей;
- 8) на основе проведенных исследований разработать огнезащитную полимерную композицию с интумесцентными свойствами для целлюлозосодержащих тканей технического назначения.

Научная новизна. Впервые получены следующие научные результаты:

- предложен научно обоснованный подход к огнезащите текстильных материалов путем объемного и поверхностного нанесения на них огнезащитных составов;
- теоретически и экспериментально обосновано применение кремнийсодержащих добавок, вводимых в огнезащитные пропиточные растворы при обработке тканей декоративного назначения;
- научно обоснованы механизмы огнезащитного действия наполнителей полимерных композиций на основе поливинилхлорида, наносимых на поверхность тканей технического назначения;
- обоснован механизм вспучивающего действия разработанной интумесцентной ПВХ-композиции, наносимой на поверхность текстильного полотна и обеспечивающей его защиту от воздействия открытого пламени;
- предложена методика определения огнезащитных интумесцентных свойств двухслойных текстильных материалов с пленочным покрытием.

Теоретическая значимость работы заключается в научном подходе к объяснению механизмов действия различных антипиреирующих добавок, вводимых в технологические огнезащитные растворы и полимерные композиции, и в обосновании эффективности защиты целлюлозосодержащих текстильных материалов от огневого воздействия.

В целом новизна и оригинальность предложенных технологических решений, разработанных на основе теоретических представлений и результатов исследований,

подтверждается положительными результатами испытаний, проведенных на предприятии ООО «Ивановский меланжевый комбинат», в лаборатории компании ООО «ХимТехник» и получением патента РФ на изобретение № 2836432 «Интумесцентный огнезащитный состав для тканей из целлюлозных волокон».

Практическая значимость работы заключается в разработке огнезащитных пропиточных составов и полимерных композиций на основе поливинилхлорида, наносимых на текстильные материалы.

Полученные огнестойкие материалы с интумесцентными свойствами могут использоваться в качестве укрывных – для защиты узлов технологического оборудования, тентовых – для фургонов грузового транспорта, палаточных материалов и покрытий быстровозводимых каркасно-тентовых конструкций. Предложенная полимерная композиция может также применяться для восстановления поврежденных участков покрытия.

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

Объект исследования – получение огнезащищенных текстильных материалов декоративного и технического назначения.

Предмет исследования – огнезащитные составы для объемного и поверхностного нанесения на целлюлозосодержащие ткани.

Методология и методы исследования. В работе проанализированы и обобщены имеющиеся в научной литературе данные по теме исследования. На основании этого сформулирована цель и поставлены конкретные задачи для ее решения. При выполнении работы использовались современные физические и физико-химические методы исследования и математические методы обработки полученных данных: методики национальных стандартов по определению воспламеняемости и огнестойкости материалов, кислородного индекса, синхронного термического анализа; энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия и термический анализ, совмещенный с масс-спектрометрией; адаптированная методика оценки огнезащитных свойств тканей с полимерным покрытием и разработанная методика оценки интумесцентных свойств огнезащитных полимерных покрытий текстильных материалов. Обработка результатов измерений проводилась методами математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретическое и экспериментальное обоснование необходимости разработки полимерных композиций для поверхностного нанесения на текстильные полотна с целью придания им огнезащитных свойств.

2. Научно обоснованный подход к выбору антипирегирующих добавок, вводимых в полимерную композицию для поверхностного нанесения на ткани технического назначения.

3. Комплексный подход к оценке влияния наполнителей полимерной ПВХ-композиции на термические свойства готовых огнезащищенных тканей и химический состав продуктов термоокислительной деструкции двухслойных композиционных материалов.

4. Разработанный интумесцентный огнезащитный состав на основе поливинилхлорида и природного минерала для поверхностного нанесения на ткани из целлюлозных волокон.

5. Разработанная методика определения огнезащитных интумесцентных свойств пленочных покрытий двухслойных текстильных материалов.

Степень достоверности полученных результатов. Исследование проведено с использованием современных физических, физико-химических и химических методов анализа на поверенном оборудовании. Достоверность результатов подтверждена взаимной согласованностью данных, полученных при использовании обозначенного комплекса методов исследования, и сопоставимостью полученных в ходе работы данных с результатами, имеющимися в научной литературе.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на:

- Всероссийских научно-практических конференциях с международным участием «Актуальные вопросы естествознания», Иваново, 2022 г.; «Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований», Иваново, 2024, 2026 гг.;

- Национальной (с международным участием) молодежной научно-технической конференции «Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы», Иваново, 2024 г.;

- Международных научно-практических конференциях «Пожарная и аварийная безопасность», Иваново, 2022 г.; «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы», Минск, 2024 г.; «Современные пожаробезопасные материалы и технологии», Иваново, 2025 г.; «Текстильная химия: традиции и новации», Иваново, 2025 г.

Личный вклад автора заключается в аналитическом обзоре научных источников по теме исследования, получении, научном анализе, обобщении и интерпретации результатов эксперимента. Экспериментальные исследования, связанные с разработкой огнезащитных составов и изучением свойств полученных материалов, выполнены автором лично или при его непосредственном участии. Изложенные в диссертации результаты отражают самостоятельные исследования автора и его работы, выполненные в соавторстве.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 18 статьях по теме диссертации, среди которых 9 статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных действующим перечнем ВАК (в том числе в международной базе данных Scopus – 5 статей). Получен Патент РФ на изобретение «Интумесцентный огнезащитный состав для тканей из целлюлозных волокон» № 2836432 от 14.03.2025 (заявка № 2024108869 от 02.04.2024 г.).

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, литературного обзора, методической части, экспериментальной части и обсуждения результатов исследования, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 176 наименований, приложений. Диссертация содержит 206 страниц машинописного текста, в число которых входят 50 рисунков и 26 таблиц.

Область исследования. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.10.1 «Пожарная безопасность», в частности, п. 5 в части, касающейся «исследования проблем повышения устойчивости объектов защиты к воздействию опасных факторов пожаров», и п.10 в части, касающейся «разработки научных основ, моделей и методов, направленных на создание и применение средств огнезащиты».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, выносимых на защиту.

В первой главе «Пожарная опасность, методы ее оценки и способы огнезащиты текстильных материалов», состоящей из 5 разделов, приведена общая характеристика текстильных материалов и их пожароопасных свойств, рассмотрены теоретические аспекты процесса горения и показатели пожарной опасности текстильных материалов; термостойкие волокна и специфика их поведения в области высоких температур; способы огнезащиты текстильных материалов; состояние нормативной базы и методы оценки пожарной опасности текстильных материалов.

Проведённый анализ позволил определить основные направления совершенствования технологических процессов получения огнезащищенных текстильных материалов декоративного и технического назначения.

Во второй главе «Методическая часть» приводятся характеристики используемых текстильных материалов; огнезащитных составов (пропиточных растворов); огнезащитных композиционных материалов; методики их нанесения на ткань; методика испытаний образцов текстильных материалов декоративного назначения на воспламеняемость, образцов тканей специального назначения на огнестойкость; методика определения кислородного индекса; методики проведения синхронного термического анализа и термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией; методика определения способности текстильных материалов экранировать тепловое излучение; методика определения формальдегида на ткани; методика исследования морфологии и элементного состава поверхности образцов текстильных материалов.

В связи со спецификой полученных двухслойных текстильных полотен с пленочным покрытием (наличие незаработанного края), которые планируется использовать в качестве тканей технического назначения, методика, приведенная в ГОСТ 11209-2014 «Ткани для специальной одежды. Общие технические требования. Методы испытаний» для испытаний тканей с огнезащитной пропиткой, была адаптирована к испытаниям на огнестойкость материалов с поверхностным нанесением огнезащиты. Сущность адаптированной методики заключается в следующем. Из точечной пробы материала вырезают 6 элементарных проб размером 50x200 мм (3 образца, изготовленных в направлении текстильной основы материала, 3 – в направлении утка). Пламя спиртовки подносят снизу к середине образца, расположенного перпендикулярно пламени, со стороны полимерного покрытия, одновременно включая секундомер. Время выдерживания пробы в пламени составляет 30 с. По истечении заданного времени выдерживания в пламени пробу выводят из зоны огня. Если в течение указанного времени не наблюдается прогорания обратной стороны ткани у всех шести образцов, то материал считается огнестойким. Для получения дополнительных количественных показателей огнестойкости материала фиксируется время полного прогорания обратной стороны материала или время полного затухания пламени со стороны полимерного покрытия.

Поскольку в нормативной литературе отсутствует методика оценки огнезащитных интумесцентных свойств двухслойных текстильных материалов с пленочным покрытием, она была разработана в ходе проведения исследования. Сущность разработанной методики заключается в следующем. Аналогично приведенной выше адаптированной методике ГОСТ 11209-2014 готовят 6 образцов материала. Пламя спиртовки подносят снизу к середине образца, расположенного перпендикулярно пламени, со стороны полимерного покрытия, одновременно включая секундомер. При этом по секундомеру фиксируют время самозатухания образца. Высоту вспученного слоя измеряют в 5 точках, положение которых определяют «методом конверта» на вспученном участке поверхности каждого из 6 образцов. Таким образом, получают 30 контрольных точек. Измерение

высоты вспученного слоя проводят с помощью штангенциркуля. Коэффициент вспучивания определяют по формуле:

$$K_{\text{вс.}} = \frac{h}{h_0}, \quad (1)$$

где h – высота вспученного слоя, h_0 – высота исходного покрытия.

В третьей главе «Экспериментальная часть и обсуждение результатов исследования» оценено влияние разработанных антипирюющих композиций, нанесенных на целлюлозосодержащие ткани объемным или поверхностным способом, на эффективность их огнезащиты.

В разделе 3.1 «Разработка огнезащитных композиций для пропитки целлюлозосодержащих текстильных материалов, используемых в отделке интерьеров» представлены данные по использованию разработанных огнезащитных композиций для хлопкополиэфирного «гобелена». В качестве основного компонента композиций использован антипирен ОФЭ – олигомерный фосфатный эфир. С целью расширения спектра эксплуатационных свойств гобеленовой ткани в одну из композиций вводили кремнийорганические полимеры (кремнийорганическую смолу марки RUT 3010), в другую – диоксид кремния марки «Ковелос». Следует отметить, что после обработки потребительские свойства материала (мягкость, драпируемость, цветовые характеристики) не ухудшились, что является немаловажным фактом.

Испытания обработанных образцов хлопкополиэфирного «гобелена» проводились по методике ГОСТ Р 53294-2009 «Материалы текстильные. Постельные принадлежности. Мягкие элементы мебели. Шторы. Занавеси. Методы испытаний на воспламеняемость». Результаты испытаний показали, что материалы, обработанные предложенными композициями, можно классифицировать как трудновоспламеняемые.

С целью объяснения полученных результатов с точки зрения физико-химических процессов, протекающих в обработанных материалах при воздействии высоких температур, был проведен термогравиметрический анализ образцов хлопкополиэфирного «гобелена», который показал, что для огнезащищенных материалов характерна сглаженность пиков дифференциальных термогравиметрических кривых (ДТГ) термодеструкции. Это связано с более плавной потерей массы образцов, поскольку с ростом температуры начинает «срабатывать» огнезащитный состав и, в первую очередь, разлагается сам антипирен, защищая текстильный материал от воздействия высоких температур. Отмечено, что обработка ткани огнезащитными составами приводит к увеличению количества зольного остатка, в котором помимо кокса содержатся продукты окисления кремния, приводящие к увеличению его массы по сравнению с коксовым остатком необработанного «гобелена».

При испытаниях огнезащищенных образцов, пропитанных составами с кремнийсодержащими добавками, на воспламеняемость в соответствии с ГОСТ Р 50810-95 «Пожарная опасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация» также наблюдалось сокращение времени самостоятельного горения. Таким образом, данные, полученные различными методами, полностью согласуются между собой. Декоративные ткани, обработанные предложенными составами, классифицируются как трудновоспламеняемые.

Далее были определены значения кислородного индекса и скорости распространения пламени для хлопкополиэфирного «гобелена» по ГОСТ 12.1.044-2018 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения». Полученные в ходе исследования данные приведены в таблице 1. Наибольшие значения скорости

распространения пламени наблюдались в случае обработки «гобелена» водным раствором ОФЭ. Минимальная скорость распространения пламени на огнезащищенной ткани имела место при использовании ОФЭ в сочетании с кремнийорганической смолой (КОС). Возможно, это связано с тем, что КОС при температуре горения материала образует в волокне расплав, который является «барьером» между волокнообразующими полимерами и кислородом воздуха, тем самым сдерживая процесс.

Таблица 1 – Значения кислородного индекса (КИ) и скорости распространения пламени горизонтально расположенных образцов хлопкополиэфирного «гобелена»

Образцы хлопкополиэфирного «гобелена»	КИ, об. %	Скорость распространения пламени, мм/с
исходный	20,5	3,4
обработанный раствором ОФЭ с КОС марки RUT 3010	23,9	1,9
обработанный раствором ОФЭ с диоксидом кремния марки «Ковелос»	23,4	2,3
обработанный раствором ОФЭ	23,1	2,5

Для «гобелена» из хлопкового волокна были разработаны рецептуры огнезащитных композиций на основе азотно-фосфорсодержащего метилолированного производного продукта конденсации диметилфосфита с акриламидом (АФМП) с аналогичными добавками (КОС и «Ковелос»). Исследования указанных образцов проводили по методикам тех же ГОСТов и с использованием метода термогравиметрического анализа. Полученные материалы классифицированы как трудновоспламеняемые.

В разделе 3.2 «Разработка огнезащитных композиций для пропитки тканей технического назначения и исследование свойств полученных материалов» представлены результаты исследований по определению минимальных концентраций препаратов ОФЭ и АФМП для тканей специального назначения из хлопкового волокна с учетом вида переплетения и поверхностной плотности материалов (на примере «саржи» и «авизента»). Показано, что концентрацию ОФЭ для «авизента» можно уменьшить до 200 г/л, для «саржи» – до 300 г/л, концентрацию АФМП для придания огнезащитных свойств тканям обоих артикулов – до 300 г/л. Отмечено, что образцы саржи, обработанные составом с концентрацией ОФЭ 300 г/л, и авизента, обработанного составом с концентрацией ОФЭ 200 г/л, имеют одинаковые значения КИ, равные 24,5%, что позволяет обеспечить требуемый уровень огнестойкости материалов в соответствии с ГОСТ 11209-2014.

Раздел 3.3 «Исследование влияния огнезащитной обработки на теплофизические характеристики текстильных материалов» посвящен оценке влияния различного вида огнезащитной отделки текстиля на теплофизические свойства текстильных материалов, которые, в частности, характеризуют их способность защищать человека от воздействия высоких температур. Для проведения исследования использовались целлюлозосодержащие и смесовые ткани: «гобелен», состоящий из 100 % хлопкового волокна (ХВ), с металлизированной нитью; «бресент», состоящий из 55 % льняного волокна (ЛНВ) и 45 % ХВ; «саржа» отваренная, состоящая из 80 % ХВ и 20 % полиэфирного волокна (ПЭ); «саржа» суровая, состоящая из 65 % ХВ и 35 % ПЭ. Нанесенные огнезащитные составы: растворы АФМП и Тезаграна-Хл.

Анализ полученных данных показал, что зависимость экранирующих свойств исследованных тканей от удельной мощности падающего потока теплового излучения имеет нелинейный характер. Отмечено, что огнезащитная обработка растворами

антипиренов заметно изменяет теплофизические свойства тканей. При этом изменение свойств зависит не только от типа ткани и состава пропитки, но и от интенсивности теплового излучения. Так, например, пропитка «гобелена» всеми тремя указанными в разделе 3.1 настоящего диссертационного исследования составами обеспечивает повышение экранирующих свойств до удельной мощности падающего потока излучения в 350 Вт/м^2 . При большей интенсивности падающего потока излучения экранирующие свойства гобелена с огнезащитной пропиткой уменьшаются, а при достижении удельной мощности падающего потока излучения примерно в 600 Вт/м^2 снова улучшаются. Очевидно, что предложенный метод оценки экранирующих свойств образцов текстильных материалов с нанесенной объемным способом огнезащитой может быть только условным и требует дальнейшей научной проработки. Однако неоспоримым является факт, что экранирующие свойства зависят не только от состава огнезащитной композиции, но и от состава и структуры самого текстильного материала. На основе регрессионного анализа полученных экспериментальных данных разработаны математические модели взаимосвязи теплофизических параметров тканей (W – удельной мощности теплового потока, «прошедшего» через ткань; k – коэффициента теплопередачи; η – коэффициента экранирования теплового излучения) для различных видов материалов.

Во второй части раздела представлены результаты экспериментов, направленных на оценку возможности использования «Измерителя теплопроводности ИПТ-МГ4-250» для исследования теплофизических характеристик текстильных тканей. Анализ результатов, полученных для образцов «брезента», льняной ткани, «авизента», «саржи» и «гобелена», показал, что величины коэффициентов теплопроводности и теплового сопротивления сопоставимы с теплофизическими параметрами, приведёнными в известной литературе и полученными с помощью других устройств, что свидетельствует о возможности применения прибора ИПТ-МГ4-250 для измерения теплофизических характеристик, а именно, коэффициента теплопроводности и теплового сопротивления текстильных материалов.

В разделе 3.4 «Проблемные вопросы придания целлюлозосодержащим текстильным материалам огнезащитных свойств методом объемного нанесения» рассматривается процесс фиксации антипирена АФМП на хлопкольном полотне «брезент» с поверхностной плотностью 380 г/м^2 . Отмечено, что АФМП как фосфорсодержащий препарат замедляет термолиз материала: при разложении препарата под воздействием температуры на поверхности волокна образуется слой расплава, и одновременно с этим происходит выделение негорючих газов. Наличие в составе молекул препарата метилольных групп – CH_2OH позволяет сделать вывод, что при определенных условиях АФМП способен ковалентно фиксироваться целлюлозным волокном, то есть обеспечивать высокую устойчивость отделки, но, наряду с этим, в процессе термофиксации на ткани и при эксплуатации материала может разлагаться с выделением свободного формальдегида.

В работе проведен количественный анализ формальдегида на ткани, пропитанной раствором АФМП. Показано, что концентрация формальдегида на ткани на этапе термофиксации огнезащитного препарата в 120 раз превышала нормативные значения, приведенные в Эко-Текс 100. Остаточное количество формальдегида на готовой ткани после ее промывки соответствовало требованиям нормативного документа.

Одним из путей «ухода» от использования формальдегидсодержащих препаратов является поверхностное нанесение на ткань антипиренов в составе полимерной композиции, например, ПВХ-пластизоля с различными антипиреирующими добавками,

после желирования которого на поверхности текстильного полотна будет образовываться прочный полимерный слой, обеспечивающий достаточную степень огнезащиты. Начало указанному направлению было положено на кафедре пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») ИПСА ГПС МЧС России.

В разделе 3.5 «Исследование влияния наполнителей полимерной композиции на эффективность огнезащиты тканей технического назначения» рассмотрено влияние различных наполнителей на свойства композиционных материалов на основе поливинилхлорида (ПВХ), нанесенных на хлопкольняной «брезент» и хлопкополиэфирную «саржу».

Для поверхностного нанесения огнезащитной композиции в качестве «базы» выбран ПВХ-пластизоль, в который вводили различные наполнители. Основой разработанных композиционных материалов являлась полимерная матрица, состоящая из 60–70 массовых частей эмульсионного ПВХ и 30–40 массовых частей диоктилфталата (ДОФ).

На хлопкольняной «брезент» были нанесены полимерные композиции, в которых в качестве наполнителей использовались диоксид титана и шунгит. Для проведения исследования было получено пять образцов материалов: образец № 1 – «брезент» без покрытия; образец № 2 – «брезент», покрытый ПВХ-составом; образец № 3 – «брезент», покрытый композиционным материалом ПВХ + диоксид титана (2 мас. ч. диоксида титана); образец № 4 – «брезент», покрытый композиционным материалом ПВХ + шунгит (2 мас. ч. шунгита); образец № 5 – «брезент», покрытый композиционным материалом ПВХ + диоксид титана + шунгит (1 мас. ч. диоксида титана + 1 мас. ч. шунгита).

Для придания композиционному материалу заданных свойств важна равномерность распределения частиц наполнителя в матрице, которую оценивали с использованием элементного картирования. Исследование морфологии поверхности и элементного состава поверхности исходного «брезента» и образцов с ПВХ-покрытиями проводили с использованием системы энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС Thermo Fisher Scientific) для микроскопа Quattro S. Данные элементного состава, полученные с использованием системы энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Данные элементного состава защитных покрытий на «брезенте», полученные с использованием системы энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии

Элемент	Содержание элемента	Вид покрытия на образце				
		без покры- тия	ПВХ	ПВХ + TiO ₂	ПВХ + шунгит	ПВХ + TiO ₂ + шунгит
Номер образца		1	2	3	4	5
C	Атом. %	39,1	56,1	59,2	59,5	56,7
	Масс. %	32,5	38,6	42,3	44,3	39,3
O	Атом. %	48,3	24,7	24,3	27,3	24,3
	Масс. %	53,5	22,6	23,2	27,1	22,4
N	Атом. %	11,1	-	-	-	-
	Масс. %	10,8	-	-	-	-
Cl	Атом. %	-	18,0	15,2	12,3	17,5
	Масс. %	-	36,7	32,0	27,0	35,8
Ti	Атом. %	-	-	0,4	-	0,2
	Масс. %	-	-	1,1	-	0,6
Прочие элементы		S, Mg, K, Na, Ca	Pb, Si	S, Si	Si, Al, Ca	Si

При анализе данных таблицы 2 обращает на себя внимание факт увеличения массовой доли углерода в композиционном материале с шунгитом в качестве наполнителя. Это связано с тем, что шунгит представляет собой природный композит, имеющий углеродную и силикатную составляющие. Он состоит из глобулярного графитоподобного углерода с вкрапленными частицами оксида кремния, преимущественно кварца, и алюмосиликатов. В углеродных глобулах распределены вода, микроэлементы, фуллерены в форме C_{60} и C_{70} и нанотрубки. Анализ изображений, полученных с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ-изображений), на которых представлены результаты элементного картирования поверхности «брезента», покрытого композиционными материалами, и данных таблицы 2 показал также наличие соединений кремния как в составе пленки исходного ПВХ, так и в ПВХ-пленках с добавлением диоксида титана и шунгита. Следует отметить, что массовое содержание обнаруженного титана коррелирует с количеством диоксида титана, введенного в ПВХ-матрицу.

Визуальный анализ СЭМ-изображений позволяет судить о равномерности распределения по поверхности брезента частиц наполнителей, введенных в ПВХ-матрицу. Однако априори нельзя сделать вывод об эффективности их действия в качестве антипиренирующих добавок. Поэтому были проведены испытания, характеризующие способность полученных образцов сдерживать тепловой поток. Результаты исследований показали, что максимально сдерживал тепловой поток образец с ПВХ-покрытием, содержащим наполнители в виде смеси диоксида титана и шунгита.

На следующем этапе оценена устойчивость полученных образцов брезента к прожиганию с использованием адаптированной для двухслойных текстильных материалов с пленочным покрытием методики ГОСТ 11209-2014 «Ткани для специальной одежды. Общие технические требования. Методы испытаний». Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты исследования огнезащитных свойств «брезента» в соответствии с методикой ГОСТ Р 11209-2014, адаптированной для двухслойных материалов с пленочным покрытием

Характеристика	Номер образца				
	1	2	3	4	5
Время полного прожигания образца, с	20±1	55±1	45±1	153±1	58±1

Анализ данных таблицы 3 показал, что максимальной устойчивостью к огневому воздействию обладал образец с нанесенной полимерной композицией, содержащей шунгит. Данный факт можно объяснить следующим образом. Шунгит, высвобождаясь из расплавленного слоя ПВХ, претерпевает структурные изменения под воздействием открытого пламени и образует барьер из кокса, который обеспечивает двойную защиту ткани – и от внешнего источника тепла (пламени), и от поступления к ткани кислорода воздуха. Снижение устойчивости к открытому пламени образца 5 по сравнению с образцом 4 можно объяснить тем, что в композиционном материале, которым покрыт образец 5, содержание шунгита в массовых частях в 2 раза меньше, чем в композиционном материале, которым покрыт образец 4. Следовательно, образующийся барьер из кокса имеет недостаточную толщину, чтобы защитить ткань от прогорания. Полученные экспериментальные данные коррелируют с данными термического анализа, полученными для образцов брезента с нанесенными ПВХ-покрытиями.

Следующая серия разработанных композиционных материалов с огнезащитными свойствами была апробирована на хлопкополиэфирной суровой «сарже», содержащей 65 % ХВ и 35% ПЭ и имеющей поверхностную плотность 240 г/м². Для исследования

были подготовлены следующие образцы: образец 1 – исходная «саржа», образец 2 – «саржа», покрытая ПВХ-матрицей, образцы с 3 по 8 – «саржа», покрытая композиционным материалом с наполнителем. В образце 3 в качестве наполнителя использовался политетрафторэтилен, в образце 4 – диоксид титана, в образце 5 – карбамид, в образце 6 – шунгит, в образце 7 – оксид цинка, в образце 8 – гидроортофосфат аммония. Разработанные композиционные материалы имели состав: 60 мас. ч. ПВХ + 40 мас. ч. ДОФ + 15 мас. ч. наполнителя.

Испытания по методике ГОСТ Р 11209-2014, адаптированной для текстильных материалов с полимерным покрытием, показали, что образцы саржи 6 и 8 демонстрируют наибольшую устойчивость к горению. На образце 6 открытое пламя затухало в течение 42 секунд, на образце 8 – в течение 45 секунд. Изнаночная сторона полученных материалов не прогорала, сохраняя свою целостность, при этом оба композиционных материала, содержащих шунгит (образец 6) и гидроортофосфат аммония (образец 8), обладали интумесцентными свойствами. С использованием разработанной методики оценки огнезащитных интумесцентных свойств рассчитан коэффициент вспучивания защитного покрытия с шунгитом, который составил 96–100.

На рисунке 1 приведен вид образца «саржи» с композиционным покрытием, содержащим шунгит, после проведения испытаний.



Рисунок 1 – Фотография образца «саржи», покрытого композиционным материалом с шунгитом в качестве наполнителя (образец 6), после испытаний по разработанной методике оценки интумесцентных свойств полимерных покрытий тканей специального назначения

Для объяснения полученных экспериментальных данных использован метод термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией. Данные термического анализа получены в кислородно-азотной смеси, имитирующей воздушную среду. Все низкомолекулярные продукты, приведенные на графиках, идентифицировались по их молекулярной массе.

В качестве примера на рисунках 2 и 3 приведены результаты термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией, для образца «саржи» с ПВХ-покрытием без наполнителей, а также образца «саржи», покрытой композиционным материалом с шунгитом в качестве наполнителя.

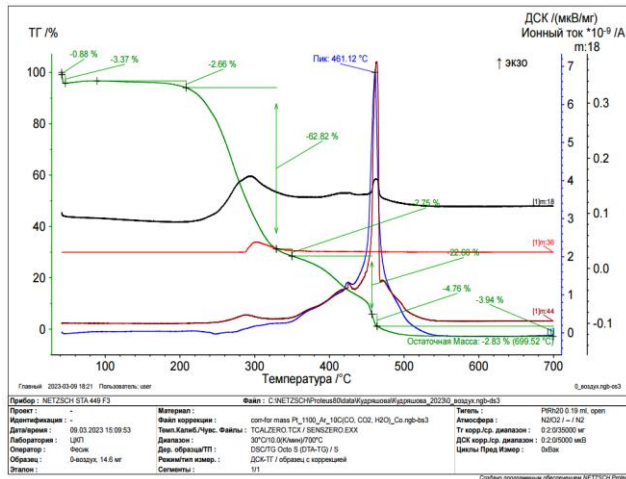


Рисунок 2 – Результаты термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией, для образца «саржи» с ПВХ-покрытием

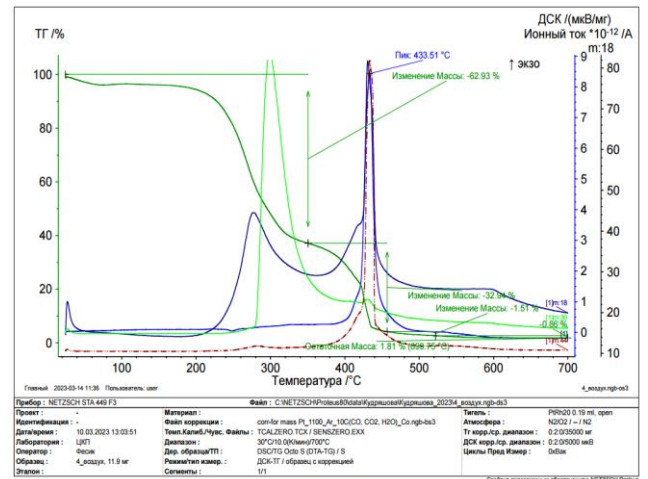


Рисунок 3 – Результаты термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией, для образца «саржи», покрытого композиционным материалом с шунгитом

На основе анализа полученных экспериментальных данных установлено, что наиболее эффективными с точки зрения придания антипирлирующих свойств являются наполнители, способствующие выделению воды при термическом воздействии на материал. Наличие воды приводит к усилению процесса гидротермальной деструкции ПВХ, которая стимулирует активное образование карбонизированного слоя, защищающего ткань от действия открытого пламени и доступа кислорода воздуха.

На основании проведенных исследований разработан интумесцентный огнезащитный состав на основе ПВХ с добавлением шунгита и определены оптимальные соотношения компонентов, обеспечивающих наилучшую защиту целлюлозного тканевого материала от воздействия открытого пламени.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы:

1. На основании проведенного анализа имеющихся в научной литературе данных по пожарной опасности целлюлозосодержащих и смесовых тканей, методов оценки их пожароопасных свойств определены основные направления совершенствования технологических процессов получения огнезащитных текстильных материалов декоративного и технического назначения.

2. Разработаны составы технологических растворов на основе антипиренов АФМП и ОФЭ для придания тканям декоративного назначения улучшенных огнезащитных свойств за счет введения в пропиточный раствор КОС в количестве 50 мл/л, при этом время загорания с поверхности увеличивается в среднем с 2 до 4 с по сравнению с контрольными образцами, время самостоятельного горения уменьшается с 7 до 5 с, длина обугленного участка уменьшается в 2 раза. Дано научное обоснование механизма действия вводимых кремнийсодержащих добавок.

Решена задача снижения концентрации антипиренов АФМП и ОФЭ в пропиточных растворах, применяемых для обработки тканей специального назначения («авизент» и «саржа»), до 200–300 г/л без ухудшения их огнезащитных свойств. При указанных концентрациях кислородный индекс для тканей составил 26,5 об. % и 24,5 об. %, соответственно.

Показано, что наличие огнезащитной обработки тканей существенно влияет на их теплофизические свойства. На основе полученных экспериментальных данных

разработаны математические модели взаимосвязи теплофизических параметров тканей для различных видов материалов.

Установлено, что термофиксация препарата АФМП на целлюлозосодержащих тканях сопровождается выделением свободного формальдегида. В связи с этим предложен принципиально иной способ огнезащиты тканей путем поверхностного нанесения на полотно антипирюющих составов.

3. Теоретически и экспериментально обоснован выбор наиболее эффективных антипиренов, вводимых в состав пленочного покрытия. Разработаны рецептуры полимерных композиций на основе ПВХ для поверхностного нанесения на ткани технического назначения; получены образцы двухслойных материалов, состоящих из тканой основы и разработанных композиционных пленочных покрытий.

4. Адаптирована стандартная методика испытаний тканей специального назначения на огнестойкость применительно к двухслойным текстильным материалам с пленочным покрытием.

5. Разработана методика определения огнезащитных интумесцентных свойств двухслойных текстильных материалов с пленочным покрытием.

6. С использованием метода термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией, получены данные о продуктах термоллиза текстильных материалов с пленочным покрытием; с использованием метода сканирующей электронной микроскопии, совмещенной с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией, исследованы морфология и элементный состав поверхности образцов полученных двухслойных материалов.

Оценена способность ПВХ-покрытий с различными наполнителями к сдерживанию теплового потока. Показано, что наилучшими свойствами обладает ткань с ПВХ-покрытием, содержащим смесь диоксида титана и шунгита состава: 60–70 мас. ч. ПВХ + 30–40 мас. ч. ДОФ + 1 мас. ч. диоксида титана + 1 масс. ч. шунгита.

7. Проведен анализ влияния наполнителей, вводимых в полимерную ПВХ-композицию, на эффективность огнезащиты целлюлозосодержащих тканей и дано научное обоснование механизмов антипирюющего действия выбранных добавок.

8. На основании проведенных исследований разработан интумесцентный огнезащитный состав для целлюлозосодержащих тканей технического назначения с оптимальными соотношениями компонентов: 10 мас. ч. ПВХ + 7 мас. ч. ДОФ + 2 мас. ч. шунгита, имеющий коэффициент вспучивания 96–100.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы. Актуальными остаются исследования в направлении развития теории и способов создания текстильных материалов с огнезащитными покрытиями на основе различных высокомолекулярных соединений и наполнителей с антипирюющими свойствами, а также более глубокое изучение теплофизических свойств текстильных материалов, обработанных антипиренами.

Список публикаций автора по теме диссертационной работы

Публикации в журналах из перечня ВАК РФ:

1. Сырбу С.А. Проблемные вопросы придания текстильным материалам специальных защитных свойств / С.А. Сырбу, О.Г. Циркина, А.Х. Салихова, В.Г. Спиридонова, Т.В. Фролова, **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)** // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2(47). С. 134–141.

2. Сырбу С.А. Разработка огнезащитных композиций для тканей декоративного и специального назначения и исследование их пожароопасных свойств / С.А. Сырбу,

А.Х. Салихова, О.Г. Циркина, В.Г. Спиридонова, **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)**, Е.В. Барина // Технологии техносферной безопасности. <https://academygps.ru/science-and-technology/scientific-journals-and-publications/technosphere-security-technologies-magazine/>. 2024. № 3(105). С. 115–129.

3. Салихова А.Х. Проблемные вопросы нормирования показателей пожарной опасности текстильных материалов / А.Х. Салихова, О.Г. Циркина, С.А. Сырбу, **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)** // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 3(52). С. 62–70.

4. **Кузьмина (Колесникова) Н.Н.** Экологический аспект придания текстильным материалам огнезащитных свойств / **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)**, О.Г. Циркина // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 1(50). С. 65–75.

Научные публикации в изданиях, входящих в международные системы цитирования:

5. Циркина О.Г. Разработка огнезащитных композиций для обивочных мебельных тканей / О.Г. Циркина, С.А. Сырбу, В.Г. Спиридонова, **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)**, А.Х. Салихова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1(409). С. 122–130.

6. Циркина О.Г. Разработка полимерных композиций для снижения горючести тканей технического назначения / О.Г. Циркина, С.А. Сырбу, Н.А. Торшинина, В.Г. Спиридонова, **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)**, А.Х. Салихова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 4(412). С. 136–146.

7. Краснов А.А. Определения теплофизических характеристик тканых материалов с использованием измерителя теплопроводности / А.А. Краснов, С.А. Сырбу, О.Г. Циркина, **Н.Н. Колесникова**, А.Х. Салихова, А.М. Баусов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 6(414). С. 159–163.

8. Сырбу С.А. Влияние наполнителей ПВХ-покрытия целлюлозосодержащих текстильных материалов на эффективность их огнезащиты / С.А. Сырбу, О.Г. Циркина, **Н.Н. Колесникова**, В.Г. Спиридонова, А.Х. Салихова, А.Н. Клушин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 2(416). С. 181–195.

9. Краснов А.А. Оценка влияния огнезащитной обработки текстильных материалов на способность экранировать тепловое излучение / А.А. Краснов, С.А. Сырбу, О.Г. Циркина, **Н.Н. Колесникова**, А.Н. Клушин, А.Г. Наумов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 5(419). С. 231–238.

Патент:

10. Пат. 2836432 С1 (RU), Российская Федерация, МПК D06N 3/06, C09K 21/14. Интумесцентный огнезащитный состав для тканей из целлюлозных волокон / И.А. Малый, И.Ю. Шарбанова, О.Г. Циркина, **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)**, С.А. Сырбу, В.Г. Спиридонова, А.Х. Салихова, А.Ф. Чудакова; опубл. 14.03.2025, бюл. № 8.

Публикации в других научных изданиях:

11. Сырбу С.А. Возможности использования соединений кремния в огнезащитных составах для декоративных тканей / С.А. Сырбу, А.Х. Салихова, О.Г. Циркина, **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)**, З.А. Кудряшова, М.Р. Киселев // Актуальные вопросы естествознания: сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2022. С. 199–207.

12. Сырбу С.А. Разработка огнезащитного состава для текстильного материала боевой одежды пожарного / С.А. Сырбу, О.Г. Циркина, А.Х. Салихова, З.А. Кудряшова, **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)** // Пожарная и аварийная безопасность: сборник

материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-й годовщине образования гражданской обороны. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2022. С. 208–213.

13. **Кузьмина (Колесникова) Н.Н.** Проблемные вопросы химической отделки текстиля в процессе его огнезащиты / **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)**, О.Г. Циркина // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2024. С. 63–71.

14. **Кузьмина (Колесникова) Н.Н.** Огнезащита целлюлозосодержащих тканей: проблемные вопросы отделки / **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)**, О.Г. Циркина, И.Ю. Шарабанова // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции молодых ученых. Минск: УГЗ, 2024. С. 37–39.

15. **Кузьмина (Колесникова) Н.Н.** Формальдегидсодержащие антипирены в отделке целлюлозосодержащих тканей / **Н.Н. Кузьмина (Колесникова)**, О.Г. Циркина // Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы: сборник материалов Национальной молодежной научно-технической конференции. Иваново: ИВГПУ, 2024. С. 511–512.

16. **Колесникова Н.Н.** Применение огнезащитных составов на основе ПВХ для текстильных материалов из целлюлозных волокон / **Н.Н. Колесникова**, О.Г. Циркина, В.Г. Спиридонова // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2025. С. 173–177.

17. **Владимиров Н.В.** Подходы к разработке огнезащитных покрытий текстильных материалов / Н.В. Владимиров, **Н.Н. Колесникова** // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной празднованию 60-летия Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2026. С. 27–31.

18. **Колесникова Н.Н.** Механизмы антипиряющего действия наполнителей полимерных композиций на основе ПВХ / **Н.Н. Колесникова**, О.Г. Циркина // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной празднованию 60-летия Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2026. С. 69–73.