ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ МИНИСТЕРСТВА
ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

УДК 678.049.91(043.3)

**ЛУКЬЯНОВ**
**Александр Сергеевич**

# УСТОЙЧИВАЯ ОГНЕЗАЩИТА ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НАНОДИСПЕРСНЫМИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ ГОРЕНИЯ

**Автореферат**
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность
(по отраслям)

Минск, 2018

Научная работа выполнена в Государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

Научный руководитель: **Рева Ольга Владимировна,**
кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры процессов горения и взрыва Государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

Официальные оппоненты: **Ковтун Вадим Анатольевич,**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оперативно-тактической деятельности и техники государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

**Соколик Галина Андреевна**,
заведующая научно-исследовательской лаборатории прикладных проблем токсичности продуктов горения научно-исследовательской части главного управления науки учреждения образования «Белорусский государственный университет».

Оппонирующая организация: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет».

Защита состоится 14 декабря 2018 г. в 14:00 на заседании совета по защите диссертаций К 11.01.01 при государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» по адресу: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, аудитория АВ 102 (конференц-зал). Ученый секретарь: телефон +375 (17) 341-32-99, e-mail: K11.01.01@ucp.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

Автореферат разослан ___ ноября 2018 года.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент В.А. Кудряшов

# ВВЕДЕНИЕ

Придание текстильным полиэфирным материалам водостойкой огнезащиты сопряжено с серьезными трудностями. Так, известные замедлители горения (соединения сурьмы, висмута, брома, хлорпарафины, декабромдифенил оксид, полифосфат аммония, меламин, фосфорсодержащие органические соединения), введенные в реакционную смесь на стадии синтеза или переработки, приводят к потере полимером физико-механических свойств. Поверхностная обработка полиэтилентерфталатных (ПЭТФ) текстильных материалов известными замедлителями горения не обеспечивает устойчивости огнезащитного эффекта при их эксплуатации, что обусловлено отсутствием химического взаимодействия антипиренов с инертной полиэфирной матрицей. Закрепление замедлителей горения на поверхности ПЭТФ осуществляется, как правило, с применением энергий лазерного, ионизирующего излучений или при помощи деформации полимерных волокон в органических жидкостях при повышенных температурах. Однако такие способы активации полимера весьма энергоемки и требуют наличия дорогостоящего оборудования; также многие замедлители горения являются токсичными соединениями. Разработка новых активаторов поверхности и неорганических реакционноспособных азот-фосфорсодержащих замедлителей горения (ЗГ) и технологии их закрепления на волокнистых полиэфирных материалах позволит снизить стоимость огнезащищенных материалов и повысить сохранность огнезащитного эффекта при их эксплуатации. В качестве замедлителей горения в данной работе использованы синтетические коллоидные нанодисперсные системы на основе аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов (АМФ), предложены новые подходы к созданию устойчивой огнезащиты полиэфирных материалов методом химического закрепления синтетических нанодисперсных ЗГ на инертной полимерной матрице.

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами (проектами), темами**

Исследования, составившие основу диссертационной работы, выполнялись в Государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» в рамках, следующих НИР:

задание ГПНИ «Информатика, космос и безопасность» подпрограмма «Научное обеспечение безопасности человека, общества и государства» на 2016 – 2020 годы «Разработка методов синтеза наноструктурированных композиционных материалов на основе полиэфирных и полиамидных матриц, обладающих перманентной огнестойкостью, и исследование их свойств», № г.р. 20163119 от 08.08.2016 г.;

задание грант БРФФИ № Х16М-045 «Разработка метода обработки готовых волокнистых полиэфирных материалов наноструктурированными неорганическими композициями для придания перманентной огнестойкости», № г.р. 20163215 от 15.08.2016 г.

**Цель и задачи исследования**

**Цель работы** – разработать технологию получения устойчивых к водным обработкам огнезащищенных текстильных полиэфирных материалов с использованием химических активаторов поверхности и синтетических нанодисперсных аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов, установить влияние модифицирующих агентов на физико-химические свойства огнезащищенного материала и устойчивость огнезащитного эффекта при его эксплуатации.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. *Исследовать* влияние рецептурного состава активирующих агентов и азот-фосфорсодержащих замедлителей горения и условий обработки на устойчивость огнезащиты тканевых материалов при их эксплуатации;

2. *Провести* оптимизацию с применением метода математического планирования эксперимента рецептурного состава активатора и условий обработки им ПЭТФ, обеспечивающих хемосорбцию замедлителя горения на полиэфирном материале, в количестве, достаточном для сохранения огнезащитного эффекта после водных обработок;

3. *Определить* влияние условий синтеза, химического и гранулометрического состава азот-фосфорсодержащих замедлителей горения на их огнезащитную эффективность по отношению к ПЭТФ;

4. *Исследовать* термическое поведение огнезащищенных текстильных материалов различного уровня огнезащиты и установить факторы, препятствующие образованию горящих капель при огневом воздействии на полиэфирные материалы;

5. *Разработать* технологический регламент огнезащитной обработки полиэфирного тканевого материала и адаптировать разработанную технологию огнезащитной обработки к производственным условиям.

**Научная новизна**

Разработаны и оптимизированы: рецептура раствора для химической активации инертной полиэтилентерефталатной полимерной матрицы по отношению к огнезащитной обработке и условия проведения данной стадии. Выявлена наиболее перспективная нанодисперсная система – аммонийный фосфат кальция, допированный ионами многовалентных металлов, способная к химическому взаимодействию с активированным ПЭТФ и позволяющая создать огнезащищенный материал, устойчивый к водным обработкам. Доказано, что новые нанодисперсные огнезащитные составы в широком температурном интервале (150 – 500 $^{o}$C) образуют изолирующие расплавы и вспененные структуры, препятствующие образованию капель расплавленного полимера в предпламенной зоне конденсированной фазы и одновременно выделяют в газовую фазу летучие продукты, снижающие температуру в пламенной зоне за счет взаимодействия с активными центрами пламени.

Найдено, что присутствие ионов $Sn^{2+}$ в растворе антипирена позволяет снизить концентрацию пропиточного состава в 1,5 – 2,0 раза без ухудшения огнезащитных характеристик. Впервые осуществлен технологический процесс устойчивой огнезащитной обработки полиэтилентерефталатных текстильных материалов, адаптированный к имеющимся производственным условиям, позволяющий получить устойчивый огнезащитный эффект.

**Положения, выносимые на защиту**

1. Состав, активирующий поверхность полиэфирного текстильного материала перед огнезащитной обработкой (раствор, содержащий 10 % $H_3PO_4$ и 10 % HCl), и оптимальные условия его применения: t = 2 ± 1 мин, T = 20 ± 2 °C.

2. Рецептура и способ синтеза нанодисперсного замедлителя горения с массовым процентным соотношением компонентов $CaO:P_2O_5:SnO$ = 3:12:0,5, которые позволяют получить трудногорючие полиэфирные текстильные материалы.

3. Условия огнезащитной обработки полиэфирного текстильного материала, включающие: обработку совмещенным составом из активатора и замедлителя горения с концентрацией 12 – 34 % и pH 2,5 – 5,5 в течение 0,5 – 2,0 мин при комнатной температуре, сушку – при 110 – 120 °C и термофиксацию – при 185 – 200 °C; их соблюдение будет затруднять процесс деструкции огнезащищённого материала при огневом воздействии и в комплексе позволяет получить трудновоспламеняемый материал, устойчивый к воздействию внешних факторов.

4. Технологический регламент огнезащитной обработки полиэфирных текстильных материалов синтетическими нанодисперсными азот-фосфорсодержащими замедлителями горения, адаптированный к производственным условиям предприятий легкой промышленности Республики Беларусь.

**Личный вклад соискателя ученой степени**

Основные результаты, вошедшие в диссертационную работу, получены автором самостоятельно под руководством кандидата химических наук, доцента, доцента кафедры процессов горения и взрыва О.В. Рева. Руководитель участвовала в постановке цели и задач, выборе и анализе методов их решения, а также в обсуждении полученных результатов. Кандидат технических наук, доцент кафедры управления защитой от чрезвычайных ситуаций Д.Н. Арестович принимал участие в математическом планировании многофакторного эксперимента. Огневые испытания проведены лично автором в лаборатории Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. Опытная партия выпущена на производстве ООО «ТикраБел». Производственные испытания синтезированных композиций и разработанной технологии огнезащитной обработки проводились на базе ОАО «Моготекс» и ОАО «Ручайка» лично автором под контролем персонала, главных технологов и главных инженеров предприятий. Спектральный анализ опытных образцов АП проводился с участием кандидата химических наук, кафедры процессов горения и взрыва Н.Н. Лубинского. Диссертационные исследования проводились при тесном взаимодействие и сотрудничестве с лабораторией огнетушащих материалов Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» (НИИ ФХП БГУ). Синтез огнезащитных композиций проводился на базе НИИ ФХП БГУ при кураторстве профессора, доктора химических наук, руководителя лаборатории огнетушащих материалов В.В. Богдановой.

Соискатель выражает благодарность за консультационную помощь – В.В. Богдановой, И.И. Полеводе, А.Н. Камлюку, В.А. Кудряшову, А.С. Платонову, Н.М. Дмитраковичу, В.А. Осяеву, коллективам: ОАО «Ручайка», ОАО «Моготекс», НИИ ФХП БГУ, кафедре ПГиВ Университета гражданской защиты МЧС Беларуси.

**Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные результаты проделанной работы в рамках диссертационного исследования доложены и обсуждены на VII Международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и

перспективы» (Минск, Беларусь, 2013 г.); VI Международной научно-технической конференции «Поликомтриб – 2015» (Гомель, Беларусь, 2015 г.); Международной научно-практической конференции курсантов (студентов), магистрантов, адъюнктов (аспирантов) «Чрезвычайные ситуации: теория и практика» «ЧС-2015» (Гомель, Беларусь, 2015 г.); IX – XI Международных научно-практических конференциях молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: Проблемы и перспективы» (Минск, Беларусь, 2015, 2016, 2017); 6-й ярмарке инновационных идей «Smart patent'16» (Минск, Беларусь, 2016 г.); Двадцать пятой Международной научно-технической конференции «Системы безопасности - 2016» (Москва, Россия, 2016 г.); VIII Международной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести» (Алматы, Казахстан, 2017 г.); Международной научно-практической конференции «21 Век – молодость интеллекта» (Сочи, Россия, 18 – 19 октября 2017 г.); Ярмарке инновационных разработок «Промышленность от инновации до производства» (Минск, Беларусь, 2018 г.).

Огнезащищенные материалы демонстрировались на выставке научных и научно-технических достижений: «Наука молодежи – будущее Беларуси» (Национальная библиотека Республики Беларусь, Минск, Беларусь, 17 февраля 2017 г.); «О проблемах и перспективах развития белорусской науки» в Национальной академии наук Беларуси (Минск, Беларусь, 5 – 7 апреля 2017 г.); «Национальной экспозиции Республики Беларуси» на четвертом форуме регионов России и Беларуси (Москва, Россия, 29 – 30 июня 2017 г.); Международном молодежном семинаре «Шанхайской организации сотрудничества» (Шанхай, Китай, 29 августа 2017 г.); XIX Всемирном фестивале молодежи и студентов (Сочи, Россия, 14 – 22 октября 2017 г.).

Проект диссертанта «Нанокомпозитные материалы на основе полиэфира и полиамида, обладающие перманентной огнестойкостью» стал победителем на Республиканском конкурсе «100 идей для Беларуси – 2016» в номинации «Химические технологии. Нефтехимия» Республиканского конкурса «100 Идей для Беларуси» в 2017 г.

За научную работу на основе диссертационного исследования соискатель стал лауреатом премии в номинации «Лучшая работа молодых ученых» Республиканского конкурса Национальной академии наук Беларуси, посвященного Году науки (постановление Президиума Национальной академии наук Беларуси от 18 декабря 2017 г. № 87).

**Опубликование результатов диссертации**

Результаты диссертации опубликованы в 27 научных работах в том числе: 4 статьи, соответствующие пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 2,14 авторских листа (из них без соавторов – 1 статья), а также 23 статьи в сборниках тезисов и материалов докладов (научных трудов) международных конференций. Подана заявка на изобретение в Национальном центре интеллектуальной собственности Республики Беларусь.

**Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка, приложений. Работа изложена на 187 страницах; 49 рисунков занимают 37 страниц, 22 таблицы – 18 страницах, 6 приложений – 55 страниц. Библиографический список состоит из 148 наименований, включая собственные публикации автора.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

**В первой главе «Анализ существующих способов снижения горючести полиэфирных материалов»** приведен анализ статистики пожаров и отмечено, что основной причиной большинства из них является возгорание синтетических текстильных материалов, до 70 % которых являются полиэфирными, от низкоэнергетических источников зажигания. Кроме того, при горении текстильных материалов, таких как ПЭТФ, образуется широкий спектр опасных соединений. Перспективным путем уменьшения количества пожаров, гибели людей и материального ущерба является придание текстильным материалам на основе полиэфира огнестойких свойств, устойчивых к условиям эксплуатации.

В главе проанализированы закономерности горения синтетических полимеров в зависимости от различных факторов, а также условия, необходимые для их воспламенения. Приведены классификация и основные характеристики антипиренов, используемых для модификации ПЭТФ тканей. Рассмотрен механизм действия и синергизм антипиренов различных классов, выявлено, что для большинства эффективных антипиренов воздействие на горение полимерных материалов является комплексным. Проведен сравнительный анализ современных методов и приемов огнезащитной обработки текстильных материалов с устойчивым огнезащитным эффектом после стирок. В литературе отмечено, что введение антипиренов в химические волокна может приводить в случае терморазложения и горения к образованию весьма токсичных соединений. Наиболее безопасными являются фосфорсодержащие и фосфор-азотсодержащие антипирены, однако перспективные нетоксичные неорганические композиции, например, аммонийные металлофосфаты, не могут быть введены в ПЭТФ при синтезе из-за изменения его физико-механических свойств, а при поверхностных обработках замедлители горения не закрепляются на химически инертной поверхности ПЭТФ. В связи с этим проанализированы методы молекулярного наслаивания при получении твердофазных материалов с заданными свойствами. Рассмотрены перспективы применения метода химической модификации для обеспечения прочной водостойкой привязки неорганического замедлителя горения к ПЭТФ поверхности и способы модификации полимерных матриц. На основе проведенного анализа существующей научной и патентной литературы показана перспективность разработки путей придания огнезащитных свойств ПЭТФ волокнам нетоксичными неорганическими нанодисперсными композициями методом химической модификации поверхности полимера, сформулирована цель и определены задачи диссертационной работы.

**Во второй главе «Методы исследования»** обоснован комплекс аналитико-математических и экспериментальных методов исследования выбранных объектов (растворов травления, неорганических ЗГ и модифицированных ими материалов) для получения достоверной информации об эффективности разрабатываемых активирующих и огнезамедлительных композиций и свойствах модифицированных ими текстильных материалов. Описана методика ступенчатой обработки нетканого полиэфирного материала как неорганическими, так и органическими огнезащитными композициями. Приведены условия каждой стадии обработки ПЭТФ, состав использованных замедлителей горения.

Подробно описан метод математического планирования эксперимента, использованный для определения расчетными методами оптимальных рецептур стадии активации ПЭТФ перед нанесением огнезащитной композиции. В главе описаны

методики синтеза новых замедлителей горения на основе фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония.

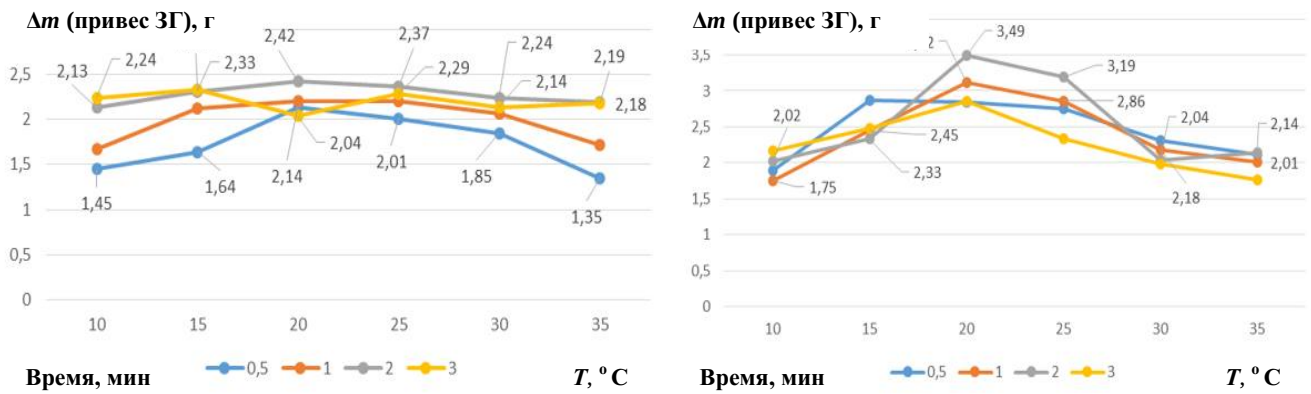
Обоснованы методы проведения аналитических исследований и приведены характеристики оборудования, использованного для исследований. В работе использовали следующие стандартизированные методы испытаний и метрологически аттестованное оборудование: огневые испытания обработанных полиэфирных материалов проводили в соответствии с требованиями СТБ 11.03.02–2010 «Система стандартов пожарной безопасности. Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний». Электронно-микроскопическое исследование коллоидных частиц в жидкой части замедлителей горения проводили на просвечивающем микроскопе LEO 906E. Изучение структуры поверхности исходных и модифицированных различными замедлителями горения полиэфирных волокон до и после стирок проводили с использованием электронного сканирующего микроскопа LEO 1420. Содержание компонентов огнезамедлительной системы на полиэфирном материале после стирок определяли с помощью рентгенофлюоресцентного спектрометра фирмы PANalytical. Калориметрические и термогравиметрические исследования проводили методом дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе NETZSTH STA 449 C. Элементный анализ замедлителей горения проводили на атомно-эмиссионном спектрометре ICP2060T с индуктивно связанной плазмой.

**В третьей главе «Изучение влияния условий огнезащитной обработки ПЭТФ на свойства и огнестойкость полученного материала»** представлены результаты экспериментальных исследований и обсуждение полученных данных.

На первом этапе исследований в результате значительного количества экспериментов установлена оптимальная методика (последовательность и условия проведения стадий) огнезащитной обработки полиэфирного полотна нетоксичными замедлителями горения. В качестве неорганической огнезащитной композиции использовали синтетическую дисперсию (АН-10) аморфных фосфатов двух- и трехвалентных металлов в водной растворной среде, содержащей дигидрофосфат аммония, общего химического состава в пересчете на оксиды в мас. %: $P_2O_5$ : $NH_3$ : CaO : MgO : $Fe_2O_3$ = 28,4 : 7,5 : 0,72 : 0,15 : 2,39. Органическим замедлителем горения являлся спиртовой раствор фосфата 5-аминотетразола (ФАТ), формула $CN_5H_3 \cdot H_3PO_4$. Установлено, что наилучшей огнестойкостью характеризуются образцы ПЭТФ, обработанные по методике, где были введены стадии активации полиэфирного материала (10%-ный р-р серной кислоты, $T$ = 20 $^{o}$C, $t$ = 5 мин) и стадия нанесения интермедиативного адгезивного подслоя соединений Sn(II) из этанольного раствора перед обработкой замедлителем горения, соблюдены оптимальные условия сушки и термофиксации огнезащищенного образца (последовательно в 2 стадии, когда термофиксации подвергается сухой образец ткани не более 2 мин). Доказана необходимость каждой из стадий. Однако огнестойкость обработанного текстильного материала и устойчивость огнезащиты к стирке не достигают требуемых показателей, что требует оптимизации рецептур используемых композиций и условий обработки.

При определении оптимальной рецептуры раствора активации ПЭТФ перед нанесением ЗГ был использован метод математического планирования эксперимента с использованием литературных и ряда предварительных экспериментальных данных, что позволило существенно сузить область эмпирического поиска. В качестве основных компонентов раствора активации использовали серную, соляную, уксусную и фосфорную кислоты, варьировали их присутствие в композиции и концентрацию. В качестве функции отклика использовали количество закрепленного антипирена на

ПЭТФ. Установлено, что наиболее эффективный по химическому составу раствор активации содержит фосфорную и соляную кислоты с концентрациями 52 и 148 г/л. При соблюдении этих условий эффективный привес огнезащитной композиции к полиэфирному нетканому материалу составляет 2,43–3,64 %; что в 1,5 раза выше, чем в других случаях (рисунок 1). По результатам огневых испытаний материал соответствует категории стойкости к горению «трудногорючий».




*а* *б*

*а* – диаграммы привесов ЗГ до оптимизации раствора активации,
*б* – диаграммы привесов ЗГ после оптимизации раствора активации

**Рисунок 1. – Зависимость остаточного привеса ЗГ на ПЭТФ от температуры раствора активатора (время обработки – 0,5; 1; 2; 3 мин)**
Источник: Собственная разработка автора.

На следующем этапе исследований изучали влияние химического и гранулометрического состава замедлителя горения на устойчивость огнезащиты ПЭТФ. Огнезащитным агентом, где азот представлен в виде аммонийного иона, являлась водная дисперсия АН-10; замедлителем горения, где азот находится в виде амино-, а также имино-групп, являлся спиртовой раствор ФАТ. При использовании в качестве замедлителя горения и фосфата 5-аминотетразола, и АН-10 отмечается снижение тепловыделения, времени самостоятельного горения и степени повреждения огнезащищенного образца ПЭТФ (таблица 1).

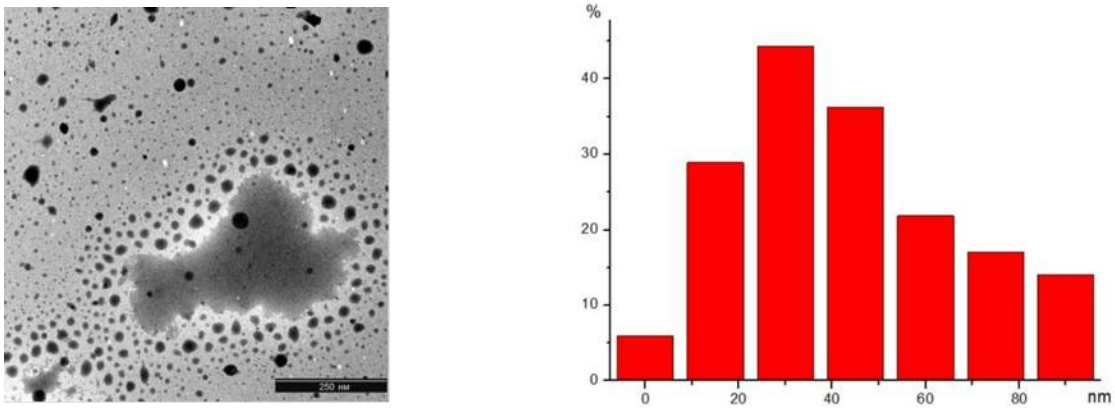
Таблица 1 – Огнестойкие и термические свойства полиэфирного нетканого материала, обработанного ЗГ, после стирок

| Образец | Время горения, с | Образо-вание капель | Длина обугленного участка, мм | Классификация по горючести | Тепловыделение, Дж/г |
|---|---|---|---|---|---|
| Исходный ПЭТФ | 35 | Есть | 160 | Легковоспламеняемый | 5817 |
| ПЭТФ – ФАТ | 9 | Нет | 70 | Легковоспламеняемый | 4791 |
| ПЭТФ – АН-10 | 3 | Нет | 21 | Трудновоспламеняемый | 3283 |
| ПЭТФ – $NH_4H_2PO_4$ | 32 | Есть | 115 | Легковоспламеняемый | 5629 |

Источник: Собственная разработка автора.

Однако сохранение огнезащитной эффективности после стирки имеет место только для состава АН-10 и его растворной части, содержащих по данным электронно-микроскопического исследования коллоидные частицы, размер которых находится в диапазоне 30–90 нм (рисунок 2, *а*). Размер частиц дисперсной составляющей этого же продукта – от 1 до 14 мкм (рисунок 2, *б*). Следует подчеркнуть, что коллоидные частицы

в объеме жидкой части формируются только для огнезамедлительного состава, включающего ионы переходных металлов – АН-10.



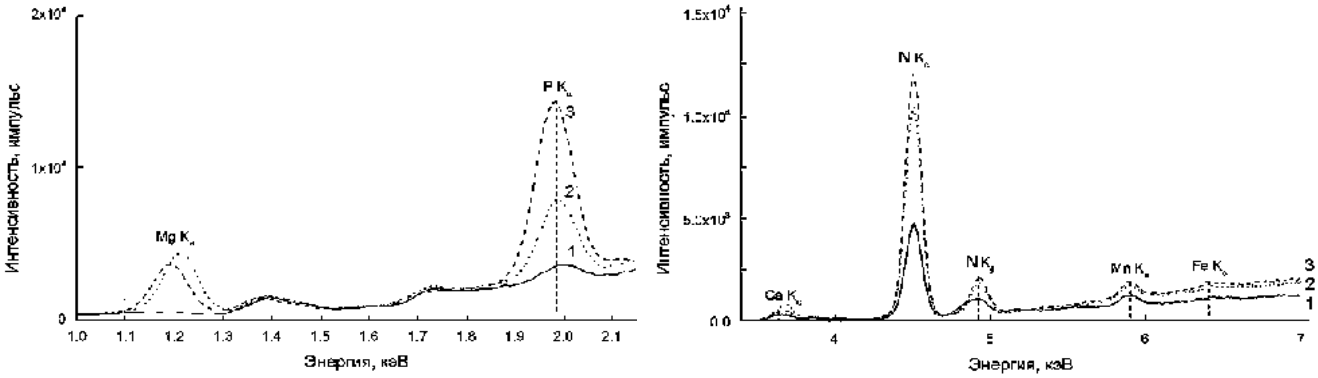

а б

**Рисунок 2. – Фотография (*а*) частиц растворной фазы состава АН-10; распределение по размерам (*б*) частиц дисперсной фазы огнезащитного состава АН-10**

Место Лаборатория спектрального анализа НИИ ФХП БГУ.
Дата проведения исследований: 15.05.2017 г.
Источник: собственное фото автора.

Причина столь существенного различия огнестойких свойств ПЭТФ, обработанного отличающимися по химическому и гранулометрическому составу ЗГ, как было определено методом рентгенофлюоресцентного анализа, заключается в разных количествах азота и фосфора (компонентов ЗГ), закрепленных в обработанном материале (рисунок 3).

В случае ФАТ эти количества явно недостаточны для получения требуемого огнезащитного эффекта (рисунок 3, кривая *2*), хотя наличие активной аминогруппы вносит некоторый вклад в химическое закрепление антипирена на полимере, но материал классифицируется как «легковоспламеняемый». При использовании АН-10 количества P и N, прикрепившиеся к ПЭТФ, существенно больше (рисунок 3, кривая *3*), следовательно, обработанный ПЭТФ соответствует категории «трудногорючий».



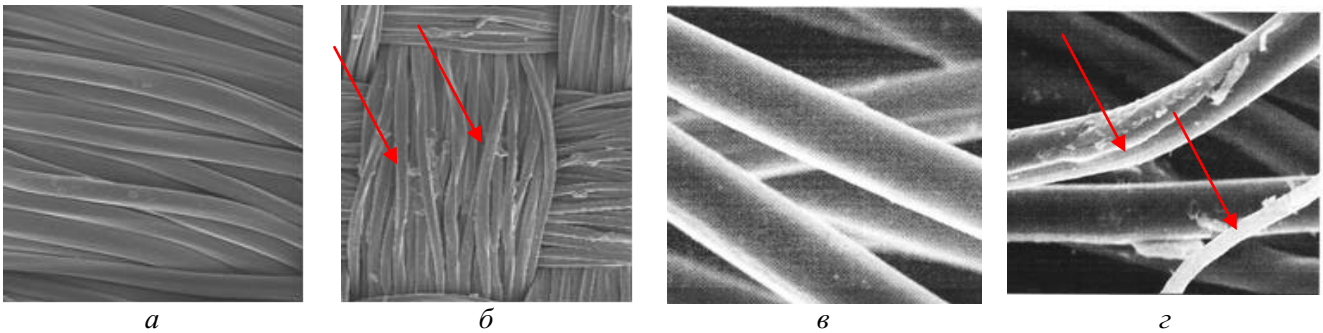

*а* *б*

*1* – исходный полиэфирный материал, *2* – обработанный ФАТ,
*3* – обработанный дисперсией АН-10 после стирок

**Рисунок 3. – Рентгенофлюоресцентные спектры, записанные в диапазоне энергий 1,0–2,3 кэВ (*а*) и 3,5–7 кэВ (*б*)**

Лаборатория НИИ ФХП БГУ. Дата проведения исследований: 24.05.2017 г.
Источник: собственное фото автора.

Методом сканирующей электронной микроскопии доказано присутствие частиц замедлителей горения на поверхности полиэфирных волокон, прошедших ступенчатую обработку (рисунок 4), что является одним из доказательств химического взаимодействия замедлителя горения с полимерной матрицей при получении устойчивого к стиркам огнезащитного эффекта.



*а* *б* *в* *г*

**Рисунок 4. – Морфология поверхности исходных (*а, в*) и огнезащищенных АН-10 (*б, г*) полиэфирных волокон. Лаборатория спектрального анализа НИИ ФХП БГУ**

Дата проведения исследований: 16.03.2017 г.

Источник: собственная разработка фото автора.

В результате поэтапных исследований была доказана не только необходимость в составе огнезащитной композиции группировок определенного химического состава (амино- и имино-групп) для обеспечения водостойкого огнезащитного эффекта, но и формирования в замедлителе горения коллоидных частиц в определенном диапазоне размеров, способных к химическому взаимодействию с полиэфирной матрицей, в результате чего достигается сохранность огнезащитного эффекта после стирок материала. Недостатком разработанной технологии является ее многостадийность; с точки зрения осуществления технологического процесса огнезащитной обработки ПЭТФ, в производственных условиях необходимо стремиться к сокращению стадий этого процесса.

На следующем этапе исследований был проведен синтез новых аммонийно-фосфатных и металло-фосфатных замедлителей горения, представляющих собой тонкодисперсные системы, или коллоидные растворы, допированные ионами многовалентных металлов и представляющие собой совмещенные композиции, одновременно выполняющие функции активатора полимерной поверхности и замедлителя горения. Ряд изученных композиций содержал также нанодисперсные частицы соединений Sn (II), которые выполняют функции интермедиатора. Было проведено исследование влияния концентрации и природы компонентов, порядка их введения в композицию, природы нейтрализующего агента и способа нейтрализации на стабильность, дисперсность и огнезащитную эффективность полученных композиций по отношению к ПЭТФ. Массовое соотношение компонентов реакционной смеси, природа нейтрализующего агента и pH среды полученных композиций представлены в таблицах 2, 3.

Найдено, что при нейтрализации фосфата металла растворами KOH, NaOH, $NaHCO_3$ образующиеся продукты рентгеноаморфны, тогда как в случае раствора аммиака наряду с дигидрофосфатами аммония ($NH_4H_2PO_4$) обнаружено присутствие дигидро- и гидрофосфатов металлов-аммония (таблица 2).

Таблица 2 – Массовые соотношения компонентов синтетических огнезащитных составов на основе аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов

| Серия | № обр. | Массовое соотношение компонентов замедлителя горения | | | | | | | | | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MgO | CaO | ZnO | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $Cr_2O_3$ | $P_2O_5$ | $NH_3$ | $K_2O$ | |
| I | 1 | | | | | | | | 3,52 | – | 5,0 |
| | 2 | | | | | | | | – | 6,89 | 5,0 |
| | 3 | 1 | | | | | | 10,65 | 1,58 | 1,46 | 4,0 |
| | 4 | | | | | | | | 0,86 | 1,17 | 4,0 |
| | 5 | | | | | | | | 1,94 | 0,90 | 4,5 |
| | | | | | | | | | | | |
| II | 1 | | | | | | | | 1,73 | – | 5,0 |
| | 2 | | | | | | | | – | 3,48 | 4,5 |
| | 3 | | 1 | | | | | 7,61 | 1,15 | 1,02 | 4,5 |
| | 4 | | | | | | | | 0,83 | 1,49 | 4,0 |
| | 5 | | | | | | | | 1,31 | 0,57 | 4,5 |
| | | | | | | | | | | | |
| III | 1 | | | | | | | | 1,34 | – | 5,0 |
| | 2 | | | | | | | | – | 2,45 | 4,0 |
| | 3 | | | 1 | | | | 5,26 | 0,59 | 0,54 | 4,0 |
| | 4 | | | | | | | | 0,69 | 1,31 | 4,0 |
| | 5 | | | | | | | | 1,29 | 0,58 | 4,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| IV | 1 | | | | | | | | 2,26 | – | 4,5 |
| | 2 | | | | | | | | – | 4,34 | 4,0 |
| | 3 | | | | 1 | | | 11,42 | 0,71 | 0,66 | 4,0 |
| | 4 | | | | | | | | 0,88 | 1,65 | 4,0 |
| | 5 | | | | | | | | 0,96 | 0,45 | 4,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| V | 1 | | | | | | | | 1,83 | – | 4,5 |
| | 2 | | | | | | | | – | 4,94 | 4,5 |
| | 3 | | | | | 1 | | 7,28 | 1,29 | 1,14 | 4,0 |
| | 4 | | | | | | | | 0,89 | 1,66 | 4,0 |
| | 5 | | | | | | | | 1,65 | 0,75 | 4,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| VI | 1 | | | | | | 1 | 5,61 | 1,33 | – | 5,0 |

Источник: собственная разработка автора.

Исследования устойчивости огнезащитной обработки к стиркам показали, что наиболее высокую сохранность огнезащитного эффекта проявляют полиэфирные текстильные материалы, обработанные коллоидными фосфатами кальция (таблица 2, серия II). В соответствии с этим дальнейшее исследование по устойчивости огнезащитного эффекта к водным обработкам проводили с использованием продуктов, полученных на основе кальциевой фосфорной связки.

Для выбора лучшего варианта огнезащитного состава исследовали влияние природы нейтрализующих агентов (NaHCO, $KHCO_3$, этилендиамид); условий приготовления модифицирующего агента-хлорида олова (спиртовой и кислый водный раствор $SnCl_2$); наличие в составе подклеивающего агента – полиакриламида (таблица 3).

Таблица 3 – Соотношение основных компонентов и свойств растворов ЗГ, синтезированных на основе кальций-фосфатной связки

| № ЗГ | Мольные соотношения основных компонентов ЗГ | | | | | | | | Нейтрализующий агент | Модифицирующий агент | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CaO | $P_2O_5$ | $Na_2O$ | $K_2O$ | $CO_2$ | SnO | HCl | $NH_3$ | | | |
| 1.1 | 1 | 3,0 | 0,41 | 0 | 0,82 | 0 | 0 | 0 | $NaHCO_3$ | – | 0 |
| 1.2 | 1 | 3,0 | 0,82 | 0 | 1,64 | 0 | 0 | 0 | $NaHCO_3$ | – | 3 |
| 1.3 | 1 | 3,0 | 0,41 | 1,97 | 1,64 | 0 | 0 | 0 | $NaHCO_3$, $KHCO_3$ | – | 3 |
| 1.4 | 1 | 3,0 | 0,49 | 0 | 0,82 | 0 | 0 | 0,16* | $NaHCO_3$ | ЭДТА, 10%-ный р-р, 10 мл | 0 |
| 1.5 | 1 | 3,0 | 0,41 | 0 | 0,82 | 0 | 0 | 0 | $NaHCO_3$, $KHCO_3$ | ПАА, 5%-ный р-р, 5 мл | 0 |
| 1.6 | 1 | 3,0 | 0,41 | 1,97 | 4,76 | 2,0 | 0 | 0 | $NaHCO_3$ | $SnCl_2$ (спиртовой р-р) | 3 |
| 1.7 | 1 | 3,0 | 0,41 | 0 | 0,82 | 2,0 | 6,1 | 0 | $NaHCO_3$ | $SnCl_2$ + HCl (водный р-р) | 1 |
| 1.8 | 1 | 3,0 | 0,41 | 0 | 0,82 | 3,0 | 9,15 | 0 | $NaHCO_3$ | $SnCl_2$ + HCl (водный р-р) | 0 |
| 1.9 | 1 | 3,0 | 0,41 | 0 | 0,82 | 2,0 | 6,1 | 0 | $NaHCO_3$ | $SnCl_2$ + HCl (водный р-р); ПАА, 5%-ный р-р, 5 мл | 1 |

Примечание – *содержание азота в ЭДТА в пересчете на $NH_3$.

Источник: Собственная разработка автора.

Как следует из сопоставительных данных огневых испытаний, сохранение огнезащитного эффекта на ПЭТФ после стирок наблюдается для тех случаев, когда антипирен представляет собой коллоидную систему с размерами частиц до 50–60 нм: образцы № 1.1; № 1.7–№ 1.10 (таблица 4).

Таблица 4 – Огнестойкие свойства полиэфирного материала с применением кальцийсодержащих продуктов после стирок

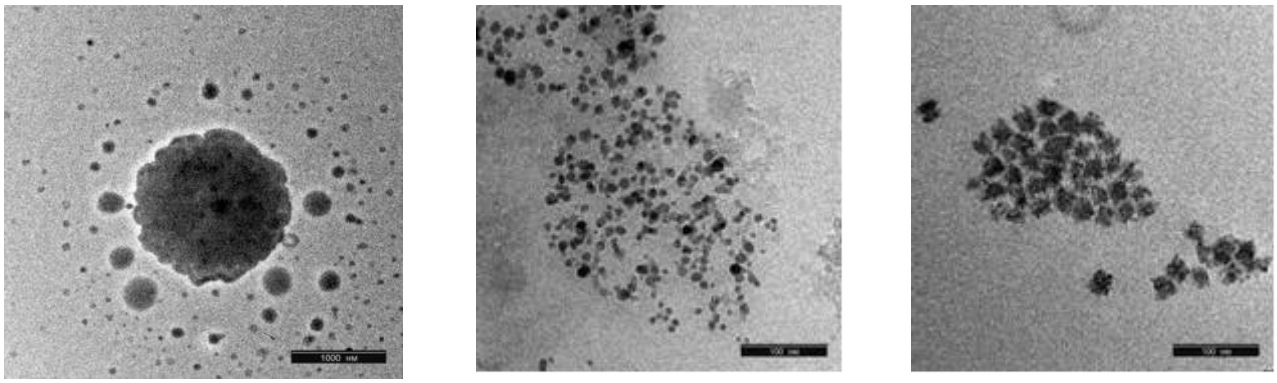
| Образец № ЗГ | Время горения, с | Образование капель | Длина обугленного участка | Классификация по горючести |
|---|---|---|---|---|
| 1.1 | 2 | Нет | 15 | Трудновоспламеняемый |
| 1.2 | 9 | Нет | 30 | Легковоспламеняемый |
| 1.3 | 10 | Нет | 23 | Легковоспламеняемый |
| 1.4 | 8 | Есть | 18 | Легковоспламеняемый |
| 1.5 | 11 | Есть | 19 | Легковоспламеняемый |
| 1.6 | 5 | Есть | 29 | Легковоспламеняемый |
| 1.7 | 2 | Нет | 21 | Трудновоспламеняемый |
| 1.8 | 3 | Нет | 18 | Трудновоспламеняемый |
| 1.9 | 5 | Нет | 25 | Трудновоспламеняемый |
| 1.10 | 2 | Нет | 12 | Трудновоспламеняемый |

Примечание – образец №1.10 обработан зарубежным ЗГ (Aflammit, компания THOR).

Источник: Собственная разработка автора.

Электронно-микроскопическое исследование подтвердило наличие частиц коллоидных размеров (10–50 мкм) в растворах № (I+II).6, № II.6, № 1.8, № 1.9 и № 5.2

(рисунок 5). Необходимо отметить положительное влияние на способность закрепляться огнезащитного состава на полимерной матрице присутствия в нем коллоидных частиц соединений олова. Содержание компонентов ЗГ в ПЭТФ, обработанных различными огнезащитными составами, определенное методом рентгенофлуоресцентного анализа, приведено в таблице 5.




*а* *б* *в*

**Рисунок 5. – Электронно-микроскопические снимки коллоидных частиц в огнезащитных составах: *а* - II.6; *б* – ОС 24; *в* – ОС 8**

Лаборатория электронной микроскопии НИИ ФХП БГУ.
Дата проведения исследований: 19.10.2017 г.
Источник: Собственные фото автора.

Анализ данных таблиц 5 и 6 показал, что количество фосфора, необходимое для обеспечения требуемого уровня огнестойкости ПЭТФ ткани, составляет не менее 1.3–1,5 %. Так, образцы № 1.6 и № 1.7 характеризуются различным содержанием медиативного агента (олова) при одинаковом содержании кальция; количество фосфора в 3 раза выше на образце с повышенным содержанием олова; этот же образец проявляет устойчивость огнезащиты к стиркам. Следовательно, соединения олова обеспечивают химическое взаимодействие между ПЭТФ и компонентами огнезамедлительной системы.

Таблица 5 – Элементный состав исходной и огнезащищенной полиэфирной ткани после стирок

| Образец | Содержание, % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | P | K | Ca | Mn | Fe | Sn |
| Исходный ПЭТФ ткань | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,00 |
| ПЭТФ- образец № 1.6 | 0,62 | 0,03 | 0,29 | 0,05 | 0,03 | 0,006 |
| ПЭТФ- образец № 1.7 | 1,52 | 0,07 | 0,28 | 0,05 | 0,06 | 0,01 |
| ПЭТФ-Алофамит | 1,33 | 0,01 | 0,18 | 0,04 | 0,07 | 0,01 |

Источник: Собственная разработка автора.

Таким образом, были определены наиболее эффективные рецептура металлофосфатного замедлителя горения и способ синтеза композиции. Доказано, что новые нанодисперсные замедлители горения позволяют совместить стадии травления, активации и огнезащитной обработки в одну, уменьшить время огнезащитной обработки и обеспечить устойчивость огнезащиты ПЭТФ материала.

Результаты исследований по закреплению на поверхности ПЭТФ различных огнезащитных композиций и огневых испытаний подтверждаются данными дифференциально-сканирующей калориметрии (рисунок 6). Так, для исходного ПЭТФ в процессе нагрева потеря массы за счет отщепления мономеров и дефектных концевых групп зафиксирована при температуре ~350 °С (рисунок 6, *а*). Процесс выделения газообразных продуктов за счет полной термодеструкции макромолекул полиэфира и разрушения мономеров с очень значительной потерей массы ~84 % резко интенсифицируются в температурном интервале 400–420 °С.

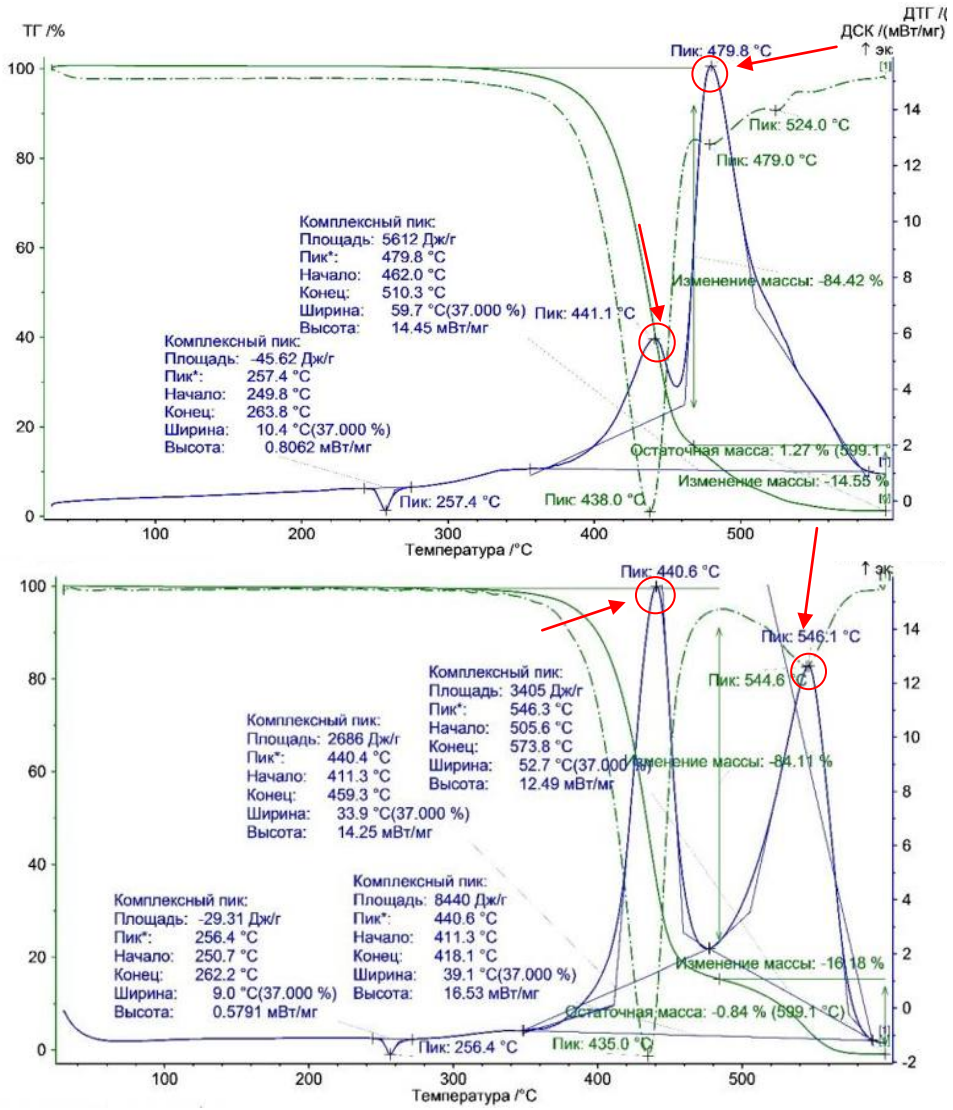



**Рисунок 6. – Термогравиметрические кривые исходного (*а*) и огнезащищенного *(б)* образцов ПЭТФ композицией 1.7**

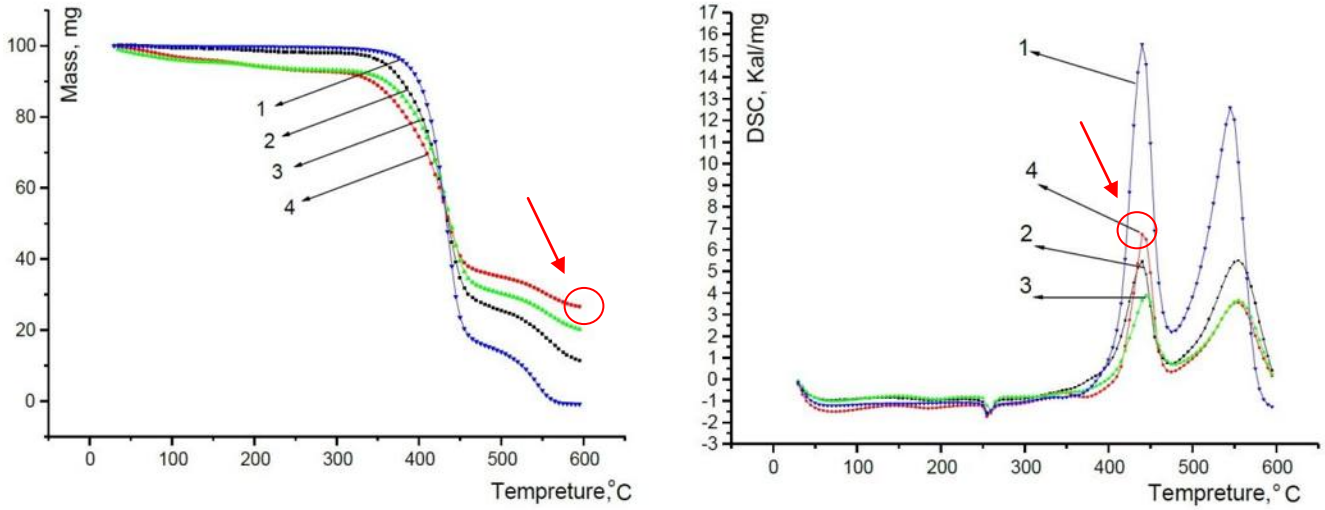
Лаборатория спектрального анализа НИИ ФХП БГУ. Дата проведения исследований: 02.03.2017 г.
Источник: Собственные фото автора.

При дальнейшем повышении температуры до 446,8 °С начинается активное пламенное горение газообразных продуктов разложения полиэфира со значительным выделением тепла – 8440 Дж/г.

После сгорания полиэфирного материала остаточная коксовая масса составляет всего 0,84 % от исходной. В случае нанесения на полиэфирный материал огнезащитной композиции № 1.7 (включающего наночастицы соединений Sn) (рисунок 6, *б*) потеря массы образцом при 360 °С (начало активной термодеструкции) составляет всего 6,83 %

и соответствует, скорее, удалению связанной воды и легколетучих компонентов огнезащитной композиции. Очень важным моментом является уменьшение потери массы образцом к первому пику пламенного горения – с 84 до 62,78 %. Кроме того, тепловыделение при сгорании продуктов деструкции огнезащищенного материала существенно снижается – до 2927 Дж/г (рисунок 6, *б*). Остаточная коксовая масса 19,9 % практически в 20 раз превышает таковую для исходного ПЭТФ и в 10 раз аналогичные показатели у материалов, обработанных зарубежными составами Aflammit и Pekoflame. В огнезащищенном образце четко прослеживается формирование беспористого коксового слоя на границе раздела фаз, что приводит к затруднению выхода продуктов деструкции полимера в газовую фазу и, как следствие, исчезновению пламенного горения материала.

Доказано, что новые огнезащитные композиции существенно замедляют термодеструкцию обработанных текстильных материалов и увеличивают остаточную коксовую массу – до 18–26 мас. % (рисунок 7, *а*). Одновременно происходит снижение тепловыделения при сгорании продуктов деструкции ПЭТФ (рисунок 7, *б*), причем наилучшими показателями характеризуются полиэфирные ткани, обработанные ЗГ, содержащими как соединения олова, так и нанодисперсные металлофосфаты.




*а* *б*

*а* - кривые (ТГ); *б* - кривые ДТА

**Рисунок 7. – Данные комплексного термического анализа для исходного (*1*) и огнезащищенного ПЭТФ: обработанного ОС-1.6 (*2*), ОС-1.8 (*3*), ОС-1.7 (*4*)**

Лаборатория спектрального анализа НИИ ФХП БГУ.

Дата проведения испытаний: 15.03.2017 г.

Источник: собственные данные автора.

**Четвертая глава «Адаптация технологии огнезащитной обработки полиэфирных текстильных материалов к производственным условиям»** посвящена адаптации разработанной технологии огнезащитной обработки полиэфирных материалов к производственным условиям.

Во время производственных испытаний на предприятиях ОАО «Моготекс», ОАО «Ручайка» использовался замедлитель горения из экспериментальной партии, полученной в условиях химического производства ОАО «ТикраБел». На технологической линии предприятия осуществлено изготовление огнезащитного состава на основе фосфатов двухвалентных металлов-аммония, предназначенного для

огнезащитной обработки полиэфирных материалов. Объем наработки составил 50 кг. Основными компонентами рецептуры в пересчете на оксиды являлись: CaO, SnO, MgO, $Al_2O_3$, ZnO, $P_2O_5$. Синтез состава осуществлялся в две стадии: 1) получение металлофосфатной связки; 2) нейтрализация металлофосфатной связки.

Состав в условиях химического производства сначала получали на лабораторной установке (рисунок 8, *а*), после дублировали технологию получения ЗГ на производственном участке синтеза ОАО «ТикраБел» (рисунок 8, *б*). Полученный состав стабилен и безопасен. Технология получения огнезащитного композиционного состава может быть использована в дальнейшем ООО «ТикраБел» при его промышленном производстве. Ориентировочная стоимость 1 кг синтезированного огнезащитного вещества составит **17,5–20,0** бел. руб., что существенно дешевле зарубежных аналогов. С учетом объемов производства, порядка 9,0 – 12,0 т в год, суммарная экономия в год может составить **130,5–187,5** тыс. бел. руб.

*а*

*б*

*а* – миксер в производственной лаборатории; *б* – производственные миксеры

**Рисунок 8. – Участок по производству химических составов**
ОАО «ТикраБел». Дата проведения испытаний: 28.08.2018 г.
Источник: собственное фото автора.

В качестве объектов для проведения производственных испытаний были выбраны: крупнейший на постсоветском пространстве производитель спецодежды для силовиков, газовиков, госпогранкомитета ОАО «Моготекс» (г. Могилев); и ОАО «Кобринская прядильно-ткацкая фабрика «Ручайка», которая является крупным производителем промышленных тканей (от основной деятельности 48,8 % приходится на производство технических тканей, 18,7 % – на пряжу и 32,5 % – на ткани с отделкой ПВХ).

На производственном участке ОАО «Моготекс» было проведено испытание препарата для трудновоспламеняемой отделки ткани с артикулом 05С8-КВ, ПЭТФ – 100 % (рисунок 9, *а*), поверхностная плотность – 218 г/м². Также в условиях лаборатории ОАО «Ручайка» было проведено испытание препарата для трудновоспламеняемой отделки полиэфирной ткани артикул 11С-428, ПЭТФ – 100 % (рисунок 9, *б*), поверхностная плотность – 211,3 г/м$^2$.

*а* *б*

*а* – отделочный участок производственной лаборатории ОАО «Моготекс»;
*б*– отделка в сушильно-ширильной машине во время производственных испытаний технологии огнезащитной обработки на производстве ОАО «Ручайка»

**Рисунок 9. – Производственные испытания технологии огнезащитной обработки и нового ЗГ**
ОАО «Ручайка», ОАО «Моготекс».
Дата проведения испытаний: 29.08.2018 г. и 02.11.2016 г.
Источник: Собственные фото автора.

После нанесения нового огнезащитного состава на полиэфирные ткани на производственных участках данных предприятий был проведен комплекс физико-механических испытаний обработанных материалов, по результатам которых оформлены паспорта проведения испытаний, свидетельствующие о соответствии испытанных образцов требованиям, предъявляемым к тканям, прошедшим огнезащитную обработку. По результатам апробации синтезированной огнезащитной композиции и технологии ее нанесения был оформлен протокол, в котором указывается, что новый синтетический огнезащитный состав отвечает ряду предъявляемых требований и может в перспективе послужить альтернативной заменой действующих огнезащитных композиций для трудногорючей отделки тканей.

По результатам проведенных испытаний в условиях производства были оформлены акты, в которых указано:

I. При соблюдении рекомендаций предприятия технология огнезащитной обработки полиэфирных тканей, разработанная в Университете гражданской защиты МЧС Беларуси, может быть адаптирована к производственным требованиям предприятия ОАО «Ручайка».

II. В результате испытаний огнезащитных свойств антипирена, синтезированного Лукьяновым А.С. в условиях производственной лаборатории ОАО «Моготекс», установлено, что обработанный материал соответствует требованиям СТБ 11.03.02–2010.

Антипирен, разработанный в ходе диссертационного исследования, при реализации сформулированных ОАО «Моготекс» рекомендаций может послужить альтернативной заменой действующих огнезащитных препаратов для трудновоспламеняемой отделки полиэфирных и хлопковых тканей.

Результаты лабораторных испытаний на ОАО «Моготекс»:

- ткани, обработанные составом с 17,5% содержанием ЗГ и pH=5.0, в целом удовлетворяют предъявляемым на производстве условиям;

- ткани, обработанные составом с 30% содержанием ЗГ и pH=5.0, которые подвергались стирке, удовлетворяют требованиям по результатам огневых испытаний; физико-механические показатели не изменились;

- ткани, обработанные составом с 60% содержанием ЗГ и pH=2.0, прошли успешно огневые испытания, однако наблюдалось охрупчивание материала после обработки из-за высокой кислотности препарата.

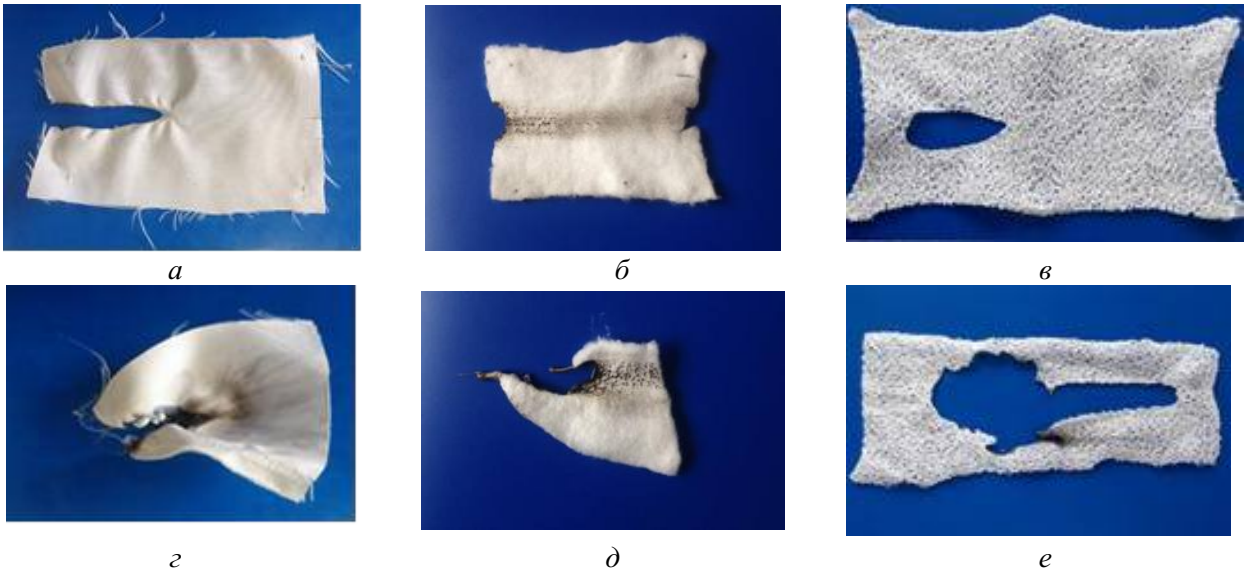
Также от представителей ОАО «Моготекс» поступили следующие рекомендации:

1. Для улучшения огнезащитных свойств материала рекомендовано уменьшить концентрацию нового огнезащитного состава при обработке полиэфирной ткани.

2. Уменьшить кислотность раствора антипирена для устранения охрупчивания смесового материала из полиэфира и хлопка при огнезащитной обработке.

3. Обработанные образцы дополнительно протестировать в испытательной лаборатории научно-практического центра при Могилевском областном управлении по ЧС.

III. Огневые испытания образцов ткани, обработанных на ОАО «Моготекс», проводились в аккредитованной испытательной лаборатории научно-практического центра при Могилевском областном управлении по ЧС (далее НПЦ МОУ МЧС). По результатам испытаний образцы полотна трикотажного, арт. 05С19КВ (вид отделки: стабилизированное, с трудновоспламеняемой отделкой; после 5 стирок), согласно испытаниям по СТБ 11.03.02–2010 «Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний», п.6.6, классифицированы как «трудновоспламеняемые» (рисунок 10).




*а* – ПЭТФ ткань прошедшая обработку ЗГ 1.7; *г* – исходная ПЭТФ ткань;
*б* – волокнистая ПЭТФ ткань прошедшая обработку ЗГ 1.7; *д* – исходная волокнистая ПЭТФ ткань;
*в* – ПЭТФ гардины прошедшие обработку ЗГ 1.7; *е* – исходные гардины

**Рисунок 10. – ПЭТФ ткань, прошедшая огневые испытания**
Университет гражданской защиты МЧС Беларуси.
Дата проведения испытаний: 29.08.2018 г. и 15.11.2016 г.
Источник: Собственные фото автора

Технология нанесения нового неорганического антипирена на поверхность ПЭТФ материала была адаптирована к производственным условиям и апробирована на действующих производственных линиях. Стоимость нового замедлителя горения в 2 раза меньше зарубежных аналогов, используемых на отечественных предприятиях.

Таким образом, новые огнезащитные композиции на основе аммонийных металлофосфатов многовалентных металлов и технология их нанесения на поверхность ПЭТФ обеспечивают закрепление ЗГ на волокне, устойчивость его к стирке и могут

быть использованы в производственных циклах с получением огнезащищенных материалов.

**Основные научные результаты диссертации**

1. В результате комплексных исследований [1, 4 – 6] доказано прямое влияние на эффективность огнезащитной обработки ПЭТФ следующих показателей: состав и температура раствора травления; наличие стадии обработки в $SnCl_2$; температура, время и условия сушки обработанного ПЭТФ; наличие термофиксации огнезащитной композиции [5 – 9, 11, 14].

2. Разработана ступенчатая технология огнезащитной обработки текстильных полиэфирных материалов. Экспериментально выявлены условия стадий предварительной активации и сушки/термофиксации материала, обеспечивающие закрепление на поверхности ПЭТФ как неорганических, так и органических огнезащитных композиций, устойчивых к стирке. Методом рентгенофлюоресцентного анализа доказано присутствие частиц ЗГ на поверхности ПЭТФ волокон после стирок. Огневыми испытаниями огнезащищенных полиэфирных материалов, обработанных в соответствии с оптимальной методикой, показано, что они соответствуют классу «трудногорючий» [7, 13, 24, 28].

3. Методом математического планирования эксперимента определены значения коэффициентов в уравнении регрессии, учитывающем концентрацию компонентов раствора активатора, оказывающих влияние на эффективность огнезащиты ПЭТФ. Исходя из математической зависимости влияния на количество закрепившегося на ПЭТФ огнезащитного состава концентраций компонентов раствора активации установлено, что фосфорная кислота ($H_3PO_4$) и соляная кислота (HCl) в соотношении 1:2,8 вносят определяющий вклад в образование активных групп на поверхности полиэфира, тогда как уксусная и серная кислоты имеют второстепенное значение. Разработан новый состав травления полиэфирного материала, обеспечивающий хемопривязку к полиэфирному материалу неорганического антипирена в количестве, достаточном для достижения водостойкого огнезащитного эффекта. Экспериментально выявлены условия стадии активации – оптимальный температурный диапазон составляет 20 – 25 ºС, временной интервал – 1–2 мин. Установлен оптимальный диапазон эффективного количества ЗГ (2,56 – 3,30 мас. %) для достижения устойчивого к стирке огнезащитного эффекта [4].

4. Установлено, что химическая природа азотсодержащих компонентов ЗГ не оказывает определяющего влияния на закрепление ЗГ на полиэфирной ткани. Доказано, что прочное закрепление на ПЭТФ азот-фосфорсодержащих антипиренов с обеспечением стойкого огнезащитного эффекта происходит в случае присутствия в огнезащитной композиции коллоидных частиц соединений переходных металлов. Наличие этих частиц в синтетических дисперсиях ЗГ в диапазоне 30–80 нм доказано методом электронной микроскопии [3,5].

5. Разработаны новые тонкодисперсные замедлители горения, представляющие собой аммонийные металлофосфаты с включением ZnO, CaO, MgO, SnO, $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$. Изучено влияние соотношения компонентов, способов синтеза и условий нейтрализации на однородность, стабильность, pH и огнезащитные свойства полученных составов по отношению к ПЭТФ. При сопоставлении огнезащитной эффективности синтезированных продуктов выявлено, что регулирование pH аммонийной металлофосфатной антипиреновой композиции в диапазоне 2,5–3,5 приводит к улучшению ее огнезащитных свойств. Установлено, что наивысшей огнезащитной

эффективностью по отношению к полиэфирной ткани характеризуются нанодисперсные продукты с соотношением компонентов $CaO:NH_4:P_2O_5$=2:3:12, полученные путем последовательного синтеза [23, 25 – 26].

6. Доказано, что системы, обеспечивающие устойчивую огнестойкость ПЭТФ, содержат наноразмерные коллоидные частицы соединений Sn(II) и других переходных металлов. Установлено, что способ регулирования pH и буферной емкости раствора в процессе синтеза существенно влияет на размеры частиц в объеме композиции (от 20 нм до 0,2 мкм), стабильность дисперсии во времени.

7. Новые огнезащитные составы позволили совместить стадии активации, нанесения интермедиатора и огнезащитной обработки в одну, что существенно уменьшает энергоемкость процесса и время огнезащитной обработки при сохранении устойчивых огнезащитных свойств материала [3, 5 – 7, 12 – 14]. Трудногорючие ПЭТФ материалы были получены в результате пропитки материала в одну стадию композицией $CaO:MgO:P_2O_5:SnO$ в соотношении 2:3:6:1 мас. %, pH до 2,5, с термофиксацией ЗГ при $T$ = 190 ºС. Аналогичные результаты были получены при обработке ткани в две стадии: предварительное кислое травление и пропитка в композиции, содержащей CaO: $MgO:NH_3$ = 3:1:1, термофиксация при $T$ = 200 ºС в течение 2 мин [23, 25 – 26].

**Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Разработана рецептура нового нанодисперсного огнезащитного состава на основе фосфатов двухвалентных металлов-аммония, предназначенного для огнезащитной обработки полиэфирных материалов. Выпущена на производственном участке синтеза ОАО «ТикраБел» экспериментальная партия нового замедлителя горения, использованного в дальнейших испытаниях. Объем наработки составил 50 кг.

2. Разработана и апробирована на действующих производственных линиях ОАО «Моготекс» и ОАО «Кобринская прядильно-ткацкая фабрика «Ручайка» технология нанесения нового неорганического антипирена на поверхность ПЭТФ материала. По результатам апробации оформлен протокол, в котором указывается, что разработанная технология соответствует параметрам производства, а синтезированный новый тонкодисперсный огнезащитный состав является в перспективе альтернативной заменой действующих огнезащитных композиций для трудногорючей отделки тканей.

3. В научно-практическом центре при Могилевском областном управлении МЧС проведены сертифицированные огневые испытания в аккредитованной лаборатории. По результатам испытаний материалы, прошедшие огнестойкую отделку новым синтезированным составом по разработанной технологии, классифицированы как «трудногорючие».

4. Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс Государственного учреждения образования «Университета гражданской защиты МЧС Беларуси» по темам 9 «Дисперсные системы» и 21 «Полимеры и материалы на их основе» дисциплины «Специальная химия».

5. Рецептура полученной огнезащитной композиции может быть откорректирована для смесовых тканей с различным составом, также может быть адаптирована технология его нанесения (температурный режим, временные интервалы). Состав достаточно универсален для различного сортамента материалов, содержащих полиэфирные волокна, и может быть использован предприятиями Республики Беларусь для импортозамещения зарубежных антипиренов.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в научных рецензируемых журналах

1. Рева, О.В. Определение оптимального метода создания наноструктурированных композиций на основе полиэфирных матриц, обладающих перманентной огнестойкостью / О.В. Рева, **А.С. Лукьянов** / Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 35–43.

2. Рева, О.В. Зависимость эффективности огнезащиты нетканого полиэфирного материала от химической природы азот-фосфорсодержащего антипирена / О.В. Рева, В.В. Богданова, **А.С. Лукьянов,** С.С. Перевозников, Т.Н. Андреева // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 3, Химия. Биология. География. – 2017. – С. 78–85.

3. **Лукьянов, А.С.** Эффективная огнезащитная обработка текстильных материалов на основе полиэфира / **А.С. Лукьянов** // Вестн. Белорус. респ. фонда фундамент. исслед.– 2017. – Сер. № 4/17. – С. 65–75.

4. Рева, О.В. Получение оптимального состава травильной композиции для полиэфирных материалов методом математического планирования эксперимента / О.В. Рева, **А.С. Лукьянов** // Вестн. Ун-та граждан. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 45–53.

### Материалы и доклады конференций

5. Рева, О.В. Наноинтермедиаторы для прививки огнезащитных композиций к полиэфирным материалам / О.В. Рева, В.В. Богданова, З.В. Шукело, **А.С. Лукьянов** // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВПО Воронеж. ин-т ГПС МЧС России; редкол: Ю.Н.Зенин [и др.].. – Воронеж, 2013. – Ч.1. – С. 398–403.

6. Рева, О.В. Химическая прививка неорганических огнезащитных композиций к полиэфирным материалам / О.В. Рева, **А.С. Лукьянов** // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: тез. докл. VIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 3–4 апр. 2014 г. : в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь; редкол.: И.И.Полевода [и др.]. – Ч. 1. – Минск, 2014. – С. 63–64.

7. **Лукьянов А.С.** Эффективная огнезащита полиэфирных нетканых материалов / **А.С. Лукьянов** // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: тез. докл. молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Гомель, 21 мая, 2015 г. / Гомел. инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь; редкол.: А.Э.Набатова [и др.]. – Гомель, 2015. – С. 62–63.

8. Огнезащитная обработка полиэфирных волокон / О.В. Рева, В.В. Богданова, А.Н. Назарович, **А.С. Лукьянов,** Л.В. Радкевич // Сб. тез. и докл. V Междунар. конференции-школы по химии и физикохимии олигомеров, Волгоград, 1–6 июня 2015 г. / ВолгГТУ; редкол.: М.П.Березин [и др.]. – Волгоград, 2015. – С. 244–245.

9. Рева, О.В. Придание перманентной огнестойкости полиэфирным нетканым утеплителям / О.В. Рева, **А.С. Лукьянов** // Пожарная и аварийная безопасность: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Иваново, 26–27 нояб. 2015 г. / ФГБОУ ВПО Иванов. ин-т ГПС МЧС России; редкол.: И.А.Малого [и др.]. – Иваново, 2015. – С. 253–257.

10. Рева, О.В. Химическая прививка огнезащитных композиций к полиэфирным материалам / О.В. Рева, **А.С. Лукьянов** // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов

(аспирантов), Минск, 2–3 апр. 2015 г.: в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь; редкол.: И.И. Полевода [и др.]. – Ч. 1. – Минск, 2015. – С. 42–43.

11. Ступенчатая активация поверхности полиэфирных волокон для водостойкой огнезащитной обработки / О.В. Рева, В.В. Богданова, **А.С. Лукьянов**, А.Н. Назарович // «Полимерные композиты и трибология» (Поликомтриб-2015): тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 23–26 июня 2015 г. / Ин-т механики металлополимерных систем им. В.А. Белого; Нац. акад. наук Беларуси. редкол.: В.Н.Адериха [и др.]. – Гомель, 2015. – С. 25.

12. The effective fire protection of nonwoven polyether material / .O.V. Reva, V.V. Bogdanova, T.N. Andreeva, A.N. Nazarovich, **A.S. Luk`yanov** // Sviridov Readings 2015: 7th Intern. Conf. on Chemistry and Chemical Education, Minsk, Belarus, 7–11 April, 2015: Book of Abstr. – Minsk: Krasico-Print, BGU, 2015. – P. 94–95.

13. **Лукьянов, А.С.** Влияние химической природы антипирена на прочность его прививки к полиэфирным волокнистым материалам / **А.С. Лукьянов,** О.В. Рева // «Системы безопасности – 2016»: материалы 25-й Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 24 нояб. 2016 г. / АГПС МЧС России; редкол.: М.В.Алешков [и др.].. – Москва, 2016. – С. 60–63.

14. Рева, О.В. Влияние условий обработки полиэфирных материалов на эффективность прививки огнезащитных композиций / О.В. Рева, **А.С. Лукьянов** // Технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций: материалы Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 29 апр. 2016 г. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь; редкол.: И.И.Полевода [и др.]. – Минск, 2016. – С. 33–34.

15. Рева, О.В. Получение перманентной огнезащиты полиэтилентерефталата наноразмерными азот-фосфорсодержащими антипиренами / О.В. Рева, В.В. Богданова, **А.С. Лукьянов** // «Наноструктурные материалы–2016: Беларусь–Россия–Украина» (НАНО–2016): материалы V Междунар. науч. конф., Минск, 22–25 нояб. 2016 г. / Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по материаловедению; ред. совет: П.А. Витязь (пред.) [и др.]. – Минск, 2016. – С. 205–208.

16. Рева, О.В. Химическая прививка антипиренов различной природы к полиэфирным волокнистым материалам / О.В. Рева, **А.С. Лукьянов** // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 7–8 апр. 2016 г.: в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь; редкол.: И.И.Полевода [и др.]. – Ч. 1. – Минск, 2016 . – С. 59–60.

17. **Лукьянов, А.С.** Локализация очагов развития пожара путем применения огнестойких составов для полиэфирных тканей / **А.С. Лукьянов** // Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы : сборник материалов VII Междунар. науч.-практ. конф. - Кокшетау, 17 марта, 2017 г. / Кокшетаус. техн. ин-т МВД Респ. Казахстан; редкол.:С.Д.Шарипханов [и др.]. – Кокшетау, 2017. – С. 78–80.

18. **Лукьянов, А.С.** Огнезащищенное обмундирование для военнослужащих / **А.С. Лукьянов** // Гражданская защита: сохранение жизни, материальных ценностей и окружающей среды : II Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 1 марта, 2017г. / УГЗ; редкол.: И.И.Полевода [и др.]. – Минск, 2017. – С. 131–133. 18.

19. **Лукьянов, А.С.** Получение огнестойкого полиэфирного материала при помощи закрепления синтетических огнезащитных композиций на его поверхности / **А.С. Лукьянов //** Управление защитой от чрезвычайных ситуаций: безопасность человека и общества: совершенствование СР и УЗЧС: материалы I Междунар. науч.-практ. конф.,

Минск, 16-17 ноября 2017г. / Ун-т граждан. защиты МЧС Беларуси; редкол.: Г.Ф.Ласута [и др.]. – Минск, 2017. – С. 77–81.

20. **Лукьянов, А.С.** Получение устойчивой огнезащитной композиции для полиэфирных тканей на основе оксидов металлов / **А.С. Лукьянов** // Сб. материалов XI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 18-19 мая ,2017г. / Ун-т граждан. защиты МЧС Беларуси ; редкол.: И.И.Полевода [и др.]. – Минск, 2017. – С. 58–59.

21. **Лукьянов, А.С.** Прививка синтетических огнезащитных составов к полиэфирным материалам / **А.С. Лукьянов,** О.В. Рева, В.В. Богданова // Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций: противодействие современным вызовам и угрозам: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 11 апреля,2017г. / Ун-т граждан. защиты МЧС Беларуси; редкол.: Г.Ф.Ласута [и др.]. – Минск, 2017. – С. 152–155.

22. **Лукьянов, А.С.** Придание перманентной огнезащиты полиэфирному материалу азот-фосфорсодержащими антипиренами на основе оксидов металлов // Материалы VI Международ. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности-2017», Москва, 11–12 апр. 2017 г. / Акад. гос. противопожар. службы МЧС России; редкол.: М.В.Алешков [и др.]. – Москва, 2017. – С. 73–79.

23. **Лукьянов, А.С.** Разработка оптимального метода травления полиэфирных волокнистых материалов для ступенчатой пропиточной огнезащитной обработки / **А.С. Лукьянов,** О.В. Рева // Материалы 5-й междунар. науч.-практ. конф. «Ройтмановские чтения», Москва, 2017г./ АГПС МЧС России. редкол.: М.В.Алешков [и др.].– М., 2017. – С. 47–50.

24. **Лукьянов, А.С.** Синтетические огнезащитные составы для полиэфирной ткани на основе аммонийных металлофосфатов / **А.С. Лукьянов** // Полимерные материалы пониженной горючести: материалы VIII Междунар. конф., Алматы, Казахстан, 5-10 июня, 2017г. / Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби; редкол.: А.А.Берлин[и др.]. – Алматы, 2017. – С. 141–145.

25. **Лукьянов, А.С.** Ступенчатая огнезащитная обработка полиэфирных волокон различными антиципирующими композициями / **А.С. Лукьянов,** О.В. Рева // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: материалы V Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: Воронеж, 15–16 дек. 2016 г.: в 2 ч. / ФГБОУ ВО Воронеж. ин-т ГПС МЧС России; редкол.: Ю.Н.Зенин [и др.]. – Ч. 1. – Воронеж, 2016. – С. 34–36.

26. **Лукьянов, А.С.** Термостойкая обработка оперативно-служебного обмундирования силовых ведомств / **А.С. Лукьянов** // Актуальные проблемы обеспечения пограничной безопасности: междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 2017г. / Ин-т погран. службы Респ. Беларусь; редкол.: А.Е. Виноградов [и др.]. – Минск, 2017. – С. 287–290.

27. Рева, О.В. Устойчивая к стиркам огнезащита волокнистого полиэтилентерефталата / О.В. Рева, В.В. Богданова, **А.С. Лукьянов** // Полимерные материалы пониженной горючести : материалы VIII Междунар. конф., Алматы, Казахстан, 2017г. / Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби; редкол.: А.А.Берлин [и др.]. – Алматы, 2017. – С. 137–141.

**Патенты и заявки на изобретения**

28. Способ нанесения антипирена на поверхность волокнистых материалов из полиэфира: заяв. № u 20180246 BY / **А.С. Лукьянов,** О.В. Рева. – Заявл. 11.09.18.

# РЭЗЮМЭ

Лук'янаў Аляксандр Сяргеевіч

## УСТОЙЛІВАЯ ВОГНЕАХОВА ПОЛІЭФІРНАГА МАТЭРЫЯЛУ НАНАДЫСПЕРСНЫМІ ЗАПАВОЛЬНІКАМІ ГАРЭННЯ

**Ключавыя словы:** поліэфірныя валокны, нетаксічныя вогнеахоўныя кампазіцыі, азот-фосфаразмяшчальныя запавольнікі гарэння, сінтэтычныя антыпірэны, калоідныя часціцы злучэнняў мнагавалентных металаў.

**Мэта работы:** распрацаваць тэхналогію атрымання ўстойлівых да водных апрацовак вогнеахоўных тэкстыльных поліэфірных матэрыялаў з выкарыстаннем сінтэтычных нанадысперсных аммонійных фасфатаў двух-і трохвалентных металаў, усталяваць уплыў прыроды металу на фізіка-хімічныя ўласцівасці мадыфікаванага матэрыялу і ўстойлівасць вогнеахоўнага эфекту пры яго эксплуатацыі.

**Метады даследавання і апаратура.** Дыферэнцыяльная сканавальная каларыметрыя (NETZSTH STA 449 C), сканавальная электронная мікраскапія (LEO 1420), рентгенафлюарысцентная спектраскапія (PANalytical), атамна-эмісійная спектраскапія (ICP2060T), метады вызначэння вогнеўстойлівасці па СТБ 11.03.02-2010.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** Усталяванне паслядоўнасці і аптымальных умоў ажыццяўлення кожнай са стадый вогнеахоўнай апрацоўкі поліэфірнага тэкстыльнага матэрыялу неарганічнымі нетаксічнымі запавольнікамі гарэння; распрацоўцы складу і спосабу сінтэзу новай тонкадысперснай вогнеахоўнай кампазіцыі з уключэннем калоідных часціц на аснове злучэнняў мнагавалентных металаў і тэхналогіі яе нанясення, якая забяспечыць ПЭТФ матэрыялу ўстойлівы вогнеахоўны эфект.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні.** Вытворчасць Рэспублікі Беларусь: "Салігорск-Хімвалакно», ААТ «Магатэкс», ААТ «Стужка», Кобрынская прадзільна-ткацкая фабрыка "Ручайка" і іншыя вытворчасці. Прымяненне распрацаванага вогнеахоўнага складу і тэхналогіі яго нанясення дазволіць ажыццявіць імпартазамяшчальных замежных антыпірэнаў якія выкарыстоўваюцца на айчынных прадпрыемствах.

**Вобласць прымянення.** Тэхналогія вогнеахоўнай апрацоўкі можа быць выкарыстана на прадпрыемствах лёгкай прамысловасці, тэхналагічны працэс якіх уключае вогнеахоўнае аздабленне тканін.

## РЕЗЮМЕ

Лукьянов Александр Сергеевич

УСТОЙЧИВАЯ ОГНЕЗАЩИТА ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НАНОДИСПЕРСНЫМИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ ГОРЕНИЯ

**Ключевые слова:** полиэфирные волокна, нетоксичные огнезащитные композиции, азот-фосфорсодержащие замедлители горения, синтетические антипирены, коллоидные частицы соединений многовалентных металлов.

**Цель работы:** разработать технологию получения устойчивых к водным обработкам огнезащищенных текстильных полиэфирных материалов с использованием синтетических нанодисперсных аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов, установить влияние природы металла на физико-химические свойства модифицированного материала и устойчивость огнезащитного эффекта при его эксплуатации.

**Методы исследования и аппаратура.** Дифференциальная сканирующая калориметрия (NETZSTH STA 449 C), сканирующая электронная микроскопия (LEO 1420), рентгенофлюоресцентная спектроскопия (PANalytical), атомно-эмиссионная спектроскопия (ICP2060T), методы определения огнестойкости по СТБ 11.03.02–2010 «Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний».

**Полученные результаты и их новизна.** Установлена последовательность и оптимальные условия осуществления каждой из стадий огнезащитной обработки полиэфирного текстильного материала неорганическими нетоксичными замедлителями горения. Разработан состав и способ синтеза новой тонкодисперсной огнезащитной композиции с включением коллоидных частиц на основе соединений многовалентных металлов и технологии ее нанесения, обеспечивающих для ПЭТФ материалов устойчивый огнезащитный эффект.

**Рекомендации по использованию.** Технология огнезащитной обработки может быть использована на предприятиях легкой промышленности, технологический процесс которых включает огнезащитную отделку тканей производства Республики Беларусь: ОАО «Солигорск-Химволокно», ОАО «Моготекс», ОАО «Лента», ОАО «Кобринская прядильно-ткацкая фабрика ОАО «Ручайка» и другие производства. Применение разработанного огнезащитного состава и технологии его нанесения позволит осуществить импортзамещение зарубежных антипиренов, используемых на отечественных предприятиях.

**Область применения.** Предприятия легкой промышленности, производящие огнезащищённые текстильные материалы.

## SUMMARY

Lukyanau Aliaksandr Sergeevich

SUSTAINABLE FIRE PROTECTION OF POLYESTER MATERIALS BY NANODISPERSE FLAME RETARDANTS

**Keywords:** polyester fibers, non-toxic flame retardant compositions, nitrogen-phosphorus-containing flame retardants, synthetic flame retardants, colloidal particles of polyvalent metal compounds.

**Objective:** to develop a technology of production of fire-protected textile polyester materials resistant to water treatments using synthetic nano-dispersed ammonium phosphates of divalent and trivalent metals, to establish the influence of the nature of the metal on the physicochemical properties of the modified material and the stability of the flame retardant effect during its operation.

**Methods of the research and equipment.** Differential scanning calorimetry (NETZSTH STA 449 C), scanning electron microscopy (LEO 1420), X-ray fluorescence spectroscopy (PANalytical), atomic emission spectroscopy (ICP2060T), methods of the determining of fire resistance according to STB 11.03.02–2010.

**The results and their novelty.** Determination of the sequence and optimal conditions for the implementation of each of the stages of fire retardant processing of a polyester textile material with inorganic non-toxic flame-retardants. The development of the composition and synthesis methods of a new finely dispersed flame retardant composition with the inclusion of colloidal particles based on polyvalent metal compounds and the technology of its application, providing PETF with a stable flame retardant effect.

**Recommendations for use.** Productions of the Republic of Belarus: “Soligorsk-Khimvolokno”, OJSC “MOGOTEX”, OJSC “Lenta”, Kobrin Spinning and Weaving Factory “Ruchaika” and other productions. The use of the developed flame retardant composition and technology of its application will allow implementation of import substitution of foreign fire retardants used today in domestic enterprises.

**Field of application.** The technology of fire retardant procesing can be used at the enterprises light industry, where technological process includes fire retardant finishing of fabrics.

Научное издание

**Лукьянов Александр Сергеевич**

**УСТОЙЧИВАЯ ОГНЕЗАЩИТА ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НАНОДИСПЕРСНЫМИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ ГОРЕНИЯ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность
(по отраслям)

Подписано в печать 00.11.2018.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,8. Уч.-изд. л. 2,58.
Тираж 60. Заказ 000-2018.

Полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь»
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/259 от 14.10.2016.
ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.