

На правах рукописи

Спир.

Спиридонова Вероника Гербертовна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРООПАСНЫХ СВОЙСТВ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИХ ОЦЕНКИ**

2.6.18. Охрана труда, пожарная и промышленная безопасность

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Иваново – 2022

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

доктор технических наук, доцент
Циркина Ольга Германовна

Официальные оппоненты

Вознесенский Эмиль Фаатович
доктор технических наук, доцент,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Казанский национальный
исследовательский технологический
университет», кафедра плазмохимических и
нанотехнологий высокомолекулярных
материалов, заведующий кафедрой

Владимирцева Елена Львовна

доктор технических наук, доцент,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Ивановский государственный
химико-технологический университет», кафедра
химической технологии волокнистых
материалов, профессор

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Костромской государственный
университет»

Защита состоится 22 декабря 2022 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета 04.2.005.01 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 «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета 04.2.005.01,
кандидат технических наук, доцент

Колбашов Михаил Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Обеспечение пожарной безопасности объектов защиты является одной из важнейших задач, решаемых на всех уровнях государственного управления. Ежегодная статистика пожаров свидетельствует о том, что разработка, создание и применение пожаробезопасных материалов во всех сферах деятельности человека должны находиться в числе приоритетных вопросов. В настоящее время совершенствуется огнезащита для деревянных и металлических строительных конструкций, создаются негорючие изоляционные материалы. При этом тканям и текстильным материалам уделяется меньше внимания.

Одним из важнейших критериев, определяющих возможность применения текстиля во многих отраслях промышленности, является его горючесть. Известно, что текстильные материалы пожароопасны. Большинство выпускаемых и используемых текстильных материалов характеризуются легкой воспламеняемостью и высокой скоростью распространения пламени. В связи с этим изучение пожароопасных свойств текстильных материалов и изделий с учетом их свойств и структурных особенностей, а также совершенствование методов оценки пожароопасных свойств тканей является **актуальной задачей**, направленной на разработку мероприятий по снижению риска возникновения пожара в жилых и общественных зданиях и на предприятиях текстильного производства.

Степень разработанности темы. Тема исследования пожароопасных свойств текстильных материалов и снижения их пожарной опасности рассмотрена в работах ряда отечественных и зарубежных авторов. Работы А.Р. Норрочка представляют собой обобщенные данные по результатам исследования воспламеняемости необработанных и огнезащищенных текстильных материалов, полученные группой ученых. Исследованием процесса воспламенения тканей занимаются ученые В. Miller, J.R. Martin. Разработкой экологичных антипиренов для тканей занимаются S. Basak, Y. Chena, N.F. Attiaa. Среди отечественных авторов большой вклад в вопрос исследования пожароопасных свойств текстильных материалов внесли Еремина Т.Ю., Еналеев Р.Ш., Красина И.В., Сабирзянова Р.Н., Болодьян Г.И., Чистов Ю.С., Бешпапошникова В.И., Загоруйко М.В., Хайруллина Л.И. Вопросы огнезащиты текстильных материалов освещены в работах Константиновой Н.И., Зубковой Н.С., Морыганова А.П., Коломейцевой Э.А., Одинцовой О.И., Владимирцевой Е.Л., Болодьян Г.И., Микрюковой О.Н. Анализом нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности текстильных материалов занимался заместитель директора по научной работе «Научно-производственной фирмы «Экохимтехнологии» Самохвалов Е.

Цель и задачи исследования. Целью работы является исследование пожароопасных свойств целлюлозосодержащих текстильных материалов с учетом их структурных особенностей, вида и способа нанесения отделки, проводимое с использованием установленных нормативными документами методик и

дополнительно разработанных методов, для оценки поведения тканей в условиях термического нагрева и пламенного воздействия.

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

1) проанализировать основные свойства и систематизировать имеющиеся в научной литературе данные, характеризующие текстильные материалы с точки зрения пожарной опасности;

2) провести анализ существующих средств и способов снижения пожарной опасности тканей и изделий из них;

3) проанализировать нормативные документы в области пожарной безопасности, содержащие методики оценки пожароопасных свойств текстильных материалов различного назначения, рассмотреть современные методы исследования;

4) исследовать пожароопасные свойства текстильных материалов из натуральных целлюлозных волокон без огнезащитной обработки и с нанесенными огнезащитными составами с помощью гостированных методик определения воспламеняемости, огнестойкости, кислородного индекса, а также с использованием методов термического анализа;

5) разработать и экспериментально обосновать эффективность предлагаемых огнезащитных составов для тканей технического назначения из природных целлюлозных волокон;

6) разработать методы оценки пожароопасных свойств, позволяющие проводить сравнительный анализ образцов текстильных материалов с различными видами обработок и способами их нанесения;

7) создать структуру и основу базы данных по пожароопасным свойствам текстильных материалов различного состава и вида отделки.

Научная новизна:

1. Разработаны методы оценки пожароопасных свойств текстильных материалов, позволяющие предварительно охарактеризовать их горючесть, а также провести сравнительный анализ эффективности огнезащитной отделки вне зависимости от способа нанесения.

2. Предложена рецептура вспучивающегося огнезащитного состава и разработан защитный состав, обеспечивающий одновременное придание материалам водостойкости и устойчивости к огневому воздействию, для тканей технического назначения из природных целлюлозных волокон.

3. На основании полученных экспериментальных данных расширен комплекс показателей пожароопасных свойств текстильных материалов из хлопковых и льняных волокон, необходимый для анализа поведения тканей в условиях пожара (установление места возникновения пожара, путей его распространения, решения прочих технических вопросов).

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Проведена оценка пожароопасных свойств текстильных материалов из натуральных целлюлозных волокон с использованием стандартных и дополнительно разработанных методов исследования, позволившая получить

характеристики поведения тканей в условиях термического и огневого воздействия.

2. Получены зависимости пожароопасных свойств тканей от их состава и поверхностной плотности при термическом нагреве и пламенном горении.

3. Показана эффективность защитного состава, разработанного на основе природного полимера и поливинилхлорида, для тканей технического назначения из природной целлюлозы, придающего комплекс водо- и огнезащитных свойств.

4. Расширена база данных по пожароопасным характеристикам текстильных материалов различного назначения с целью обеспечения пожарной безопасности объектов защиты.

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

Методология и методы исследования. В работе обобщены, систематизированы и проанализированы имеющиеся в литературе данные по теме исследования. На основании этого сформулирована проблема, предложены пути ее решения и проведена проверка достоверности полученных результатов с использованием методов теоретического и эмпирического уровня исследований.

При выполнении работы использовались современные физические и физико-химические методы исследования и математические методы обработки полученных данных: методики определения воспламеняемости и огнестойкости материалов, кислородного индекса, термического анализа, самостоятельно разработанные методы определения пожароопасных свойств тканей. Обработка результатов измерений проводилась методами математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретическое обоснование необходимости применения комплекса методов оценки пожароопасных свойств текстильных материалов различного назначения.

2. Полученные данные по пожароопасным характеристикам и зависимости пожароопасных свойств тканей от их состава и поверхностной плотности при пламенном горении и термическом нагреве.

3. Разработанный вспучивающийся защитный состав для тканей технического назначения из натуральных целлюлозных волокон.

4. Разработанные методы оценки пожароопасных свойств текстильных материалов.

Степень достоверности полученных результатов. Исследование проведено с использованием современных физических, физико-химических и химических методов анализа и математической обработки данных. Достоверность результатов подтверждена взаимной согласованностью данных, полученных при использовании обозначенного комплекса методов исследования.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на Международных научно-практических конференциях «Пожарная и аварийная безопасность», Иваново, 2020, 2021 гг.; «Современные пожаробезопасные

материалы и технологии», Иваново, 2018, 2019, 2020, 2021 гг.; «Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения», Санкт-Петербург, 2020 г.; «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы», Минск, 2021 г.; Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2020», Москва, 2020 г.; Международной конференции и выставке по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO / CIS Offshore 2021), Санкт-Петербург, 2021 г.; Международном научно-техническом симпозиуме, посвященном 110-летию А.Н. Плановского (ISTS «EESTE-2021») «Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности», Москва, 2021 г.; Междисциплинарной научно-практической конференции с международным участием «Наука как призвание: теория и практика», Москва, 2020 г.; Межвузовской (с международным участием) молодежной научно-технической конференции «Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы» (ПОИСК), Иваново, 2018, 2020, 2021, 2022 гг.; Всероссийских научно-практических конференциях «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов», Иваново, 2019, 2020, 2021, 2022 гг.; «Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций», Железногорск, 2019 г.; «Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности», Железногорск, 2021 г.; Научно-практической конференции «Исследование вопросов радиационной, химической и биологической защиты в мирное и военное время», Кострома, 2020 г.; Научной сессии молодых исследователей Национальной научно-практической конференции молодых ученых, специалистов организаций «Техносферная безопасность», Тольятти, 2021 г.; Юбилейном X форуме «Школа молодых ученых и специалистов МЧС России», Санкт-Петербург, 2020 г.

Личный вклад автора заключается в выборе направления и методов исследования, получении, научном анализе, обобщении и интерпретации результатов эксперимента. Экспериментальные исследования, разработка оригинальных методов оценки пожароопасных свойств текстильных материалов и технологических составов 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 27 статьях, 4 тезисах докладов по теме диссертации, среди которых 6 статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных действующим перечнем ВАК (в том числе в международной базе данных Scopus – 2 статьи). Получено положительное решение о выдаче Патента РФ на изобретение «Защитный состав для тканей технического назначения» № 2021127367 от 11.05.2022 г. Подана заявка на государственную регистрацию базы данных «Пожароопасные свойства текстильных материалов из хлопка и льна» № 2022621958/69 от 04.08.2022 г.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, литературного обзора, методической части, экспериментальной части, заключения, списка использованной литературы из 167 наименований, приложений. Основная часть диссертации содержит 163 страницы машинописного текста, в число которых входят 56 рисунков и 28 таблиц.

Тема диссертационной работы соответствует п. 5 «Разработка и совершенствование методов оценки пожаровзрывобезопасности веществ и материалов» и п. 7 «Исследование взаимосвязи физико-химических параметров с пожарной опасностью веществ и материалов» паспорта специальности 2.6.18. Охрана труда, пожарная и промышленная безопасность.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Анализ показателей и методов оценки пожарной опасности текстильных материалов», состоящей из 4 разделов, приведены основные пожароопасные свойства текстильных материалов, методы их исследования и способы снижения пожарной опасности тканей и изделий из них. Рассмотрено нормативное регулирование в области оценки пожароопасных свойств текстильных материалов.

Установлено, что приведенные в справочной литературе данные по пожароопасным свойствам текстильных материалов из целлюлозных волокон не дают полного представления о поведении тканей в условиях термического нагрева и огневого воздействия.

Отмечается, что несмотря на широкий спектр выпускаемых огнезащитных составов для текстильных материалов, применение ряда антипиренов ограничено из-за выделения токсичных продуктов горения, неустойчивости к внешним воздействиям, необходимости использования сложного и дорогостоящего оборудования для нанесения состава.

Методы испытаний, закрепленные в нормативных документах, не позволяют получить количественные характеристики показателей в сравниваемых численных величинах, недостаточны при оценке пожароопасных свойств тканей с нанесенной огнезащитой и не позволяют выбрать наиболее эффективный огнезащитный состав. Указанные недостатки могут быть устранены путем применения современных методов исследования, используемых для широкого спектра веществ и материалов, и разработки дополнительных методов оценки пожароопасных свойств текстильных материалов.

На основании литературного обзора сделан вывод, что для исследования пожароопасных свойств текстильных материалов вне зависимости от вида отделки, наличия огнезащиты и способа ее нанесения должен применяться комплексный подход: разработка новых методов оценки, применение которых допускает нанесение огнезащитных составов поверхностным способом; совместное использование стандартных методик и современных методов

исследования; создание структуры базы данных по пожароопасным свойствам текстильных материалов и ее наполнение на основе экспериментально полученных показателей.

Во второй главе приводятся методы исследования, использованные в работе для оценки пожароопасных свойств текстильных материалов: описаны методики проведения испытаний на воспламеняемость, огнестойкость и определения кислородного индекса; охарактеризованы методы термического анализа, приведены разработанные методы оценки. Для расчета величины кислородного индекса для тканей из природных целлюлозных волокон в зависимости от поверхностной плотности использован регрессионный анализ.

В третьей главе приведены результаты оценки пожароопасных свойств натуральных целлюлозосодержащих текстильных материалов как без огнезащитной обработки, так и с огнезащитой, нанесенной на ткань объемным и поверхностным способом.

В разделе 3.1 «Обоснование необходимости применения дополнительных методов оценки пожароопасных свойств полимерных материалов на текстильной основе» проведен подробный анализ нормативных документов в области оценки показателей пожарной опасности, который выявил существующие пробелы в нормативной правовой базе. Требования расходятся как в рамках одного нормативного правового акта, так и при рассмотрении двух нормативных правовых актов, ссылающихся друг на друга. Полный перечень требуемых характеристик по пожарной опасности можно определить только для постельных принадлежностей.

Огнезащищенные ткани технического назначения, такие, как «брезент», в соответствии с нормативными документами могут быть испытаны на огнестойкость, однако в соответствии с федеральным законодательством данное понятие применимо только для строительных конструкций. Для проведения обязательных испытаний на воспламеняемость выбрать нормативный документ для технических тканей не представляется возможным. Вместе с тем, действующие методы оценки не всегда учитывают наличие и способ нанесения огнезащитной обработки. Для оценки пожароопасных свойств текстильных материалов и эффективности огнезащитных составов следует корректировать нормативную базу и внедрять методы, позволяющие исследовать образцы вне зависимости от вида и способа нанесения отделки на ткань.

В разделе 3.2 «Оценка пожароопасных свойств натуральных целлюлозосодержащих текстильных материалов без огнезащитной обработки» определены пожароопасные характеристики необработанных тканей, что является актуальным при оценке эффективности нанесенных огнезащитных составов. В связи с этим проведенные испытания должны содержать результаты в численных сравниваемых величинах. Указанному требованию соответствует метод определения кислородного индекса и данные термических исследований.

Оценка кислородного индекса проводилась для тканей «миткаль», «бязь», «авизент», состоящих из хлопкового волокна, и для хлопко-льняного материала «брезент» различной поверхностной плотности. На рисунке 1 представлена

зависимость величины кислородного индекса от поверхностной плотности материала.

Установлено, что кислородный индекс возрастает с увеличением поверхностной плотности материала. Такая зависимость связана с наличием кислорода между волокнами в структуре материала: при низкой поверхностной плотности материала в межволоконном пространстве содержится большее количество кислорода воздуха, способствующее распространению пламени по поверхности. На величину кислородного индекса также оказывает влияние состав

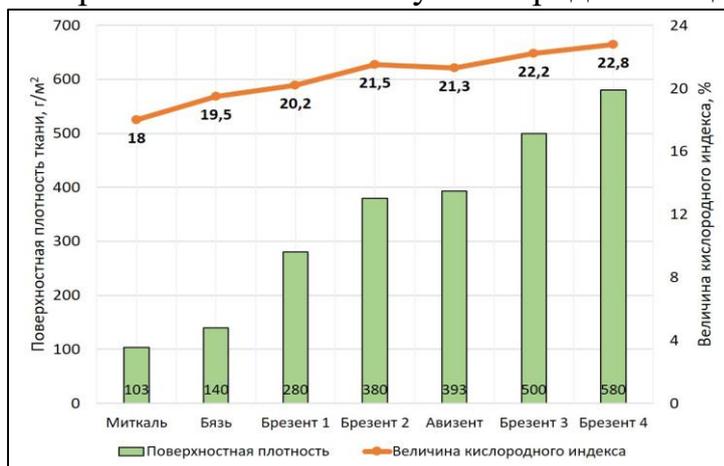


Рисунок 1 – Результаты определения кислородного индекса целлюлозосодержащих текстильных материалов в зависимости от поверхностной плотности

и соотношение волокон, о чем свидетельствует тот факт, что «авизент», состоящий из хлопкового волокна, «выбивается» из прямо пропорциональной зависимости величины кислородного индекса для хлопкового «брезента». Для расчета значения кислородного индекса для тканей из натуральных целлюлозных волокон с различной поверхностной плотностью использован метод регрессионного анализа. Уравнение линейной зависимости, коэффициент детерминации и линия регрессии представлены на рисунке 2. Полученная математическая модель позволит рассчитать величину кислородного индекса для указанных тканей в зависимости от их поверхностной плотности без постановки длительного материало- и трудоемкого эксперимента.

На основании величины кислородного индекса можно сделать вывод о возможности пламенного горения материала и оценить необходимость применения огнезащиты. Несмотря на наглядность полученных результатов и возможность сравнения итоговых значений между собой, в нормативной базе отсутствует классификация текстильных материалов по пожарной опасности в зависимости от величины кислородного индекса.

На следующем этапе работы проведены термические исследования суровых хлопковых и льняных волокон в инертной среде, которые показали практически одинаковые температурные диапазоны и параметры термического разложения:

и соотношение волокон, о чем свидетельствует тот факт, что «авизент», состоящий из хлопкового волокна, «выбивается» из прямо пропорциональной зависимости величины кислородного индекса для хлопкового «брезента».

Для расчета значения кислородного индекса для тканей из натуральных целлюлозных волокон с различной поверхностной плотностью использован метод регрессионного анализа. Уравнение линейной

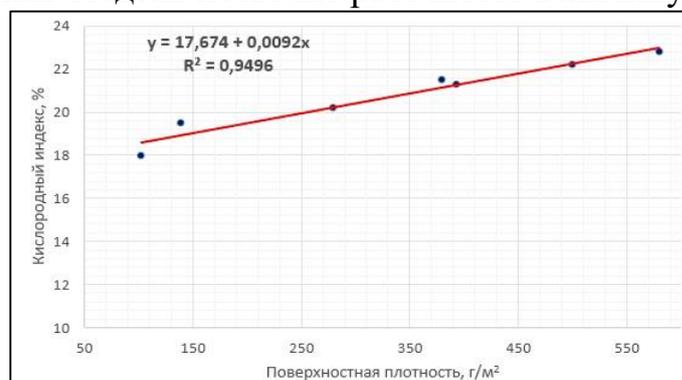


Рисунок 2 – Линейный регрессионный анализ зависимости величины кислородного индекса от поверхностной плотности текстильного материала

резкая потеря массы волокон начинается при 250 °С; процесс термодеструкции заканчивается для целлюлозы хлопка при температуре 350 °С, для целлюлозы льна – при 375 °С.

Оценка влияния наличия и вида отделки ткани, проведенная для суровой, отбеленной, гладкокрашенной и напечатанной хлопчатобумажной ткани «бязь», показала, что термогравиметрическая зависимость имеет одинаковый характер для четырех испытанных образцов вне зависимости от вида отделки (рисунок 3). Для тканей с отделкой термическое разложение начинается позже,

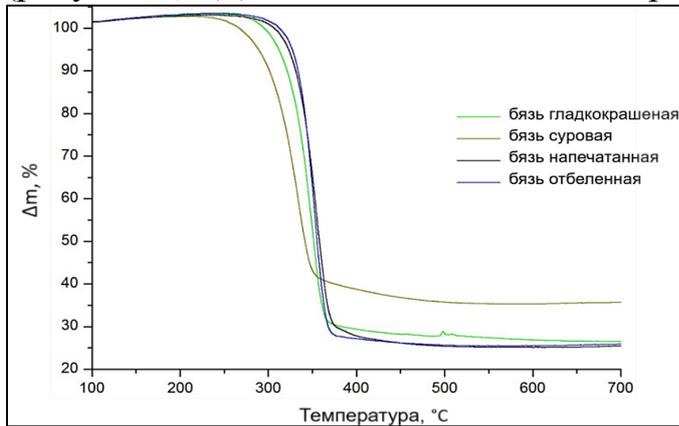


Рисунок 3 – Термогравиметрические кривые для образцов текстильного материала «бязь» различного вида отделки

а максимальная скорость деструкции достигается при большей температуре. Данный факт можно объяснить отсутствием в образцах с отделкой природных целлюлозных примесей, которые деструктируются при более низких температурах.

Полученные результаты представляют интерес с научной точки зрения, однако показывают, что вид отделки не оказывает существенного влияния на пожарную опасность готового материала.

В рамках испытаний суровых текстильных материалов одного состава (100 % хлопок), но разной поверхностной плотности «миткаль», «бязь», «авизент» установлено, что поверхностная плотность и толщина текстильного полотна не играет существенной роли при выявлении температурных переходов, в большей степени имеет значение природа и состав волокнообразующего полимера.

Схожие результаты получены при проведении термического анализа для текстильного материала «брезент» одного состава (55 % хлопка + 45 % льна), но разной поверхностной плотности – 280, 380 и 580 г/м². Исследования проводились как в инертной среде, так и в воздушной. На рисунках 4 и 5 представлены данные по потере массы образцами.

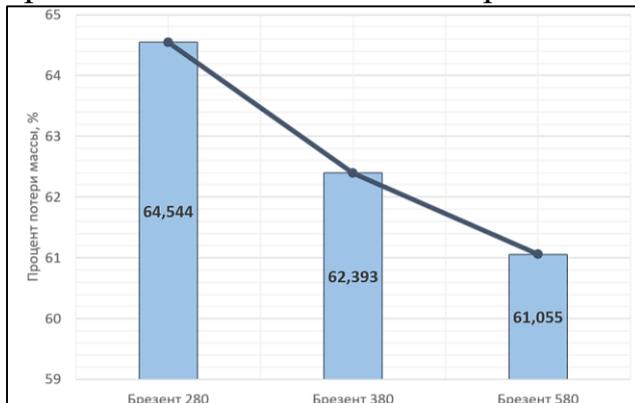


Рисунок 4 – Процент потери массы образцов ткани «брезент» различной поверхностной плотности в инертной среде

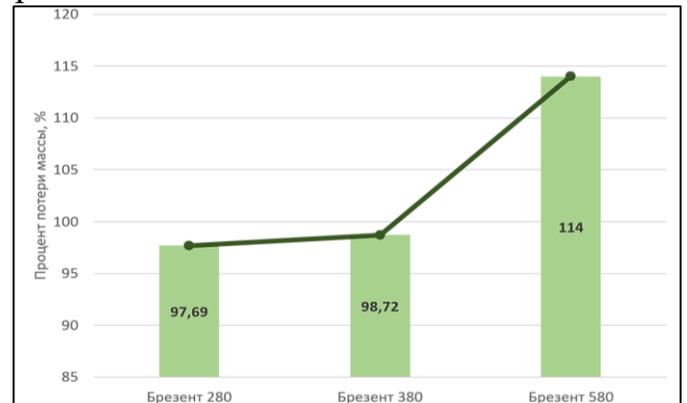


Рисунок 5 – Процент потери массы образцов ткани «брезент» различной поверхностной плотности в воздушной среде

Процент потери массы образцов при нагреве в инертной среде уменьшается с увеличением поверхностной плотности материала, в воздушной среде наблюдается обратная зависимость. Полученные закономерности связаны с интенсивностью процесса термоокисления и количеством кислорода воздуха в волокнах и межволоконном пространстве.

Из представленных данных видно, что особенности поведения исследуемых текстильных материалов при термических исследованиях в условиях инертной среды и воздуха противоположны для термогравиметрических зависимостей (рисунок 4 и 5) и схожи для тепловых потоков (рисунок 6).

Вместе с тем, термические процессы протекают в пределах схожих диапазонов температур, зависимости в условиях одной среды имеют идентичный характер. Следовательно, поверхностная плотность влияет на температурные показатели термических процессов, но не более, чем состав материала.

В разделе 3.3 «Оценка пожароопасных свойств натуральных целлюлозосодержащих текстильных материалов с огнезащитной обработкой» приводятся результаты исследования хлопка-льняной ткани «брезент», сфера применения которой предполагает нанесение огнезащитной пропитки.

В ходе работы получены данные по воспламеняемости и огнестойкости материала «брезент», обработанного огнезащитными составами «Пекофлам», «Тезагран» и «Пироватекс» с объемным способом нанесения. Все образцы с огнезащитой были классифицированы как «трудновоспламеняемые». Полученные результаты не позволяют сравнить образцы между собой. Результат испытаний на огнестойкость определяется по показателям длительности остаточного горения и тления (с) и максимальной высоте обугливаемого участка (мм). Так как все параметры записываются в численных величинах, полученные результаты можно сравнить и выбрать наиболее эффективный огнезащитный состав. В рамках данных испытаний таким составом является «Тезагран».

Эффективность применяемого огнезащитного состава также может быть оценена с использованием методов термического анализа. Известны результаты термических исследований для антипиренов «Пекофлам», «Тезагран», «Пироватекс». Проведенные исследования для огнезащитных препаратов на основе сульфата аммония с добавлением мочевины и препарата «Нортекс» подтвердили возможность применения методов термического анализа для исследования пожароопасных свойств огнезащищенных тканей.

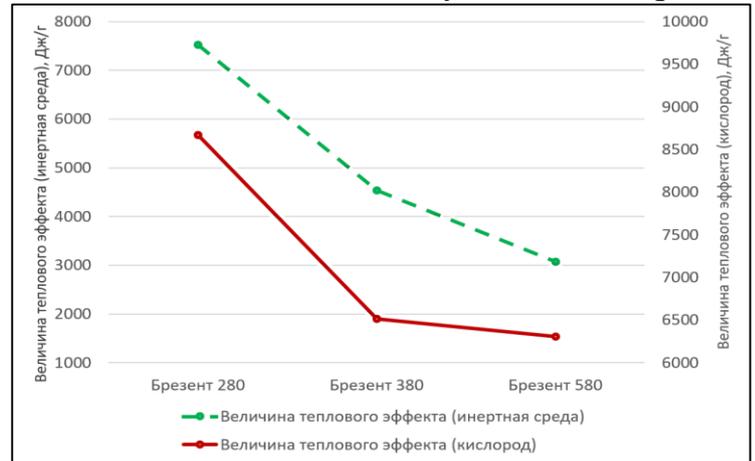


Рисунок 6 – Величины тепловых эффектов для ткани «брезент» различной поверхностной плотности при проведении термических испытаний в разных средах

В рамках проводимых исследований разработаны огнезащитные составы на основе танина для тканей технического назначения, которые наносятся на ткань поверхностным способом и при определенных условиях обладают способностью вспучиваться и образовывать на поверхности материала слой кокса, предотвращающий дальнейшее горение полотна.

Для создания вспучивающегося огнезащитного состава для тканей технического назначения односторонним и двусторонним способом наносилась загущенная композиция на основе танина и щелочи. При сравнении огнезащитных свойств использовались образцы «брезента», обработанные огнезащитными составами «Пекофлам» и «Тезагран». По полученным термогравиметрическим кривым определены температуры потери массы испытуемых образцов. Температура термодеструкции ткани, обработанной вспучивающимся огнезащитным составом, выше, чем аналогичный показатель для «Пекофлама» и «Тезаграна». Таким образом, результаты исследования подтверждают огнезащитную эффективность разработанной композиции.

С целью получения дополнительных водоотталкивающих свойств, необходимых для тканей технического назначения из целлюлозных волокон, был разработан интумесцентный огнезащитный состав на основе поливинилхлорида и танина. При термическом воздействии на поверхности материала образуется вспученный слой и дальнейшее горение ткани предотвращается (рисунок 7), что подтверждает наибольшая температура окончания реакции термического разложения – 555,26 °С для образца с защитным составом «ПВХ + танин» и 407,69 °С для необработанного «брезента». Полученные экспериментальные

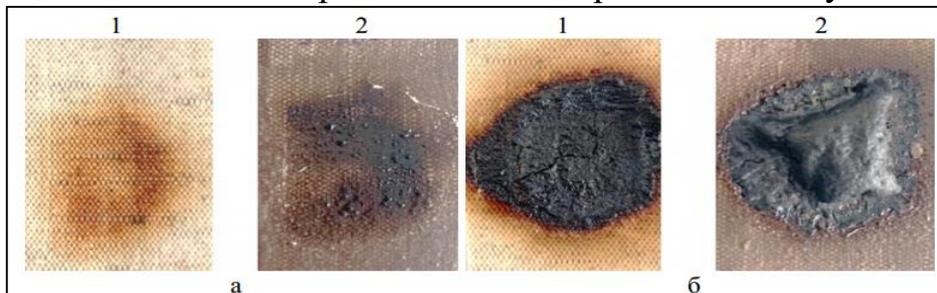


Рисунок 7 – Образцы с ПВХ-пленкой (1) и с защитным составом ПВХ + танин (2) после воздействия температуры 137 °С (а) и 165 °С (б)

данные позволили сделать вывод об эффективности разработанных вспучивающихся огнезащитных составов на основе танина для технических тканей.

Большинство методик оценки пожарной опасности не предполагает наличия и не учитывает способ нанесения на ткань огнезащитной обработки, поэтому необходимо применять дополнительные методы оценки пожароопасных свойств тканей.

В разделе 3.4 «Разработка и применение методов оценки пожароопасных свойств текстильных материалов» предложены методы оценки прожигания, горения, тления и устойчивости к распространению пламени по поверхности. Основными достоинствами разработанных методов являются применимость для текстильных материалов вне зависимости от вида и способа нанесения огнезащиты, возможность получения количественных показателей, простота и

доступность используемого лабораторного оборудования. Результаты испытаний на распространение пламени представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка образцов тканей на распространение пламени

Огнезащита	Ткань	Длина обугленного участка вдоль оси, мм	Длина обугленного участка перпендикулярно оси, мм
Тезагран	Брезент 380 г/м ²	19	10
Защитный состав на основе ПВХ и танина	Брезент 380 г/м ²	обугливание ткани не отмечено	
		длина вспученной поверхности вдоль оси – 27	длина вспученной поверхности перпендикулярно оси – 12

При проведении теста на горение и тление для всех образцов отмечалось потемнение при воздействии пламени и дымообразование. Разработанные методы оценки пожароопасных свойств текстильных материалов могут быть использованы при оценке эффективности нанесенного огнезащитного состава в сравнении с необработанным образцом и другими огнезащитными композициями вне зависимости от способа нанесения.

В разделе 3.5 «Комплексная оценка пожароопасных свойств тканей из природных целлюлозных волокон» представлена комплексная схема исследования пожароопасных свойств текстильных материалов (рисунок 8).



Рисунок 8 – Общая схема предлагаемого исследования пожароопасных свойств текстильных материалов

были выявлены основные недостатки методик исследования пожароопасных свойств текстильных материалов, закрепленных в нормативных документах, и отмечены достоинства современных методов, позволяющих получить комплексные результаты в сравнимых величинах. На основании проведенных испытаний составлены сводные таблицы, включающие результаты оценки воспламеняемости, огнестойкости и определения величины кислородного индекса, полученные данные термического анализа в инертной и воздушной среде, результаты применения разработанных методов оценки пожароопасных свойств текстильных материалов. Указанные таблицы составляют структуру и основу базы данных по пожароопасным свойствам тканей из хлопковых и льняных волокон.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В рамках проведенного исследования рассмотрены пожароопасные свойства текстильных материалов из целлюлозных волокон с различными видами отделки и способами нанесения огнезащиты, а также методы их оценки.

Получены следующие результаты:

1. Анализ имеющихся в справочной литературе данных по пожароопасным свойствам ряда текстильных волокон и материалов выявил, что основные характеристики получены не для всех материалов, а имеющиеся показатели не дают полного представления о поведении тканей в условиях пожара. Для комплексного подхода к оценке пожароопасных свойств текстильных материалов и качественного подбора противопожарных мероприятий для объектов защиты требуется изучение дополнительных свойств, влияющих на поведение текстильных материалов различных видов в условиях воздействия открытого пламени и высоких температур.

2. Анализ современных средств и способов снижения пожарной опасности текстильных материалов позволил систематизировать их по следующим группам: объемное нанесение огнезащитных составов; поверхностное нанесение огнезащитных композиций; введение антипиренирующего компонента на этапе синтеза волокнообразующего полимера. Отмечено, что основными недостатками широко используемых огнезащитных составов являются низкая устойчивость к внешним воздействиям, недостаточный уровень огнезащиты, выделение токсичных продуктов горения. Усилия исследователей сосредоточены на разработке экологически чистых и безопасных для человека огнезащитных композиций, в том числе на основе природных полимеров.

3. В ходе анализа нормативной правовой базы выявлено, что нормативные документы не содержат универсальных методик оценки пожароопасных свойств текстильных материалов, позволяющих сопоставить данные между собой, и не предполагают получение итоговых результатов в численном выражении. Стандартные методы исследования не всегда учитывают наличие и способ нанесения огнезащиты. Несмотря на деление нормативных документов в соответствии с назначением текстильных материалов, оценить воспламеняемость тканей технического назначения и отнести их к категории «легковоспламеняемый» или «трудновоспламеняемый» не представляется возможным.

4. Кислородный индекс является одним из наиболее показательных методов оценки пожароопасности текстильных материалов без огнезащитной обработки. Экспериментально установлено, что величина кислородного индекса для необработанного огнезащитными составами «брезента» с поверхностной плотностью 580 г/м² составляет 22,8 %; для 500 г/м² – 22,2 %; 380 г/м² – 21,5 %; 280 г/м² – 20,2 %. Таким образом, между величиной кислородного индекса тканей из целлюлозных волокон и их поверхностной плотностью существует прямо пропорциональная зависимость.

Получена математическая зависимость, позволяющая рассчитать величину кислородного индекса для тканей из природных целлюлозных волокон в

зависимости от их поверхностной плотности без постановки длительного и трудоемкого эксперимента.

5. Термический анализ позволяет получить данные по поведению материала в условиях нагрева и провести испытания как в инертной среде, так и в среде воздуха, имитирующей реальные условия горения.

Анализ процесса термодеструкции, протекающего в инертной среде с поглощением тепла, показал, что поверхностная плотность и толщина тканей оказывают влияние на термические показатели. С увеличением плотности и толщины образцов уменьшается величина тепловых эффектов реакций: для хлопко-льняных полотен с поверхностной плотностью 280 г/м^2 данная величина составляет $7527,9 \text{ Дж/г}$; для поверхностной плотности 380 г/м^2 – $4531,2 \text{ Дж/г}$; для 580 г/м^2 – $3068,2 \text{ Дж/г}$.

При проведении термических исследований в условиях кислорода процесс термоокислительной деструкции сопровождается выделением тепла. Наибольший тепловой эффект отмечен для хлопко-льняной ткани с поверхностной плотностью 280 г/м^2 и составил 8670 Дж/г ; для поверхностной плотности 380 г/м^2 – 6511 Дж/г ; для 580 г/м^2 – 6306 Дж/г . Таким образом, величина теплового эффекта реакции обратно пропорциональна поверхностной плотности ткани.

6. Испытания огнезащищенных текстильных материалов на воспламеняемость позволили определить их соответствие нормативным требованиям, но не дали возможность сравнить эффективность нанесенной огнезащиты. Все исследованные образцы ткани «брезент» с различной поверхностной плотностью и нанесенными огнезащитными составами «Пекофлам», «Пироватекс», «Тезагран» были отнесены к категории «трудновоспламеняемый».

Результаты определения огнестойкости для хлопко-льняного «брезента» демонстрируют, что наиболее эффективную огнезащиту обеспечивает «Тезагран». Несмотря на то, что полученные данные выражены в численном значении (длительность остаточного тления, с; длина обугленного участка, мм) и позволяют сравнить образцы между собой, согласно нормативным правовым актам параметр «огнестойкость» для текстильных материалов не применяется.

7. Разработанный вспучивающийся защитный состав на основе ПВХ и танина показал свою эффективность. При температуре $161 \text{ }^\circ\text{C}$ нанесенный на ткань защитный состав начинает разлагаться и образует на поверхности материала вспученный коксовый слой, предотвращающий дальнейшее горение. Экспериментальные данные показывают, что применение указанного состава позволяет снизить пожарную опасность текстиля за счет увеличения температуры окончания термического разложения полученного материала с $408 \text{ }^\circ\text{C}$ до $555 \text{ }^\circ\text{C}$.

Стандартные методы не позволяют оценить пожарную опасность текстильного материала с огнезащитным покрытием, нанесенным поверхностным способом, в связи с чем разработаны дополнительные методы оценки.

8. Показано, что разработанные методы оценки пожароопасных свойств текстильных материалов позволяют за короткий промежуток времени получить предварительные данные по времени прожигания, способности к горению,

тлению и распространению пламени по поверхности. Установлено, что время прожигания образцов с огнезащитой по сравнению с исходными увеличивается, согласно нихромовому тесту, в 5 – 10 раз; длительность эксперимента составляет не более 30 секунд.

9. Результаты проведенных исследований позволили расширить базу данных по пожароопасным характеристикам целлюлозных текстильных материалов различного волокнистого состава, поверхностной плотности, вида и способа нанесения отделки.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Спиридонова В.Г.** Применение разработанных экспресс-методик оценки огнезащитных свойств текстильных материалов / В.Г. Спиридонова, А.Л. Никифоров, О.Г. Циркина, С.Н. Ульева // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 1 (34). С. 77-83.

2. **Спиридонова В.Г.** Использование методов термического анализа для оценки пожароопасных свойств текстильных из целлюлозных волокон / В.Г. Спиридонова, О.Г. Циркина, А.В. Петров, А.Л. Никифоров, С.Н. Ульева // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 5 (389). С. 92-97.

3. **Спиридонова В.Г.** Оценка пожароопасных свойств огнезащитных текстильных материалов из натуральных волокон на основе термогравиметрических исследований / В.Г. Спиридонова, О.Г. Циркина, А.В. Петров, А.Л. Никифоров // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2021. № 1. С. 78-81.

4. **Спиридонова В.Г.** Сравнительный анализ методик и средств оценки пожарной опасности полимерных материалов / В.Г. Спиридонова, О.Г. Циркина, А.Л. Никифоров, С.Н. Ульева // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 3 (40). С. 54-60.

5. **Спиридонова В.Г.** Анализ методов оценки огнезащитных свойств текстильных материалов / В.Г. Спиридонова, О.Г. Циркина // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 4 (394). С. 75-81.

6. **Спиридонова В.Г.** Применение метода определения кислородного индекса при оценке пожарной опасности целлюлозосодержащих материалов / В.Г. Спиридонова, Н.М. Панев, О.Г. Циркина, С.Н. Ульева, Л.В. Шарнина // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 1 (42). С. 93-99.

Публикации в иных научных журналах:

7. Никифоров А.Л. Новые подходы к оценке пожароопасных свойств текстильных материалов / А.Л. Никифоров, О.Г. Циркина, С.Н. Ульева, **В.Г. Спиридонова** // Сетевое издание «Пожарная и аварийная безопасность» [Электронный ресурс] <http://pab.edufire37.ru/>. 2019. № 4 (15). С. 11-18.