

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«КОМАНДНО-ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ»
МЧС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УДК 614.841::630.432

ТИХОНОВ
Максим Михайлович

**ПРИМЕНЕНИЕ НАПЫЛЯЕМОГО ЖЕСТКОГО ТРУДНОГОРЮЧЕГО
ПЕНОПОЛИУРЕТАНА ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ПОЖАРА ПО КАБЕЛЬНЫМ ШАХТАМ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность



Минск, 2014

Работа выполнена в государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь и учреждении Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем».

Научный руководитель: **Богданова Валентина Владимировна**, доктор химических наук, профессор, заведующая лабораторией огнетушащих материалов учреждения Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»

Официальные оппоненты: **Доброго Кирилл Викторович**, доктор физико-математических наук, декан энергетического факультета учреждения образования «Белорусский национальный технический университет» (г. Минск)

Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук, первый заместитель начальника учреждения «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь (г. Минск)

Оппонирующая организация: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится 21 февраля 2014 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций К 11.01.01 при государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь по адресу: 220018, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, актовый зал, телефон ученого секретаря 345-33-54, e-mail: mail@kii.gov.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь.

Автореферат разослан 17 января 2014 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник



В.А. Кузьмицкий

ВВЕДЕНИЕ

За период с 01.01.2002 г. по 01.04.2013 г. только в г. Минске произошло около 115 пожаров в кабельных шахтах гражданских зданий с материальным ущербом свыше 510 млн. рублей.

На сегодняшний день одним из способов ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий является заделка мест пересечения строительных конструкций электрической сетью негорючими материалами. В качестве такого материала заделки используются различные строительные смеси. Однако использование данных материалов, вследствие их плохой адгезии, трудности доступа к месту заделки и длительности времени отверждения строительных смесей, приводит в действительности к конструктивным недостаткам заделки (наличие свободного пространства между кабелями в трубах и зазоров в самом несгораемом материале), что в случае возникновения пожара способствует подосу воздуха в зону возгорания и распространению пожара по кабельным шахтам.

Существующие на сегодняшний день способы ликвидации пожаров в кабельных шахтах гражданских зданий не всегда являются эффективными при тушении расплавленных и образующих горящие капли полимерных материалов, так как вода и огнетушащий порошок вследствие низкой смачивающей способности и ограниченного контакта с твердым горючим материалом не позволяют обеспечить требуемое для прекращения горения изменение условий тепломассопереноса между пиролизирующимся в конденсированной фазе полимерным горючим материалом и пламенной зоной. Перспективными материалами для создания огнезащитных барьеров в кабельных шахтах гражданских зданий могут явиться пористые, теплоизоляционные полимерные материалы, однако применение их по этому назначению невозможно из-за их высокой горючести. В соответствии с этим разработана огнезащищенная теплоизолирующая синтетическая материалы и технологии их применения для создания активной и пассивной защиты кабельных шахт гражданских зданий актуальна.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Отдельные этапы данной работы выполнялись в рамках следующих исследовательских проектов: ГПНИ «Химические технологии и материалы» по заданию «Разработка новых материалов с использованием фосфатных связующих, двойных и тройных аммонийсодержащих фосфатов металлов», № г.р. 20115165 от 28.11.2011, НИР «Разработка и исследование свойств эффективных и экономичных огнетушащих средств на основе местного сырья для инновационных способов огнепреграждения, ликвидации лесоторфяных пожаров и загораний в кабельных шахтах гражданских зданий», № г.р. 20122013 от 29.05.2012 г.

Цель работы – разработать огнезащищенный материал на основе жесткого напыляемого пенополиуретана для ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий, установить влияние порошкообразных азотфосфорсодержащих синтетических продуктов на огнезащитные, физико-химические и технологические свойства получаемого материала.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– исследование реакционных и эксплуатационных свойств компонентов жестких пенополиуретанов (ППУ), получение данных о синтетическом вспениваемом материале, обладающем оптимальными характеристиками в плане создания противопожарных барьеров;

– разработка и оптимизация с применением метода полного факторного эксперимента (ПФЭ) рецептуры азотфосфорсодержащего антипирена и технологии получения огнезащищенного ППУ с удовлетворительными физико-химическими свойствами;

– исследование термических свойств огнезащищенных ППУ композиций, конденсированных продуктов их термического разложения и нахождение факторов, обеспечивающих достижение требуемой огнестойкости исследуемого материала;

– определение эксплуатационных свойств антипиренованного компонента А пенополиуретановой системы (устойчивость к хранению, изменение дисперсного состояния антипирена, условия гомогенизации перед эксплуатацией);

– разработка методики экспериментального определения параметров ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий и проведение полигонных испытаний фрагмента кабельного канала;

– разработка портативного переносного оборудования для подачи труднорючего ППУ в кабельные шахты гражданских зданий.

Объекты исследования – компоненты для получения жесткого напыляемого ППУ, замедлители горения (фосфаты металлов аммония), полученные синтетическим путем, и огнезащищенный теплоизоляционный материал на их основе.

Предмет исследования – факторы, оказывающие влияние на огнестойкие свойства ППУ теплоизоляционного материала, физико-химические и эксплуатационные свойства компонентов ППУ в присутствии антипирена и теплоизоляционного материала на их основе.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Для жесткого напыляемого пенополиуретана марки «Изолан-125» методом полного факторного эксперимента определена и разработана оптимальная рецептура синтетического порошкообразного антипирена на основе аммонийных фосфатов двухвалентных металлов с массовым соотношением компонентов: $\text{NH}_3 : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{SO}_3 : \text{CaO} : \text{MgO} : \text{Cl} = 0,44 : 2,72 : 1,67 : 1 : 2,86 : 1,06$ (в пересчете на оксиды), что позволило получить труднорючий ППУ с массовым соотношением компонентов: А : Б : антипирен = 1 : 1 : 0,35.

2. Механизм огнезащитного действия разработанного антипирена в составе ППУ обусловлен ограничением потери массы в результате образования теплоизолирующих структур с участием фосфорсодержащей компоненты и снижением температуры в зоне пламени за счет ингибирования газофазных химических реакций азот- или азотгалогенсодержащими продуктами термолитиза.

3. Установленные минимальные значения концентрации азота либо азота/галогена (0,7-1,6 г), фосфора (1,25 г) на 100 г композиции для трудногорючего жесткого ППУ марки «Изолан-125» позволяют осуществлять целенаправленную разработку рецептур замедлителей горения для ППУ других марок.

4. Методика экспериментального определения на необогреваемой стороне фрагмента кабель-канала предельных состояний по огнестойкости (потери целостности и теплоизолирующей способности ППУ материала заделки), а также достижения критической температуры материала оболочки кабелей, позволяет устанавливать способность ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий полимерными теплоизоляционными материалами.

Личный вклад соискателя

Основные результаты, вошедшие в диссертационную работу, получены автором самостоятельно. Цель и задачи исследования сформулированы совместно с научным руководителем доктором химических наук, профессором В.В. Богдановой. Младший научный сотрудник НИИ ФХП Белгосуниверситета О.Н. Буряя принимала участие в синтезе системы замедлителей горения. Кандидат физико-математических наук, доцент БГУ В.П. Кирлица принимал участие в оптимизации рецептуры системы замедлителей горения методом полного факторного эксперимента. Установочные полигонные испытания в лаборатории ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь проведены с участием старшего преподавателя кафедры пожарной и промышленной безопасности Н.И. Чайчица. Полигонные испытания проводились на испытательном полигоне Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь при участии старшего научного сотрудника Ю.П. Ивлева и старшего инженера С.В. Ермаковича.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на: V и VI Международных научно-практических конференциях «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» (г. Минск, 2009 г., 2011 г.); II и III Международных научно-технических конференциях «Промышленность региона: проблемы и перспективы инновационного развития» (г. Гродно, 2012 г., 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации «ЧС – 2012» (г. Гомель, 2012 г.); VI и VII Международных научно-практических конференциях курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) (г. Минск, 2012 г., 2013 г.); XXIV Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания ВНИИПО (г. Москва, 2012 г.); Международной научно-практической конференции курсантов, студентов и слушателей «Чрезвычайные ситуации: теория и практика» (г. Гомель, 2013 г.); Международной научно-технической конференции «Поликомтриб – 2013» (г. Гомель, 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций»

(г. Минск, 2013 г.); VII Международной научной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести» (г. Таганрог, 2013 г.); IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (г. Кокшетау, 2013 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 32 печатные работы, в том числе: 7 статей, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 2,56 авторских листа (из них без соавторов – 1 статья), а также 14 статей в материалах конференций, 7 тезисов докладов, 3 патента на изобретение, 1 патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 164 страницах, содержит 25 рисунков, 15 таблиц, библиографический список, включающий 194 наименования на 17 страницах, из них 32 – собственные публикации соискателя и 12 приложений, занимающих 52 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проанализированы и обобщены литературные данные о применяемых в настоящее время способах предотвращения и тушения пожаров в кабельных шахтах гражданских зданий. Из-за отсутствия материалов, позволяющих быстро и надежно изолировать зону горения от доступа кислорода воздуха и температуры, количество таких пожаров не снижается. Альтернативой используемым материалам заделки (цемент, глина с песком, глина с цементом и песком, вспученный перлит со строительным гипсом) могут явиться полимерные быстрополучаемые конденсированные пены, в частности, жесткие пенополиуретаны (однако они горючи). Судя по имеющимся в литературе данным, подбор замедлителей горения для ППУ проводится эмпирически, так как нет ясности относительно механизма их огнезащитного действия.

Из обзора литературы сделан вывод, что подбор замедлителей горения или антипиренирующих составов для ППУ материалов требует индивидуального подхода к каждой марке ППУ материала, учитывающего изменение реакционных и физико-химических свойств исходных компонентов, а также поведение огнезащищенных материалов в процессе эксплуатации при действии экстремальных тепловых нагрузок или при возникновении пожара. На основании проведенного анализа обоснованы основные задачи и направление исследований, выбран метод определения горючести ППУ материалов.

Во второй главе проведен анализ нормативной документации и литературных источников по определению горючести, физико-химических и физико-механических свойств разрабатываемой огнезащищенной пенополиуретановой

композиции, пригодной для ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий. Разработаны оригинальные методики, позволившие провести на стадии разработки рецептуры замедлителя горения сравнительную оценку огнезащитной эффективности, а также методики, позволяющие провести сопоставительные исследования: температурного профиля в конденсированной фазе при огневом воздействии, нагрузку разрушения каркаса термообработанных образцов. В работе использовались следующие методы исследования: комплексный термический (ДТА, ТГ, ДСК), спектрофотометрический и дисперсионный анализы, электронная микроскопия.

Третья глава посвящена разработке рецептуры замедлителя горения для жесткого ППУ, исследованию его влияния на физико-химические и эксплуатационные свойства антипирированного компонента реакционной смеси и огнезащитного материала. В качестве полимерной матрицы для получения вспениваемого огнезащитного материала на стадии предварительных исследований нами отобрана пенополиуретановая композиция марки «Изолан-125», в течение короткого времени образующая жесткую конденсированную пену с хорошими теплоизоляционными свойствами (коэффициент теплопроводности – 0,03 Вт/ (м·К)). Исследуемые замедлители горения представляли собой синтетические недефицитные продукты – аммонийные фосфаты двух- и/или трехвалентных металлов, физико-химические и термические свойства которых возможно регулировать изменением природы металла и соотношения компонентов на стадии их получения.

На предварительном этапе исследования установлено, что замедлитель горения СФБ, имеющий массовое соотношение компонентов в пересчете на оксиды: $\text{NH}_3 : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{SO}_3 : \text{CaO} : \text{MgO} = 0,44 : 2 : 1,67 : 1 : 2$ при содержании в ППУ композиции 15 мас.% позволяет получить трудногорючий ППУ. Однако применение данного замедлителя горения в такой концентрации оказалось проблематичным из-за технологических трудностей получения материала, так как вязкость компонента А в присутствии СФБ увеличивалась в 7 раз. Для снижения вязкости антипирированного компонента А после проведения экспериментов с рядом модификаторов (трихлорэтилфосфат (ТХЭФ), трихлорпропилфосфат (ТХПФ), гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости (ГКЖ-10 и Пента)) установлено, что наилучшим модификатором является ТХЭФ, позволяющий приблизить вязкость антипирированного компонента А к вязкости компонента Б (78,7 с).

Для оптимизации рецептуры замедлителя горения использовали метод полного факторного эксперимента. Составляющими замедлителя горения, определяющими горючесть пенополиуретана являются три основных компонента: ТХЭФ, аммонийный металлофосфат, гидроксид двухвалентного металла, содержание которых в мас.% обозначено как x_1 , x_2 , x_3 соответственно, которыми можно варьировать: контролируемые переменные, определяющие горючесть пенополиуретана. В ходе проводимых экспериментов измерялись две величины: y_1 и y_2 . Значение y_1 – это потеря массы в %, y_2 – приращение температуры газообразных продуктов горения в °С.

В качестве феноменологической модели изменения наблюдаемых пере-

менных y_1, y_2 была выбрана регрессионная зависимость с коэффициентами парного взаимодействия:

$$E\{y\} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3, \quad (1)$$

где $E\{y\}$ – среднее значение наблюдаемой переменной (ее математическое ожидание).

Для получения оценок неизвестных параметров (a_0, \dots, a_{23}) воспользовались оптимальным планированием эксперимента. Для этого были проведены 8 экспериментов с различным набором факторов x_1, x_2, x_3 с 6-ю повторными наблюдениями для каждого эксперимента. Наилучшие линейные несмещенные оценки были получены при помощи формулы (2):

$$\hat{\theta} = (P'P)^{-1}P'Y, \quad (2)$$

где P – матрица плана эксперимента в кодированных переменных; P' – транспонированная матрица; Y – вектор 48 наблюдений, а $\hat{\theta}$ – наилучшая линейная несмещенная оценка неизвестных параметров.

В результате была построена модель (3) для потери массы в кодированных переменных, в которой получены оценки неизвестных параметров с помощью электронных таблиц Excel:

$$E\{y_1\} = 36,90 - 11,56 \cdot X_1 - 0,52 \cdot X_2 - 2,35 \cdot X_3 - 4,48 \cdot X_1 \cdot X_2 - 3,56 \cdot X_1 \cdot X_3 + 3,15 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (3)$$

Проверена адекватность модели по формуле (4) и значимость коэффициентов по формуле (5):

$$\frac{(N-n) \left(m\bar{Y}\bar{Y} - N \cdot \left\| \hat{\theta} \right\|^2 \right)}{(n-p)(Y'Y - m\bar{Y}\bar{Y})} \leq F_{\alpha, n-p, N-n}, \quad (4)$$

где N – общее число экспериментов; n – число различных точек в ПФЭ; m – число повторных наблюдений в каждой точке ПФЭ; p – число неизвестных параметров модели; \bar{Y} – вектор средних наблюдаемых значений в каждой точке спектра ПФЭ; $F_{\alpha, n-p, N-n}$ – квантиль уровня α распределения Фишера с $n-p$, $N-n$ степенями свободы.

$$\frac{\left| \hat{\theta}_j \right|}{s \sqrt{c_{jj}}} > t_{\alpha, N-p}, \quad (5)$$

где $t_{\alpha, N-p}$ – квантиль уровня α распределения Стьюдента с $N-p$ степенями свободы; c_{jj} – j -й диагональный элемент обратной матрицы $(P'P)^{-1}$; s^2 – несмещенная оценка дисперсии равноточных наблюдений.

Справедливость выполнения формул (4), (5) проверялась по результатам эксперимента. Оказалось, что модель адекватна и все коэффициенты, входящие в модель, значимы. Используя модель (3) и градиентный метод Бокса-Уилсона минимизировали среднее значение y_1 , определяемое формулой (3). При движении по антиградиенту поверхности отклика (3) 1-й шаг привел к снижению горючести материала, а второй показал худшие результаты. Выполнив обратную операцию, перешли от кодированных к натуральным переменным и получили модель (6):

$$E\{y_1\} = -337,06 + 229,51 \cdot x_1 + 19,05 \cdot x_2 + 8,33 \cdot x_3 - \\ - 21,33 \cdot x_1 \cdot x_2 - 23,75 \cdot x_1 \cdot x_3 + 8,99 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (6)$$

Аналогичным образом получена модель (7) и для приращения температуры газообразных продуктов горения:

$$E\{y_2\} = 36318,33 + 2194,75 \cdot x_1 + 888,88 \cdot x_2 + 1264,10 \cdot x_3 - \\ - 307,33 \cdot x_1 \cdot x_2 - 435,53 \cdot x_1 \cdot x_3 - 174,87 \cdot x_2 \cdot x_3 + 60,31 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (7)$$

Таким образом, методом полного факторного эксперимента установлено, что оптимальная рецептура для исследуемого ППУ материала должна иметь следующее массовое соотношение компонентов в пересчете на оксиды: $\text{NH}_3 : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{SO}_3 : \text{CaO} : \text{MgO} : \text{Cl} = 0,44 : 2,72 : 1,67 : 1 : 2,86 : 1,06$. Действительно, экспериментально подтверждено, что при общем содержании антипирена этой рецептуры в полимерной композиции 15 мас.% при массовом соотношении компонентов: А : Б : антипирен = 1 : 1 : 0,35 найден баланс между технологическими, эксплуатационными и огнестойкими свойствами ППУ марки «Изолан-125». Это согласуется с анализом уравнений регрессии, где установлено, что горючесть ППУ зависит от варьирования содержания в замедлителе горения галоген-, азот- и фосфорсодержащих компонент.

Горение ППУ, как и любого другого твердого горючего материала, включает в себя термическое разложение полимера в предпламенной зоне конденсированной фазы с образованием летучих горючих продуктов, сгорающих в пламенной зоне. В связи с отсутствием в литературных источниках данных о процессах, оказывающих определяющее влияние на прекращение горения пенополиуретановых полимеров, для нахождения факторов, обуславливающих достижение нормативных параметров при создании огнезащитного ППУ (потеря массы (Δm) не выше 60 %, максимальное приращение температуры отходящих газов (Δt_{max}) не выше 60 °С), проведен следующий цикл исследований. С использованием синтезированного аммонийфосфатного замедлителя горения СФБ, взятого в различной концентрации, индивидуального ТХЭФ и их смеси установлена зависимость нормативных параметров горючести от количественного содержания в исследуемой ППУ композиции азота, азот-галогена и фосфора (табл. 1). Найдено, что композиционный материал является трудногорючим, если содержание азота либо азота и хлора в композиции составляет не менее 0,7-1,6 г и фосфора не менее 1,25 г на 100 г композиции.

Таблица 1 – Результаты испытаний по ГОСТ 12.1.044-89 ППУ композиций в зависимости от содержания хлора (Cl), азота (N) и фосфора (P)

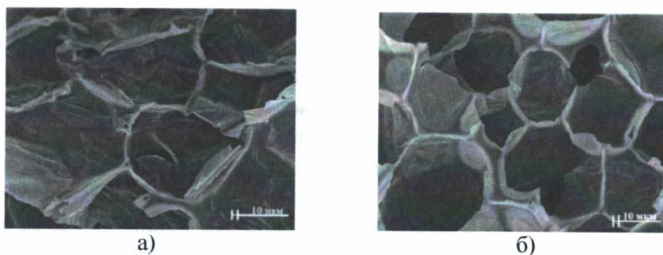
Рецептура ППУ композиции/содержание компонентов, мас. %	Содержание ингибиторов в ППУ композиции, г/100 г			Результаты испытаний по ГОСТ 12.1.044-89			
				Максимальное приращение температуры, Δt_{max} , °C	Потеря массы образца, Δm , %	Группа горючести	КИ*
	Cl	N	P				
Исходный ППУ	-	-	-	250,5	71,9	горючий	23,3
ТХЭФ/3	1,11	-	0,33	247,3	71,5	горючий	23,4
СФБ/10	-	0,4	0,66	74,4	52,3	горючий	24,7
СФБ/15	-	0,7	1,31	47,6	42,4	трудногорючий	26,2
СФБ/12 ТХЭФ/3	1,11	0,56	1,25	35,6	50,1	трудногорючий	26,2

* Кислородный индекс.

При более низких концентрациях элементов, способных образовать летучие ингибиторы горения, нормативный параметр приращения температуры отходящих газов не достигается. Нормативный параметр по потере массы наиболее чувствителен к содержанию фосфора в ППУ композиции. Полученные данные в совокупности с результатами химического анализа продуктов термической обработки ППУ композиции с оптимизированной рецептурой антипирена свидетельствуют о комплексном механизме действия разработанного в данной работе антипирена.

Исследованием реакционных параметров исходного и огнезащищенного ППУ, физико-химических свойств трудногорючего ППУ установлено, что в присутствии замедлителя горения не зарегистрировано существенных изменений реакционных параметров компонентов реакционной смеси и физико-химических свойств ППУ. Из полученных данных по гранулометрическому составу частиц антипирена в компоненте А после приготовления и спустя 2 года найдено, что при хранении происходит дезагрегирование частиц (уменьшение количества частиц в диапазоне 5-40 мкм с одновременным увеличением числа частиц с размерами до 5 мкм). Эти данные, во-первых, свидетельствуют о том, что исследуемый антипирен не оказывает влияния на физико-химические свойства компонента А в течение длительного времени, а, во-вторых, что не менее важно для практического применения антипиренованного компонента А, установлена длительная устойчивость замедлителя горения в исследуемой дисперсионной среде. В процессе хранения спустя 2 года после приготовления условная вязкость антипиренованного компонента практически не изменилась.

Согласно данным сканирующей электронной микроскопии срезов на поверхности исходного и огнезащищенного ППУ следует, что в присутствии замедлителей горения наблюдается увеличение толщины стенок пор примерно в 1,5 раза с одновременным таким же уменьшением размера пор (рис. 1 (а, б)). Эти данные являются дополнительным аргументом в пользу применения разработанного замедлителя горения, который не оказывает отрицательного влияния как на реакционные, физико-химические свойства антипиренованного компонента А, так и на структуру огнезащищенного материала.



а) — исходный; б) — огнезащищенный

Рисунок 1 – Электронно-микроскопические снимки поверхности ППУ

Из сопоставительных исследований градиента температур, реализующегося на различном удалении от фронта пламени для исходного и трудногорючего ППУ (рис. 2) установлено, что в последнем случае наблюдается существенно более низкая (в 2-5 раз) скорость подъема температуры, что свидетельствует о весьма высоких теплоизолирующих свойствах разработанного исходного материала и его твердых продуктов термического разложения.

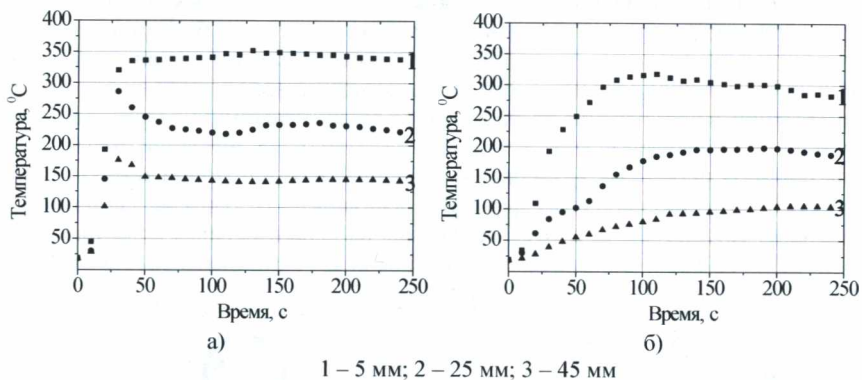


Рисунок 2 – Изменение температурного профиля в конденсированной фазе при огневом воздействии на исходный (а) и трудногорючий ППУ (б) в зависимости от расстояния до фронта и времени экспозиции пламени

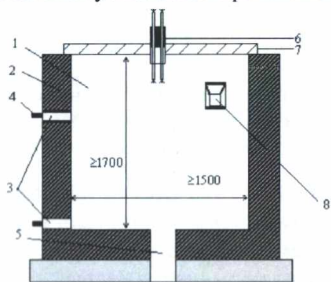
Одновременно найдено, что огнезащищенный ППУ, прогретый при температурах 300-350 °С имеет в 8,5-4 раза более высокую устойчивость к разрушению по сравнению с аналогичными образцами исходного материала. Эти факты свидетельствуют в пользу целесообразности применения разработанного материала в качестве огнезащитного барьера, так как в этом случае важны его физико-химические свойства не только в исходном состоянии, но и в разной степени его термического разложения.

Для оценки эффективности применения трудногорючего ППУ в качестве огнезащитных барьеров разработана лабораторная методика, моделирующая огневое воздействие на кабель в замкнутом пространстве с использованием ППУ барьеров, где регистрировали температуру поверхности ППУ барьера с

необогреваемой стороны. При отсутствии ППУ барьера образование летучих горючих продуктов из поливинилхлоридной (ПВХ) изоляции кабеля (свыше 120 °С) начинается на первой минуте эксперимента, а с барьером, выполненным из исходного ППУ, – на третьей минуте. В случае использования аналогичного барьера, изготовленного из трудногорючего ППУ, регистрируемая температура в течение всего эксперимента находилась на уровне температуры окружающей среды при сохранении целостности материала кабельной изоляции. Эти результаты позволили сделать принципиальный вывод о возможности применения пробок из трудногорючего ППУ в качестве огнезащитного барьера, подтвержденный последующими установочными и полигонными испытаниями.

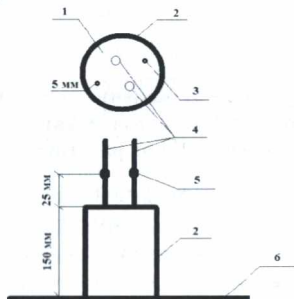
Проведен сопоставительный экономический расчет стоимости выполнения работ по заделке мест прохода электрической сетью через ограждающую конструкцию (с учетом стоимости работ и материалов для заполнения одного прохода) используемыми в настоящее время материалами и разработанным трудногорючим ППУ. Установлено, что стоимость выполнения работ в 2 раза ниже, а производительность в 3 раза выше при применении разработанного материала.

Четвертая глава посвящена проведению установочных и полигонных испытаний трудногорючего ППУ в качестве огнезащитных барьеров для ограничения распространения пожара по кабельным шахтам и тушению огнезащитной ППУ пеной лабораторного очага пожара класса А. Ввиду отсутствия нормативной документации по проведению таких испытаний разработаны и в установленном порядке утверждены соответствующие методики проведения испытаний. В результате установочных полигонных испытаний показано, что исходный ППУ не выполняет функцию огнезащитного барьера. Полигонные испытания трудногорючего ППУ проведены на испытательном полигоне НИИ ПБ и ЧС МЧС Республики Беларусь. На рис. 3 и 4 приведены схемы экспериментальной установки и расстановки термопар.



- 1 – огневая камера; 2 – кладка печи;
- 3 – нагревательные каналы форсунок;
- 4 – форсунка; 5 – дымовой канал;
- 6 – испытываемый образец; 7 – железобетонная панель; 8 – смотровой люк

Рисунок 3 – Схема испытательной установки

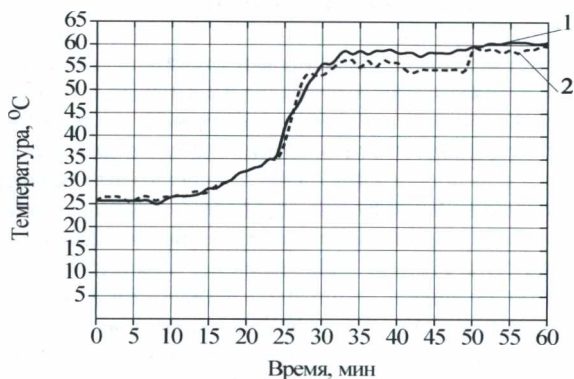


- 1 – заполнение из трудногорючего ППУ; 2 – труба ПВХ;
- 3 – спай термопары;
- 4 – кабель; 5 – спай термопары;
- 6 – поверхность железобетонной панели

Рисунок 4 – Схема расстановки термопар

В основу методики положен принцип определения времени от начала теплового воздействия на испытываемый образец в соответствии с ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ 30247.1–94 до наступления одного или последовательно нескольких предельных состояний по огнестойкости: потери теплоизолирующей способности, потери целостности, а также достижения критической температуры нагрева материала оболочек кабелей в необогреваемой зоне.

Эксперимент продолжался 60 минут. В ходе проведения испытаний не наблюдалось потери целостности испытываемого образца и превышения предельно допустимых температур, при этом максимальная температура на поверхности ППУ материала заделки составила 62 °С (рис. 5, кривая 1), максимальная температура на оболочке кабеля составила 59,6 °С (рис. 5, кривая 2).



1 – материал заделки; 2 – оболочка кабелей

Рисунок 5 – Температурные профили, реализующиеся на необогреваемой поверхности материала заделки и оболочки кабеля при проведении полигонных испытаний

Для оценки огнетушащей эффективности трудногорючего ППУ проведены испытания по тушению лабораторного очага пожара класса А с использованием разработанной нами переносной установки для подачи трудногорючего ППУ в кабельные шахты гражданских зданий. Установлено (табл. 2), что огнетушащая эффективность трудногорючего ППУ существенно выше по сравнению с водой, водой с ПАВ и сопоставима по удельному расходу со специализированными жидкостными синтетическими средствами (АН60-КМ, Тофасил). Кроме того преимуществом конденсированной пены по сравнению с жидкостными составами является ее диэлектрическое свойство, что открывает возможности применения разработанного трудногорючего материала для тушения пожаров, которые нельзя тушить водой и составами на водной основе.

Таблица 2 – Расход огнетушащего средства (ОС) на тушение лабораторного очага из древесины

Огнетушащее средство	Концентрация, %	Объем ОС, израсходованного на тушение, $V \times 10^{-3}$, дм^3	Наличие повторного воспламенения	Удельный расход ОС, $\text{дм}^3/\text{м}^2$
Вода	-	60,0	нет	0,50
Тофасил	15	26,7	нет	0,22
Вода+1% ПО–6НСВ	-	45,0	нет	0,38
АН60–КМ	15	22,5	нет	0,19
Трудногорючий ППУ	-	19,6	нет	0,16

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно литературным и патентным данным до настоящего времени не было известно о применении конденсированных пен вследствие их горючести для получения быстровозводимых огнезащитных преград в кабельных шахтах гражданских зданий для ограничения распространения и тушения пожаров. В данной работе представлены новые экспериментальные данные по разработке и корректировке методом полного факторного эксперимента рецептуры замедлителя горения, что позволило создать трудногорючий жесткий ППУ марки «Изолан-125» с удовлетворительными реакционными и физико-химическими свойствами. В результате серии лабораторных, установочных и полигонных испытаний показано наличие огнезащитного эффекта трудногорючего ППУ для ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий. Полученные экспериментальные данные по механизму действия исследованных замедлителей горения позволяют направленно подходить к разработке антипиренов для пенополиуретанов различных марок. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

Основные научные результаты диссертации

1. Получены экспериментальные данные по зависимости огнезащитной эффективности исследуемых азотфосфорсодержащих замедлителей горения от их состава и соотношения компонент. С использованием метода ПФЭ разработаны математические модели определения оптимального состава антипирена на основе аммонийных фосфатов, который имеет следующее массовое соотношение компонентов в пересчете на оксиды: $\text{NH}_3 : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{SO}_3 : \text{CaO} : \text{MgO} : \text{Cl} = 0,44 : 2,72 : 1,67 : 1 : 2,86 : 1,06$. Получен трудногорючий напыляемый ППУ марки «Изолан-125» при следующем соотношении компонентов: А : Б : антипирен = 1 : 1 : 0,35. Экспериментально показано, что применение разработанного замедлителя горения не влияет на условия образования пенополиуретана, физико-химические свойства компонентов реакционной смеси и готового материала. Найдено, что ТХЭФ, являясь регулятором вязкости антипиренованного компонента А, одновременно выполняет функцию газофазного ингибитора горения и позволяет снизить содержание порошкообразного азотфосфорсодержащего замедлителя горения и улучшить ре-

акционные параметры ППУ исходных компонентов [1, 2, 4, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 23, 24, 25, 26, 27].

2. Впервые на основании математических моделей, сопоставительных исследований термических превращений исходного и огнезащищенного синтетическим порошкообразным азотфосфорсодержащим антипиреном пенополиуретана марки «Изолан-125» и анализа твердых продуктов их термического разложения в интервале температур (200-500 °С), реализуемом в предпламенной зоне конденсированной фазы, определен комплексный механизм огнезащитного действия исследуемого замедлителя горения. Установлено, что ограничение температуры отходящих газов обусловлено ингибированием радикальных процессов в пламенной зоне летучими азот- и азотгалогенсодержащими продуктами, а ограничение потери массы образцом обусловлено образованием органических структур в конденсированной фазе при участии фосфорсодержащей компоненты антипирена [1, 4, 5, 6, 16, 20, 21, 28].

3. Установлены минимальные концентрации азота либо азот/галогена (0,7-1,6 г), фосфора (1,25 г) на 100 г композиции для получения трудногорючего жесткого ППУ марки «Изолан-125», что позволяет использовать их в качестве реперных и целенаправленно осуществлять разработку рецептур замедлителя горения для ППУ других марок [4, 5, 21].

4. Измерены временные профили температуры в конденсированной фазе на различных расстояниях от фронта пламени для исходного и огнезащищенного «Изолана-125». Показано, что независимо от расстояния до фронта пламени в огнезащищенных ППУ образцах скорость подъема температуры существенно ниже (от 2 до 5 раз) по сравнению с исходным ППУ. Установлено, что огнезащищенный ППУ, прогретый при температурах 300-350 °С, имеет в 8,5-4 раза более высокую устойчивость к нагрузке разрушения по сравнению с аналогичными образцами исходного материала [3, 6, 17].

5. Разработана методика экспериментального определения с необогреваемой стороны кабель-канала предельных состояний по огнестойкости (потери целостности и теплоизолирующей способности ППУ материала заделки), а также достижения критической температуры материала оболочки кабелей, которая позволяет определить способность ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий при применении вспениваемых полимерных материалов [7, 20].

6. Полигонными испытаниями образца кабель-канала по разработанной методике установлено, что в течение времени проведения испытаний образцом не достигнуты предельные состояния (потеря целостности испытываемого образца и превышение предельно допустимых температур, при этом максимальная температура на поверхности ППУ материала составила 62 °С, максимальная температура на оболочке кабеля составила 59,6 °С) [7, 20].

7. Сопоставительными исследованиями гранулометрического состава свежеприготовленной и хранившейся в течение 2 лет антипиреновой дисперсной системы компонента А установлено отсутствие агрегирования частиц антипирена, сохранение первоначальной вязкости и работоспособности дисперсной системы, что важно для практического использования разработанного трудногорючего ППУ [2, 15, 18, 19].

8. Разработана портативная переносная установка для направленной подачи трудногорючего жесткого напыляемого ППУ к месту заделки прохода электрической сетью через ограждающие конструкции в кабельных шахтах гражданских зданий, отличающаяся малым весом, работающая в автономном режиме с возможностью многократного использования [4, 29].

Практическое использование результатов исследования

1. Результаты диссертационных исследований внедрены в учебный процесс ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь.

2. Результаты диссертационных исследований использованы при монтаже электросети жилого дома № 5 по г/п в квартале ул. М. Богдановича – ул. Амурская – ул. Эскаваторная – пер. Эскаваторный, г. Минск, проект № 07.07.

3. Результаты диссертационных исследований могут быть использованы при корректировке технических нормативных правовых актов, в частности планируется их использование при разработке изменений № 3 в ТКП 45-4.04-149-2009 п. 16.24 «Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования».

4. Результаты диссертационных исследований рекомендуется использовать при разработке новых технологий ликвидации пожаров, изготовления сэндвичевых панелей, скорлуп для теплоизоляции трубопроводов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи в научных – технических журналах

1. Богданова, В.В. Оптимизация содержания компонентов антипиреновой смеси для получения трудногорючего пенополиуретана методом полного факторного эксперимента / В.В. Богданова, М.М. Тихонов, В.П. Кирлица // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2012. – № 2 (16). – С. 12–19.

2. Богданова, В.В. Исследование эксплуатационных и огнезащитных свойств пенополиуретановых конденсированных пен / В.В. Богданова, М.М. Тихонов // Вестн. НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2013. – № 1. – С. 24–28.

3. Тихонов, М.М. Огнепреграждающая композиция на основе жесткого напыляемого пенополиуретана // Чрезвычайн. ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. № 1 (33). – С. 50–60.

4. Богданова, В.В. Использование трудногорючего жесткого пенополиуретана для локализации и тушения пожаров твердых горючих материалов / В.В. Богданова, М.М. Тихонов, О.Н. Бурая // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2013. – № 2 (18). – С. 182–189.

5. Богданова, В.В. Влияние замедлителей горения на термические и огнестойкие свойства жесткого пенополиуретана / В.В. Богданова, М.М. Тихонов // Известия ЮФУ (Россия). Технические науки – 2013. – № 8. – С. 49–53.

6. Богданова, В.В. Применение полиуретановых композитов в качестве огнепреградителя / В.В. Богданова, М.М. Тихонов // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка – 2013. – № 3 (158). – С. 12–17.

7. Тихонов, М.М. Определение эффективности применения полимерных конденсированных пен для ограничения распространения пожаров по кабельным шахтам гражданских зданий / М.М. Тихонов, В.В. Богданова, О.Н. Бурая // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2013. – Т 8 (2). – С. 58–64.

Статьи в сборниках материалов конференций

8. Тихонов, М.М. Применение трудногорючего пенополиуретана для ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий / М.М. Тихонов, В.В. Богданова, О.Н. Бурая // Гражданската безопасност 2011: доклады 6-й науч. конф. с междунар. участием и выставкой; София, 24-25 марта 2011 г.: в 2 ч. / Академия МВР Болгарии; редкол.: Г. Ботев [и др.]. – София, 2011. – Ч. 1. – С. 190–194.

9. Богданова, В.В. Трудногорючий пенополиуретан для ограничения распространения пожара в вертикальных кабельных сооружениях / В.В. Богданова, М.М. Тихонов, О.Н. Бурая // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Могилев, 21-22 апреля 2011 г.: в 2 ч. / Беларус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2011. – Ч. 2. – С. 87–88.

10. Богданова, В.В. Влияние замедлителей горения на вязкость компонентов теплоизоляционного напыляемого пенополиуретана / В.В. Богданова, О.Н. Бурая, М.М. Тихонов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. докладов VI Международной науч.-практ. конф., Минск, 8-9 июня 2011 г.: в 2 т. / Науч.-исслед. ин-т пожар. безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Беларуси; редкол.: Ю.С. Иванов [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 155–159.

11. Тихонов, М.М. Трудногорючий композиционный материал для ограничения распространения пожаров по кабельным шахтам гражданских зданий / М.М. Тихонов, В.В. Богданова // Проблемы техносферной безопасности-2012: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, Москва, 10 апреля 2012 г. / Академия ГПС МЧС России. – Москва, 2012. – С. 69–71.

12. Богданова, В.В. Исследование влияния системы замедлителей горения на свойства композиционного материала на основе напыляемого пенополиуретана марки «Изолан-125» / В.В. Богданова, О.Н. Бурая, М.М. Тихонов // Промышленность региона: проблемы и перспективы инновационного развития: материалы II республ. науч.-техн. конф. с междунар. участием, Гродно, 17-18 мая 2012 г. / Гродн. гос. ун-т; редкол.: В.А. Струк [и др.]. – Гродно, 2012. – С. 179–181.

13. Тихонов, М.М. Разработка рецептуры трудногорючего пенополиуретана методом полного факторного эксперимента / М.М. Тихонов,

В.В. Богданова, В.П. Кирилица // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации «ЧС – 2012»: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24-25 мая 2012 г.: в 2 ч. / ГИИ МЧС Республики Беларусь; редкол.: И.И. Суторьма [и др.]. – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 238–239.

14. Богданова, В.В. Огнепреграждающее средство на основе труднгорючего пенополиуретана для предотвращения распространения пожаров по кабельным шахтам гражданских зданий / В.В. Богданова, М.М. Тихонов // XXIV Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам пож. безоп., посвященная 75-летию создания института: материалы междунар. науч.-практ. конф., Москва, 3-4 июля 2012 г.: в 3 ч. / ФГБУ ВНИИПО МЧС России; редкол.: Е.Ю. Сушкина [и др.]. – Москва, 2012. – Ч. 2. – С. 66–68.

15. Богданова, В.В. Исследование физико-химических и эксплуатационных свойств антипирированных компонентов пенополиуретановой системы «Изолан-125» / В.В. Богданова, М.М. Тихонов // Пожарная безопасность: теория и практика: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Черкасы, 12 октября 2012 г. / АПБ им. Героев Чернобыля; редкол.: М.А. Кришталь [и др.]. – Черкасы, 2012. – С. 132–135.

16. Богданова, В.В. Термические и огнестойкие свойства напыляемого пенополиуретана в присутствии замедлителей горения / В.В. Богданова, М.М. Тихонов // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждение и ликвидации чрезвычайных ситуаций: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Кокшетау, 24 октября 2012 г. / КТИ МЧС Республики Казахстан; редкол.: А.М. Султангалиев [и др.]. – Кокшетау, 2012. – С. 223–227.

17. Богданова, В.В. Труднгорючий пенополиуретановый огнепреградитель / В.В. Богданова, М.М. Тихонов // Промышленность региона: проблемы и перспективы инновационного развития: материалы III Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 16-17 мая 2013 г. / Гродн. гос. ун-т; редкол.: В.А. Струк [и др.]. – Гродно, 2013. – С. 125–128.

18. Луферчик, А.Л. Разработка полиольных композиций для формирования огнестойких твердых пен / А.Л. Луферчик, М.М. Тихонов, О.В. Рева // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф. курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 4-5 апреля 2013 г.: в 2 ч. / КИИ МЧС Республики Беларусь. – Минск, 2013. – Ч. 1. – С. 159–160.

19. Рева, О.В. Повышение стабильности композиций для создания огнестойких твердых пен / О.В. Рева, А.Л. Луферчик, М.М. Тихонов // Чрезвычайные ситуации: теория и практика: материалы Междунар. науч.-практ. конф. курсантов, студентов и слушателей, Гомель 16 мая 2013 г. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Гомел. инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь; редкол.: И.И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2013. – С. 144–146.

20. Богданова, В.В. Труднгорючий жесткий пенополиуретан как материал заделки кабельных каналов / В.В. Богданова [и др.] М.М. Тихонов //

Пожарная безопасность и аварийно-спасательное дело: состояние, проблемы и перспективы («Пожарная безопасность – 2013»); материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Киев, 25-26 сентября 2013 г. / УНИИГЗ. – Киев, 2013. – С. 121–124.

21. Богданова, В.В. Влияние замедлителей горения на термические и огнестойкие свойства жесткого пенополиуретана / В.В. Богданова, М.М. Тихонов // Полимерные материалы пониженной горючести: материалы VII Междунар. науч. конф., Таганрог, 6-10 октября 2013 г. [Электронный ресурс] / ЮФУ (Россия). – Таганрог, 2013. – С. 76–79. – 1 электронный накопитель (flash-память).

Тезисы докладов

22. Богданова, В.В. Трудногорючий пенополиуретан для ограничения распространения пожара в вертикальных кабельных сооружениях / В.В. Богданова, Бурая О.Н., Тихонов М.М., Швед А.А. // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8-9 июля 2009 г.: в 3 т. / Науч.-исслед. ин-т пожар. безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Респ. Беларусь; редкол.: Э.Р. Бариев (науч. ред.) [и др.]. – Минск, 2009. – Т. 1. – С. 143–145.

23. Тихонов, М.М. Физико-химические свойства напыляемого пенополиуретана пониженной горючести / М.М. Тихонов, В.В. Богданова, О.Н. Бурая // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докладов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8-9 июня 2011 г.: в 2 т. / Науч.-исслед. ин-т пожар. безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Респ. Беларусь; редкол.: А.Ю. Лупей [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 2. – С. 247–248.

24. Богданова, В.В. Влияние замедлителей горения на вязкость компонентов теплоизоляционного напыляемого пенополиуретана / В.В. Богданова, О.Н. Бурая, М.М. Тихонов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докладов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8-9 июня 2011 г.: в 2 т. / Науч.-исслед. ин-т пожар. безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Респ. Беларусь; редкол.: А.Ю. Лупей [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 107–109.

25. Богданова, В.В. Оценка физико-механических свойств композиционного материала на основе пенополиуретана пониженной горючести для изготовления сэндвичевых панелей / В.В. Богданова, О.Н. Бурая, М.М. Тихонов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докладов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8-9 июня 2011 г.: в 2 т. / Науч.-исслед. ин-т пожар. безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Респ. Беларусь; редкол.: А.Ю. Лупей [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 109–111.

26. Богданова, В.В. Анализ влияния системы замедлителей горения на свойства напыляемого пенополиуретана марки «Изолан-125» / В.В. Богданова, М.М. Тихонов // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и

перспективы: сб. тез. докладов VI Междунар. науч.-практ. конф. курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 5 апреля 2012 г.: в 2 ч. / КИИ МЧС Республики Беларусь. – Минск, 2012. – Ч. 1. – С. 320–322.

27. Тихонов, М.М. Исследование влияния азот-фосфорсодержащих замедлителей горения на физико-химические свойства и огнестойкость пенополиуретана марки «Изолан-125» / М.М. Тихонов, О.В. Рева // Поликомтриб-2013: тез. докладов Междунар. науч.-технич. конференции [Электронный ресурс] – Гомель: ИММС НАНБ, 2013. – 305 с. – 1 электронный накопитель (flash-память).

28. Богданова, В.В. Исследование влияния системы замедлителей горения на термические и огнестойкие свойства жесткого пенополиуретана марки «Изолан-125» / В.В. Богданова, М.М. Тихонов, О.Н. Бурая // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. тез. докладов Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26-27 сентября 2013 г.: / КИИ МЧС Республики Беларусь. – Минск, 2013. – С. 109.

Патенты

29. Ранцевая установка для ограничения распространения пожара в кабельных шахтах: пат. 5466 Респ. Беларусь, МПК А62С15/00 / М.М. Тихонов, В.В. Богданова, С.Ф. Кнырович, О.Н. Бурая, А.А. Швед; заявитель Минское городское УМЧС, НИИ ФХП БГУ – № и 20090039; заявл. 19.01.2009; опубл. 04.05.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 4 (69). – С. 169.

30. Трудногорючий композиционный материал на основе пенополиуретана: пат. 16518 Респ. Беларусь, МПК С09К21 / В.В. Богданова, О.Н. Бурая, М.М. Тихонов, А.А. Полищук; заявитель НИИ ФХП БГУ – № а 20101806; заявл. 15.12.2010; опубл. 09.08.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 4 (87). – С. 24.

31. Огнепреграждающий композиционный материал на основе пенополиуретана: пат. 17148 Респ. Беларусь, С08G18/40, С08K3/16, С08K3/32, С08K5/09, С08L75/04 / В.В. Богданова, О.Н. Бурая, М.М. Тихонов; заявитель НИИ ФХП БГУ – № а 20110749; заявл. 01.06.2011; опубл. 11.02.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 1 (90). – С. 22.

32. Огнестойкий композиционный материал на основе пенополиуретана: пат. 17149 Респ. Беларусь, С08G18/40, С08K3/16, С08K3/22, С08K3/32, С08K5/09, С08L75/04 / В.В. Богданова, О.Н. Бурая, М.М. Тихонов; заявитель НИИ ФХП БГУ – № а 20110751; заявл. 01.06.2011; опубл. 11.02.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 1 (90). – С. 22.

РЭЗІЮМЭ

Ціханаў Максім Міхайлавіч

Ужыванне напыляльнага жорсткага труднагаручага пенаполіурэтану для абмежавання распаўсюджвання пажару па кабельных шахтах грамадзянскіх будынкаў

Ключавыя словы: пенаполіурэтан, антыпірэн, кабельная шахта, азотфосфарзмяшчальны запавольнік гарэння.

Мэта працы – даследаваць уплыў прыроды недэфіцытных парашкавообразных азотфосфарзмяшчальных сінтэтычных прадуктаў на вогнеахоўныя, фізіка-хімічныя, тэхналагічныя ўласцівасці цвёрдага пенаполіурэтану, распрацаваць вогнеахоўны матэрыял, тэхналогію яго атрымання і прымянення для прадухілення і тушэння пажараў кабельных шахт грамадзянскіх будынкаў.

Метады даследавання. Комплексны тэрмічны (ДТА, ТГ, ДСК), спектрафотаметрычны і дысперсійны аналіз, электронная мікраскапія, лабараторныя арыгінальныя метадыкі.

Атрыманя вынікі і іх навізна. Усталяваны механізм вогнеахоўнага дзеяння доследных азотфосфарзмяшчальных запавольнікаў гарэння жорсткага ППУ маркі «Ізалан-125», а менавіта: зніжэнне страты масы і тэмпературы адыходзячых газаў вогнеахоўнага ППУ абумоўлена паскарэннем утварэння карбанізаваных, цеплаізаляючых структур з удзелам фосфарзмяшчальнай кампаненты антыпірэна і інгібіравання радыкальных працэсаў у газавай фазе лятучымі азот-галагензмяшчальнымі прадуктамі тэрмолізу антыпірэнавай сістэмы адпаведна. Метадам поўнага фактарнага эксперыменту аптымізавана рэцэптура сінтэтычнага парашкападобнага антыпірэну на аснове аманійных фасфатаў двухвалентных металаў з масавымі суадносінамі кампанентаў у пераліку на аксіды: $\text{NH}_3 : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{SO}_3 : \text{CaO} : \text{MgO} : \text{Cl} = 0,44 : 2,72 : 1,67 : 1 : 2,86 : 1,06$ для атрымання труднагаручага жорсткага пенаполіурэтану маркі «Ізалан-125» з масавымі суадносінамі кампанентаў: А : Б: антыпірэн = 1 : 1 : 0,35. Кошт выканання работ пры выкарыстанні распрацаванага матэрыялу ў 2 разы ніжэй, а прадукцыйнасць у 3 разы вышэй у параўнанні з выкарыстоўванымі ў цяперашні час матэрыяламі.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Выкарыстанне труднагаручага напыляльнага жорсткага ППУ маркі «Ізалан-125» дазволіць вырабляць заладку месцаў перасячэння электрасеткай агароджваючых канструкцый, абмяжоўвая распаўсюджванне пажару па кабельных шахтах грамадзянскіх будынкаў, лакалізацыю такога роду пажараў пры іх ліквідацыі.

Вобласць прымянення. Пасіўная супрацьпажарная абарона, навучальныя ўстановы МНС, лакалізацыя пажару ў кабельнай шахце грамадзянскіх будынкаў.

РЕЗЮМЕ

Тихонов Максим Михайлович

Применение напыляемого жесткого трудногорючего пенополиуретана для ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий

Ключевые слова: пенополиуретан, антипирен, кабельная шахта, азотфосфорсодержащий замедлитель горения.

Цель работы – исследовать влияние природы недефицитных порошкообразных азотфосфорсодержащих синтетических продуктов на огнезащитные, физико-химические, технологические свойства жесткого пенополиуретана, разработать огнезащищенный материал, технологию его получения и применения для предотвращения и тушения пожаров кабельных шахт гражданских зданий.

Методы исследования. Комплексный термический (ДТА, ТГ, ДСК), спектрофотометрический и дисперсионный анализ, электронная микроскопия, лабораторные оригинальные методики.

Полученные результаты и их новизна. Установлен механизм огнезащитного действия исследуемых азотфосфорсодержащих замедлителей горения жесткого ППУ марки «Изолан-125», а именно: снижение потери массы и температуры отходящих газов огнезащищенного ППУ обусловлено ускорением образования карбонизованных, теплоизолирующих структур с участием фосфорсодержащей компоненты антипирена и ингибированием радикальных процессов в газовой фазе летучими азотгалогенсодержащими продуктами термолитической системы соответственно. Методом полного факторного эксперимента оптимизирована рецептура синтетического порошкообразного антипирена на основе аммонийных фосфатов двухвалентных металлов с массовым соотношением компонентов в пересчете на оксиды: $\text{NH}_3 : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{SO}_3 : \text{CaO} : \text{MgO} : \text{Cl} = 0,44 : 2,72 : 1,67 : 1 : 2,86 : 1,06$ для получения трудногорючего жесткого пенополиуретана марки «Изолан-125» с массовым соотношением компонентов: А : Б : антипирен = 1 : 1 : 0,35. Стоимость выполнения работ при использовании разработанного материала в 2 раза ниже, а производительность в 3 раза выше по сравнению с используемыми в настоящее время материалами.

Рекомендации по использованию. Использование трудногорючего напыляемого жесткого ППУ марки «Изолан-125» позволит производить заделку мест пересечения электросетью ограждающих конструкций, ограничивая распространение пожара по кабельным шахтам гражданских зданий, локализацию такого рода пожаров при их ликвидации.

Область применения. Пассивная противопожарная защита, учебные заведения МЧС, локализация пожара в кабельной шахте гражданских зданий.

SUMMARY

Tsikhanau Maksim Mikhailovich

The use of hardly sprayed rigid polyurethane foam to limit the spread of fire through cable mines civil buildings

Keywords: polyurethane foam, fire retardant, cable shaft, nitrogen-phosphorus-containing flame retardant.

The purposes of work are: to investigate the influence of the nature of powdered non-deficient nitrogen-phosphorus-containing flame retardants for synthetic products, physical and chemical and technological properties of rigid polyurethane foam, to develop a fire resistant material, the technology of its production and use in preventing and extinguishing fires cable vaults civic buildings.

Methods of research. An integrated thermal (DTA, TG, DSC), and spectrophotometric analysis of variance, electron microscopy, laboratory original techniques.

Obtained data and their novelty. Established the mechanism of heat - protective effect study of nitrogen- phosphorus-containing flame retardant rigid polyurethane foam stamps «Izolan-125», namely the reduction of the weight loss and flue gas temperature Fire resistant polyurethane foam due to the acceleration of the formation of carbonized, insulating structures with phosphorus flame retardant components and inhibition of radical processes in gas phase volatile nitrogen-halogen fire retardant system thermolysis products respectively. Method full factorial experiment optimized synthetic powdery flame retardant formulation based on ammonium phosphate divalent metal components with a mass ratio in terms of oxides: NH_3 : P_2O_5 : SO_3 : CaO : MgO : Cl = 0,44: 2,72: 1,67: 1: 2,86 : 1,06 for by the radiation of hardly rigid polyurethane foam stamps «Izolan-125» with a mass ratio of components A: B: fire retardant = 1: 1: 0.35. The cost of performing operations using the developed material 2 times lower performance in a 3 times higher compared to currently used materials.

Usage recommendations. The use of hardly sprayed rigid polyurethane foam stamps «Izolan-125» will produce terminations places crossing mains envelope, limited to its spread of fire through cable mines civilian buildings, the localization of such fires at their disposal.

Application. Passive fire protection, educational institutions of the Ministry of Emergencies, the localization of the fire in the cable duct on civilian buildings.

Тихонов Максим Михайлович

**ПРИМЕНЕНИЕ НАПЫЛЯЕМОГО ЖЕСТКОГО ТРУДНОГОРЮЧЕГО
ПЕНОПОЛИУРЕТАНА ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ПОЖАРА ПО КАБЕЛЬНЫМ ШАХТАМ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность

Подписано в печать 16.01.2014.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,72.
Тираж 9. Заказ 013-2014.

Полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Командно-инженерный институт»
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь
ЛП № 02330/419 от 16.07.2012.
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.