

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

ОГНЕЗАЩИТА И ТУШЕНИЕ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

*Сборник материалов
II Международной заочной научно-практической конференции*

20 июня 2019 года

Минск
УГЗ
2019

УДК 614.841.41
ББК 38.96
О-38

Организационный комитет конференции:

Камлюк Андрей Николаевич – заместитель начальника Университета гражданской защиты, канд. физ.-мат. наук, доцент;

Сивенков Андрей Борисович – профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве УНЦ ППБС Академии ГПС МЧС России, д-р. техн. наук, профессор;

Богданова Валентина Владимировна - заведующая лабораторией огнетушащих веществ НИИ физико-химических проблем БГУ, д-р. хим. наук, профессор;

Рева Ольга Владимировна – доцент кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты, канд. хим. наук, доцент;

Байков Валентин Иванович – главный научный сотрудник лабораторией турбулентности ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, д-р. техн. наук, доцент;

Аушев Игорь Юрьевич – начальник факультета подготовки научных кадров Университета гражданской защиты, канд. техн. наук, доцент;

Врублевский Александр Васильевич – начальник кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты, канд. хим. наук, доцент;

Котов Геннадий Викторович – доцент кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты, канд. хим. наук, доцент;

Лубинский Николай Николаевич – старший преподаватель кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты, канд. хим. наук;

Назарович Андрей Николаевич – ответственный секретарь.

Огнезащита и тушение твердых горючих материалов : сб. материалов II
О-38 Международной заочной научно-практической конференции – Минск : УГЗ,
2019. – 60 с.

ISBN 978-985-590-066-6.

Тезисы не рецензировались, ответственность за содержание несут авторы.

УДК 614.841.41
ББК 38.96

ISBN 978-985-590-066-6

© Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты»
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Секция № 1 «Термоокислительная деструкция и пиролиз твердых горючих материалов»

<i>Богданова В.В., Кобец О.И., Бурая О.Н.</i> Влияние природы и содержания пленкообразователя на термические свойства термовспенивающихся полимерных композиционных материалов	5
<i>Богданова В.В., Кобец О.И., Бурая О.Н.</i> Термодеструкция полимеров различной природы в присутствии N-, P-содержащих антипиренов	8

Секция № 2 «Методы и средства тушения твердых горючих материалов»

<i>Криваль Д.В., Рева О.В.</i> Нетоксичные неорганические антипирены для огнезащиты полиамида-6	11
<i>Филипович С.М., Тарковский В.В.</i> Магнитное поле как один из методов тушения твердых горючих материалов	14
<i>Филипович С.М., Тарковский В.В.</i> Электрическое поле как один из методов тушения твердых горючих материалов	16

Секция № 3 «Замедлители горения твердых горючих материалов: синтез и механизм действия»

<i>Богданова В.В., Кобец О.И., Рева О.В., Лукьянов А.С.</i> Регулирование эффективности огнезамедлительных композиций для отделки полиэфирных тканых материалов	19
<i>Криваль Д.В., Рева О.В.</i> Разработка органо-минеральных огнезащитных композиций комплексного действия для полиамида	22
<i>Лавренюк О.І., Мыхалічко Б.М.</i> Механізм дзеяння новых запавольнікаў гарэння полімерных матэрыялаў на аснове эпаксідных смол	25
<i>Мойсеюк С.Ю., Рева О.В.</i> Новые неорганические замедлители горения для натуральных тканей и волокон	26
<i>Назарович А.Н., Рева О.В.</i> Избирательность закрепления компонентов огнезащитных композиций на поверхности полиэфирного волокна	29
<i>Солодовникова К.В., Бураков Б.А., Тужиков О.О.</i> Синтез фосфорсодержащих реакционноспособных соединений пониженной горючести	33

Секция № 4 «Разработка способов и средств огнезащиты твердых горючих материалов различной природы»

<i>Альменбаев М.М., Сивенков А.Б.</i> Снижение пожарной опасности древесины с лакокрасочными материалами различной химической природы	36
<i>Вовк С.Я., Ференц Н.А.</i> Исследование эффективности огнезащитных покрытий на основе силицийорганических соединений	39
<i>Назарович А.Н., Рева О.В.</i> Водостойкая обработка волокнистых полиэфирных материалов нетоксичными антипиренами	41
<i>Наумова Н.С., Подболотов К.Б.</i> Способы огнезащиты чугунной обделки тоннелей метрополитена	44
<i>Рева О.В., Богданова В.В., Шукело З.В.</i> Огнезащищенные полиолефиновые материалы с применением азот-фосфорсодержащих замедлителей горения	47

<i>Сивенков А.Б., Хасанова Г.Ш.</i> Огнезащита деревянных строительных конструкций быстровозводимых объектов культурно-исторического значения как один из факторов обеспечения пожарной безопасности	50
<i>Фещук Ю.Л., Харишин Д.В.</i> Зависимость боковых толщин обугленного слоя деревянной балки с различными слоями огнезащитной облицовки	53

**Секция № 5 «Методы испытаний и оценки пожаробезопасности
огнезащищенных твердых горючих материалов»**

<i>Кулиев Д.Ф., Мамедова С.И., Керимов К.Д., Дмитриченко А.С.</i> Расчет предела огнестойкости светопрозрачной конструкции по критерию потери теплоизолирующей способности	56
--	----

Секция 1

ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ И ПИРОЛИЗ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ И СОДЕРЖАНИЯ ПЛЕНКООБРАЗОВАТЕЛЯ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОВСПЕНИВАЮЩИХСЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Богданова В.В., Кобец О.И., Бурая О.Н.

Учреждение Белорусского государственного университета
«Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»

Для разработки эффективного экономичного отечественного термовспенивающегося полимерного композиционного материала (ТПКМ) с заданными свойствами проведены исследования по выявлению влияния природы и содержания в рецептуре пленкообразующих агентов (термопластичных полимеров и водных полимерных дисперсий) на термические свойства композитов.

Основными компонентами, входящими в состав ТПКМ, являются связующее, инертные наполнители, вспенивающие, карбонизирующие агенты, технологические добавки [1]. Выбор конкретного связующего для ТПКМ (на основе термопластичных полимеров или полимерных дисперсий) зависит от области применения композита, технологии получения, условий его эксплуатации, требуемого предела огнестойкости защищаемой конструкции, экологической и экономической целесообразности. К связующим на основе термопластичных полимеров предъявляются следующие требования по физико-механическим характеристикам (прочность, пластичность при изгибе), технологическим (пониженные вязкость расплава и температура отверждения) и термическим свойствам (температурный интервалы плавления, совпадающий с началом терморазложения вспенивающих агентов, протекание стадии термолитиза в области достаточно высоких температур). Одновременно для связующих на основе как термопластичных полимеров, так и полимерных дисперсий (водных или на основе органических растворителей) важна хорошая совместимость при смешивании с

вводимыми в них дисперсными частицами наполнителей для получения однородного и прочного материала.

В качестве термопластичных полимерных связующих для получения образцов ТПКМ опробованы полиолефиновые полимеры и сополимеры, являющиеся многотоннажными продуктами, широко используемыми или производимыми на химических предприятиях республики: атактический полипропилен, низкомолекулярный полиэтилен, пропилен-этиленовый сополимер (СПЭ), этилен-винил ацетатный сополимер (СЭВА), а также полиизобутиленовый каучук (БК). В состав связующего в качестве пластификатора в некоторых случаях добавляли хлорпарафин (ХП). В качестве связующих на водной основе использовали дисперсии акрилатов, полиуретанов, а также этилен-винилацетатного (Д-СЭВА) или стирол-акрилатного (Д-ССА) сополимеров.

На основе отобранных полимерных матриц исследовали интумесцентные композиты, содержащие различное количество полимерного связующего (от 20% до 60%). Установлено, что наилучшее сочетание термоизолирующих и физико-химических свойств как исходных композитов, так и образующихся вспененных структур при их нагревании характерно для композитов, содержащих 30–40% полимерного связующего. Снижение количества связующего в соотношении связующее–наполнители ниже 30% приводит к потере эластичности композита (появление на изгибе трещин и разрывов), трудности формования ленты заданной толщины, отсутствию коксообразования при прогреве. Композиты, содержащие 50–60% связующего, обладают наилучшей способностью к смешиванию с наполнителями и более равномерно распределяются на подложке. Однако, такие образцы проявляют склонность к самостоятельному горению и каплепадению, низкую вспенивающую способность.

С учетом характеристик по эластичности (ГОСТ 11722) и термическим свойствам (комплексный термический анализ – ДСК, ТГ, ДТГ) полимерных связующих – температурных интервалов плавления, термодеструкции и суммарного экзотермического эффекта при прогреве в температурном интервале 20–500 °С для дальнейших исследований отобраны термопластичные полимерные смеси СЭВА/БК, СПЭ/БК, СЭВА/БК/ХП с соотношениями 62,5 : 37,5 и 50 : 37,5 : 12,5 % масс., а также водные полимерные дисперсии Д-СЭВА и Д-ССА. В таблице представлены сопоставительные данные о свойствах связующих и полученных на их основе наиболее эффективных ТПКМ.

Первичный отбор экспериментальных образцов ТПКМ, полученных с использованием отобранных связующих, принципиально способных к вспениванию, проводили, выдерживая их в течение 5 с в пламени газовой горелки с фиксацией склонности к самостоятельному горению и каплепадению. Вспенивающую способность ТПКМ оценивали по

коэффициенту вспенивания, рассчитанному по относительному изменению объема образцов в процессе прогрева в динамическом режиме в интервале температур 20–800 °С: $K_{всп} = V/V_0$, где V , см³ — объем вспененного слоя; V_0 , см³ — исходный объем покрытия. Плотность вспененных продуктов прогрева, полученных в тех же условиях, вычисляли по отношению массы к объему вспененного слоя. Предел огнестойкости определяли на лабораторной установке в условиях, приближенных к СТБ 2224.

Таблица – Термические свойства исходных связующих и наиболее эффективных ТПКМ, полученных на их основе, после прогрева

Связующее (содержание в ТПКМ, %)	Данные ДСК для полимерных связующих			Наполнители	Данные для продуктов прогрева (20–800 °С) ТПКМ		
	Интервал термодеструкции, °С	Т-ры максимумов экзо-эффектов, °С	Суммарный экзотермический эффект, $\Sigma Q_{экзо}$		Вспенивающая способность, $K_{всп}$	Плотность, г/см ³	Потеря массы, Δm , %
СЭВА/БК/ХП (40)	265÷480	375, 425, 465	2592	ТРГ, АП, Сл, Вол	8,0	0,064	52,5
Д–СЭВА (30,3)	283÷500	337, 425, 439	3799	ТРГ, АП, ПЭТ	7,3	0,057	69,6

Обозначения: ТРГ – терморасширяющийся графит; АП – антипиреновая азот-фосфор-металл-содержащая композиция; Сл – слюда; Вол – волластонит; ПЭТ – пентаэритрит

Из данных таблицы следует, что термические свойства связующих на основе как термопластичного, так и воднодисперсионного полиолефинового сополимера (СЭВА) сопоставимы.

Путем регулирования природы и содержания связующих и наполнителей в рецептурах ТПКМ, содержащих в качестве одного из вспенивающих агентов ТРГ, получены образцы композитов с близкими Δm , $K_{всп}$ при прогреве (20–800 °С), придающие полимерной строительной конструкции (полипропиленовая труба) предел огнестойкости 90 мин (по СТБ 2224).

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлин А.А. Принципы создания композиционных полимерных материалов. / А.А. Берлин, С.А. Вольфсон, В.Г. Ошмян, Н.С. Ениколопов – М: Химия, 1990. – 240 с.

ТЕРМОДЕСТРУКЦИЯ ПОЛИМЕРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ В ПРИСУТСТВИИ N-, P-СОДЕРЖАЩИХ АНТИПИРЕНОВ

Богданова В.В., Кобец О.И., Бурая О.Н.

Учреждение Белорусского государственного университета
«Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»

Для нахождения общности или различия факторов, оказывающих доминирующее влияние на погасание ТГМ различной химической природы в присутствии синтетических N-P-содержащих антипиренов, проведены качественные и количественные исследования твердых продуктов термического разложения огнезащитенных материалов, имеющих различный уровень огнестойкости.

Объектами исследования были полиэтилен – ПЭ, полипропилен – ПП, пенополиуретан – ППУ марки «Изолан 125», древесина и торф. В качестве замедлителей горения для ПП и ПЭ применяли синергическую смесь полифосфата аммония (ПФА) и синтетического продукта взаимодействия карбамида с гексаметилендиизоцианатом (продукт А), имеющего формулу элементарного звена $[-CO-NH-(CH_2)_6-NH-CO-NH-CO-NH-]$. Антипиренами для ППУ, образцов древесины и торфа являлись синтетические продукты – аммонийные металлофосфаты (АМФ) катионного и анионного состава $[NH_4^+]$; $[Me^{2+} / Me^{3+}]$; $[HPO_4^{2-} / H_2PO_4^- / PO_4^{3-}]$, отличающиеся природой металла и различным содержанием азота и фосфора. Определение горючести ПЭ-, ПП-композиций проводили по ГОСТ 28157, а ППУ-композиций – по ГОСТ 12.1.044, горючесть древесины по ГОСТ 16363, а торфа – по методике [1].

Физико-химические свойства исследуемых замедлителей горения (термоизолирующая способность, экранирующие свойства расплавов, теплопоглощающая способность, остаточное содержание азота и фосфора в твердых продуктах термообработки) определяли по методикам, изложенным в работе [2].

Для полиолефиновых композиций устойчивый огнезащитный эффект (категория ПВ0) достигался только для ПП-композиции. При замене ПП на ПЭ композиция не являлась огнестойкой. ПФА и продукт А по отдельности не придавали огнестойких свойств исследуемым полимерам. В твердых продуктах термообработки ПП-композиции по сравнению с полиэтиленовой наблюдается более значительное (в 2–3 раза) поступление летучих соединений азота в газовую фазу, особенно в области температур 450–500 °С при примерно одинаковом содержании фосфора в твердых продуктах термолита и горения в обеих исследуемых композициях. Из сравнения эффективности азот-фосфорсодержащей

синергической смеси в ПЭ- и ПП-композициях с данными по составу продуктов термического разложения и горения этих же композиций видно, что огнезащитная эффективность в полиолефинах коррелирует с количественным поступлением летучих соединений азота в газовую фазу.

Высокоэффективными теплоизоляционными полимерами являются жесткие пенополиуретаны, относящиеся к легковоспламеняемым материалам. Исследование факторов, влияющих на горючесть этих гетероцепных полимеров, содержащих азот, проводили с использованием ППУ марки «Изолан-125» и синтетического аммонийного металлсодержащего замедлителя горения, имеющего массовое соотношение компонентов: $\text{NH}_3 : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{SO}_3 : \text{CaO} : \text{MgO} = 0,44 : 2 : 1,67 : 1 : 2$. В результате химического анализа твердых продуктов химического разложения исходных и огнезащищенного пенополиуретана найдено, что суммарное поступление летучих ингибиторов горения в газовую фазу в трудногорючем пенополиуретане в 1,4 раза выше по сравнению с исходным материалом.

Для предотвращения и тушения природных пожаров целесообразно иметь комплексное огнезащитное и огнетушащее средство, эффективное одновременно по отношению к древесине и торфу – горючим материалам, существенно различающимся по химическому составу, физико-химическим и термическим свойствам. Эти обстоятельства необходимо учитывать при разработке рецептур синтетических огнезащитных и огнетушащих средств (ООС), обеспечивающих воздействие на процессы, лимитирующие горение как древесины, так и торфа. В результате проведения большого количества экспериментов по синтезу дисперсий АМФ, отличающихся природой двух- и трехвалентных металлов, соотношением компонентов, условиями проведения синтеза с использованием различных нейтрализующих агентов отобраны продукты (1-3), имеющие различный химический состав, физико-химические свойства, огнезащитную и огнетушащую эффективность (таблица).

Таблица – Данные по физико-химическим, термическим, огнезащитным и огнетушащим свойствам ООС

№ ООС	Т-ра начала образования расплавов, °С	Теплопоглощающая способность (20–350 °С), Дж/г	Средняя высота вспененного слоя (300–350 °С), мм	Коэффициент растекаемости расплавов (350–380 °С)	Комплексная эффективность, Δт, %
1	200	416	2,0	1,31	8
2	220	418	4,1	0,91	21,7
3	200	345	4,0	1,03	9,8

Установлено, что данные о количественном поступлении летучих ингибиторов горения в газовую фазу полностью коррелируют с огнезащитной эффективностью ООС. При этом, как и в случае карбо- и гетероцепных полимеров, наблюдается сходная тенденция: наиболее эффективны те замедлители горения, в присутствии которых обеспечивается преимущественное поступление в газовую фазу летучих азотсодержащих ингибиторов горения.

Таким образом, в результате исследования физико-химических, термических свойств N–P-антипиренов и состава твердых продуктов термического разложения и горения огнезащищенных синтетических полимеров различных классов, древесины и торфа впервые установлена идентичность процессов, вносящих основной вклад в ингибирование горения этих разных по своей химической природе горючих веществ – достаточный и совпадающий с температурой превращения полимерной матрицы выход летучих азотсодержащих ингибиторов в пламенную зону. Вместе с тем необходимо учитывать, что и физические факторы, оказывающие влияние на условия тепло- и массопереноса при огневом воздействии на исследуемые материалы (разрушение и структурирование полимерной матрицы, изолирование поверхности горения карбонизованными продуктами термоллиза и мелкодисперсными компонентами огнезащитных систем, а также вязкость расплавов полимеров и огнепреграждающих химических составов) вносят свой вклад в прекращение горения. Показано, что как для синтетических, так и для природных полимеров количество и скорость выхода летучих ингибиторов горения в пламенную зону определяется характером первичных процессов, протекающих в предпламенной зоне конденсированной фазы. В соответствии с этим поступление азота в газовую фазу зависит не только от его содержания в исходной композиции, но и от условий, реализующихся в предпламенной зоне конденсированной фазы. Установлено, что синергизм N–P-антипиренов обусловлен количественным распределением азота и фосфора между газовой и конденсированной фазами при термическом разложении и горении огнезащищенных синтетических и природных материалов: фосфор преимущественно участвует в образовании экранирующих расплавленных и теплоизолирующих вспененных продуктов в конденсированной фазе, а азот является ингибитором радикальных реакций в газовой фазе.

Секция 2

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ТУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

НЕТОКСИЧНЫЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ АНТИПИРЕНЫ ДЛЯ ОГНЕЗАЩИТЫ ПОЛИАМИДА-6

Криваль Д.В., Рева О.В.

Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь

Полиамид-6 обладает рядом высоких эксплуатационных свойств: высокой прочностью и упругостью, хорошими электроизоляционными свойствами и термостойкостью, химической стойкостью к действию щелочей, углеводородов и минеральных масел. Одним из серьезных недостатков этих материалов является их высокая горючесть с образованием токсичных соединений и активным каплепадением. В качестве неорганических антипиренов для полиамидов предлагается использование красного фосфора и полифосфата аммония [1]. Часто для придания огнестойкости полиамам применяются синергические системы, содержащие оксид сурьмы и галогенсодержащие органические соединения [1, 2]. Использование таких замедлителей горения небезопасно, поскольку при нагревании выделяются высокотоксичные продукты разложения антипиренов. Помимо того, физико-механические свойства полиамидов весьма чувствительны к внесению посторонних примесей и отнюдь не всегда удается создать прочный и пластичный микрокомпозиционный материал. Многие свойства систем, где в полимерную матрицу вносится неорганический модификатор, очень плохо прогнозируемы, несмотря на обилие накопленных экспериментальных данных и новейшие теории синтеза композиционных материалов с заданными свойствами [3]. В последнее время появились данные о достаточно успешном создании огнезащищенных композитов на основе полиамидов методом экструзионного компаундирования в расплаве, но необходимая категория стойкости огнезащищенного полиама к горению достигается только при достаточно высоком содержании (19-22 масс. %) синергической смеси в полученном композите [4].

В качестве замедлителей горения для полиамида-6 нами были использованы неорганические синтетические аморфные аммонийные фосфаты двух- и трёхвалентных металлов с разными температурами плавления. 80 масс. % огнезащитной композиции составляли различные комбинации аммонийных металлофосфатов, а 20 % – меламина и пентаэритрит. Обнаружено, что синтезированные комплексные аммонийные металлофосфаты с температурами начала разложения ~250-280 °С (3), перспективные для введения в тугоплавкие полимеры, не показали положительных результатов по повышению огнестойкости полиамидной матрицы. Достаточно низкоплавкие огнезащитные композиции (1) и (2), с температурами плавления 110-200° С, оказались значительно более эффективны, несмотря на трудности их диспергирования в расплаве.

В случае композиции (1) начало расплавления соответствует 110-120 °С, а начало активного выделения газов – 150 °С; композиция (2) начинает размягчаться при 200 °С, а выделять газовую фракцию – при 250 °С. Температура плавления полиамида-6 находится в интервале 210-220 °С, поэтому предположительно лучшую совместимость и, соответственно, огнезащитную эффективность по отношению к полиамиду-6 должна проявлять композиция (2). Однако неожиданным и весьма интересным результатом является тот факт, что разложение и карбонизация на стадии внесения в расплав полиамида-6 наиболее выражены для огнезащитной композиции (2) с более высокой температурой плавления и замедленным выделением в газовую фазу соединений фосфора и азота. Значительно эффективнее происходит механическое совмещение с полиамидом более легкоплавкой огнезащитной композиции (1), которая при 200° С теряет уже до 10 масс. % азота и до 12,5 – фосфора в результате выделения их соединений в газовую фазу, Рис. 1.

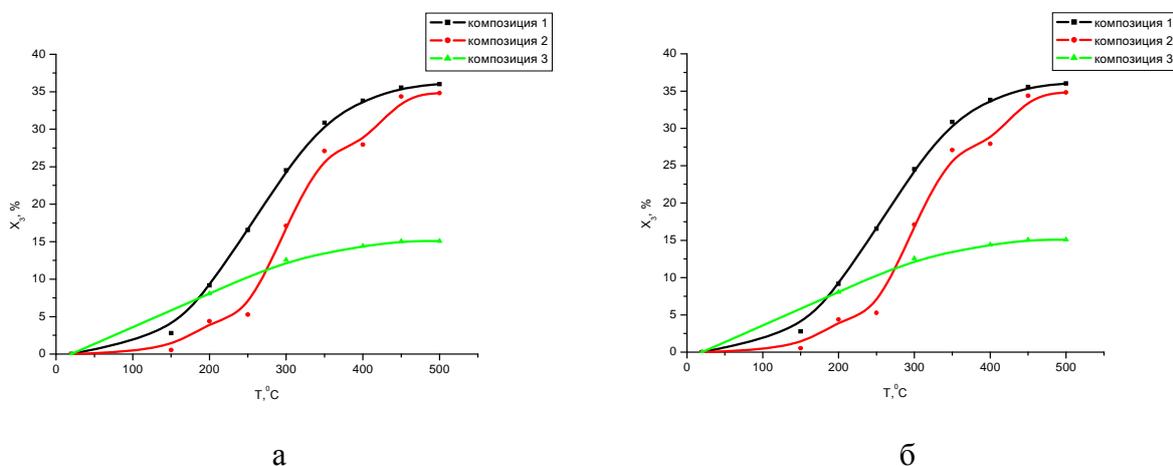


Рисунок – Зависимость количества выделившегося: а – азота, б – фосфора от температуры нагрева огнезащитных композиций

Полученные результаты позволяют предположить, что в процессе совместного расплавления полиамида-6 и аморфных аммонийных металлофосфатов помимо механического диспергирования происходят и химические превращения, с получением модифицированного композиционного полимерного материала, причем выделение летучих соединений азота и фосфора интенсифицирует эти процессы и предотвращает усиленную карбонизацию огнезащитной композиции. Как показали дальнейшие исследования, именно модифицированные более легкоплавкой огнезащитной композицией (1) полиамидные образцы отличаются и большей стойкостью к горению (ПВ-1 — ПВ-0). Полученные данные косвенно свидетельствуют о достаточно сложных процессах структурообразования в огнезащищенной микрокомпозиционной матрице, возможно, с формированием пространственно-сеточных структур.

В результате проведенных исследований установлено, что нестехиометрические аморфные аммонийные металлофосфаты в оптимальном сочетании химического состава самих солей и добавок, при введении в расплав полиамида-6 в количестве до 15 масс. % повышают его огнестойкость до категории ПВ-0. Композиционные образцы выдерживают по 2-3 поджигания, тогда как исходный полимер в виде такой же пластины сгорает полностью после первого поджигания, а растекание его начинается еще до отнятия пламени горелки. Исходя из полученных результатов, можно предположить, что в случае наиболее огнестойких образцов задействовано два механизма прекращения горения: воздействие на формирование каркасообразующих структур в конденсированной фазе и ингибирование радикальных процессов в газовой фазе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костюченко М.А., Ревяко М.М. Влияние триазинового и неорганического фосфорного ингибиторов горения на эксплуатационные свойства и стойкость к горению стеклонаполненного полиамида-6 // Весці НАН Беларусі. – 2013. – № 2. – С. 21-24.
2. Богданова В.В. Огнегасящий эффект замедлителей горения в синтетических полимерах и природных горючих материалах // Химические проблемы создания новых материалов и технологий: сб. ст. / Под ред. О.А. Ивашкевича. – Минск: БГУ. – 2003. – № 2. – С. 344-375.
3. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошмян В.Г., Ениколопян Н.С. Принципы создания композиционных материалов. М.: Химия. – 1990.
4. Песецкий С.С., Юрковски Б., Давыдов А.А. Полиамидные нанокompозиты пониженной горючести // Труды конф. Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии. – Мн.: Беларус. навука. – 2011, 184-193.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ТУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

¹Филипович С.М., ²Тарковский В.В.

¹Научно-практический центр учреждения
«Гродненское областное управление МЧС»

²Учреждение образования «Гродненский государственный
университет имени Янки Купалы»

В настоящее время во всем мире весьма актуальной проблемой является возгорание лесов, домов, предприятий, дорогостоящих объектов нефтегазовой промышленности [1,2]. Обычно процедура тушения сводится к сбиванию пламени при помощи воды и других веществ, к предотвращению поступления кислорода в очаг пламени.

Новые подходы к тушению пламени могут быть основаны на том факте, что с физической точки зрения оно представляет собой одну из разновидностей низкотемпературной плазмы (температура меньше 10^6 К) и всегда содержит свободные электроны и ионы [2]. Эти свойства пламени определяют возможность воздействия на него со стороны электромагнитных полей.

Академиком Дудышевым В.Д. был предложен новый бесконтактный метод тушения пламени при помощи электрических полей. Он основан на физическом эффекте отклонения пламени к одному из разноименных высоковольтных потенциалов внешнего электрического поля [1,2]. Внешнее электрическое поле с пороговой напряженностью 5-25 кВ/см «вытягивает» из зоны протекания цепных реакций (зоны горения) электроны и разноименно электрически заряженные радикалы горящих веществ, содержащиеся в пламени [1,2]. В результате, в зоне горения нарушаются условия поддержания цепных реакций дробления радикалов горящих веществ в ядре пламени.

В данной работе показано, что для тушения пламени, кроме электрического, пригодно и магнитное поле. Магнитное поле также способно «вытягивать» из пламени электроны и разноименно электрически заряженные радикалы горящих веществ.

Представляются два возможных метода тушения пламени указанным способом. Во-первых, можно использовать импульсное магнитное поле. Его можно получить при разряде конденсатора на одновитковый соленоид (рисунок 1). При этом можно получить сверхсильное магнитное поле в пределах 100-400 Тл. Внутренний диаметр и длина используемых катушек обычно не превышают 1 см. Индуктивность их мала (единицы нГн), поэтому для генерации в них сверхсильных полей требуются токи

мегаамперного уровня. Их получают с помощью высоковольтных (10-40 кВ) конденсаторных батарей с низкой собственной индуктивностью и запасаемой энергией от десятков до сотен килоджоулей. Источник пламени находится внутри соленоида.

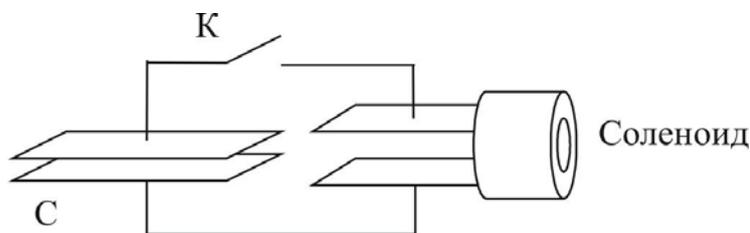


Рисунок 1 – Схема устройства для тушения пламени с помощью импульсного магнитного поля (С – высоковольтный конденсатор, К – коммутатор)

Второй способ основан на использовании постоянных магнитных полей. Сильное постоянное магнитное поле можно получить с помощью неодимовых магнитов. Оптимальным является SmCo_5 (спеченный) неодимовый магнит ($B=0,8-1,1$ Тл; $H=600-2000$ А/м; $T_K=720^0$ С).

Нами был проведен эксперимент по бесконтактному тушению пламени с помощью магнитного поля с использованием набора неодимовых магнитов. На рисунке 2 показаны последовательные фазы этого процесса.



Рисунок 2 – Тушение пламени с помощью постоянного магнитного поля:
1 – набор неодимовых магнитов; 2-4 – последовательные фазы процесса тушения

Из проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Тушение пламени возможно с помощью постоянного и импульсного магнитного поля.

2. Эффективность данного метода зависит от скорости срабатывания системы пожаротушения. Скорость срабатывания должна быть высокой и поэтому система должна включаться от сигнала ИК-датчика. Если пламя успело разгореться, то такой метод перестает быть эффективным. После выключения системы из-за высокой температуры в очаге пламя вспыхнет вновь.

Предложенный метод может использоваться только в небольших замкнутых объемах, например, отсек двигателя или локально в больших помещениях в местах наиболее вероятного возникновения пламени и не годится для борьбы с крупными пожарами по причине указанной в п. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дудышев, В.Д. Новая электроогневая технология экологически чистого горения / В.Д. Дудышев //Новая Энергетика. – 2003. – №1. – С.55 – 57.
2. Дудышев В.Д. Способ тушения пламени (электроогневой метод), Авт. св- во СССР № 1621234 с приор. от 12.03.88 г.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ТУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

¹Филипович С.М., ²Тарковский В.В.

¹Научно-практический центр учреждения
«Гродненское областное управление МЧС»

²Учреждение образования «Гродненский государственный
университет имени Янки Купалы»

В настоящее время во всем мире весьма актуальной проблемой является возгорание лесов, домов, предприятий, дорогостоящих объектов нефтегазовой промышленности [1,2]. В результате уничтожаются объекты материальной сферы и гибнут люди. Ежегодный ущерб исчисляется миллиардами долларов.

Новый инновационный бесконтактный метод тушения пламени при помощи электрических полей был предложен академиком Дудышевым В.Д. Метод состоит в воздействии на пламя сильным импульсным электрическим полем с напряженностью 5 кВ/см и выше. В некоторых случаях напряженность поля должна достигать 25 кВ/см [1,2]. Способ электрического подавления пламени основан на физическом эффекте отклонения пламени к одному из разноименных высоковольтных потенциалов внешнего электрического поля [3].

Технически устройство для тушения пламени электрически полем может быть реализовано несколькими способами. На рисунке 1 показаны две возможные схемы.

Нами был проведен эксперимент по бесконтактному тушению пламени с помощью электрического поля с использованием схемы №2 (рисунок 1). В качестве источника высокого напряжения использовался высоковольтный преобразователь «Разряд-1», обеспечивающий напряжение 25 кВ. Использовались электроды из медной фольги. В качестве источника пламени использовалась обычная парафиновая свечка. Площадь электродов должны быть такой, чтобы покрывать размеры пламени. На рисунке 2 показаны последовательные фазы процесса по тушению пламени с помощью электрического поля. Рисунок 2-1

соответствует ситуации, когда электрическое поле выключено. Положительный электрод расположен справа, отрицательный слева.

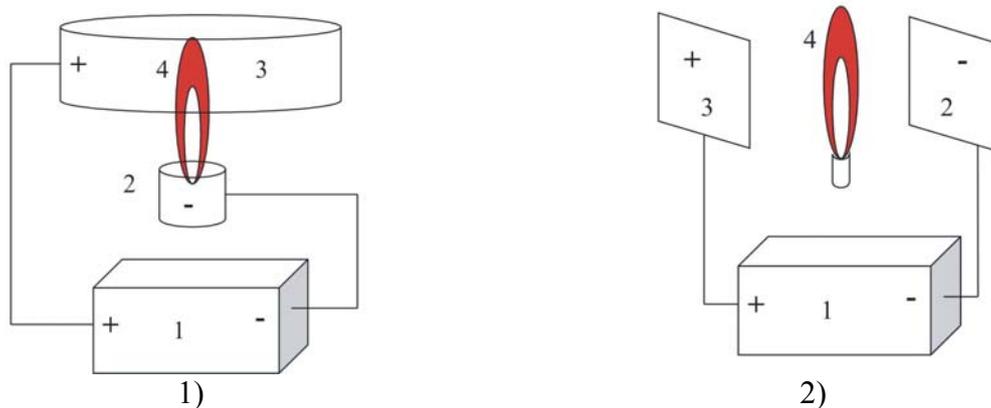


Рисунок 1 – Две возможные схемы тушения пламени электрическим полем: 1 – схема с кольцевыми электродами, 2 – схема с плоскими электродами: 1 – источник высокого напряжения, 2 – отрицательный электрод, 3 – положительный электрод, 4 – пламя

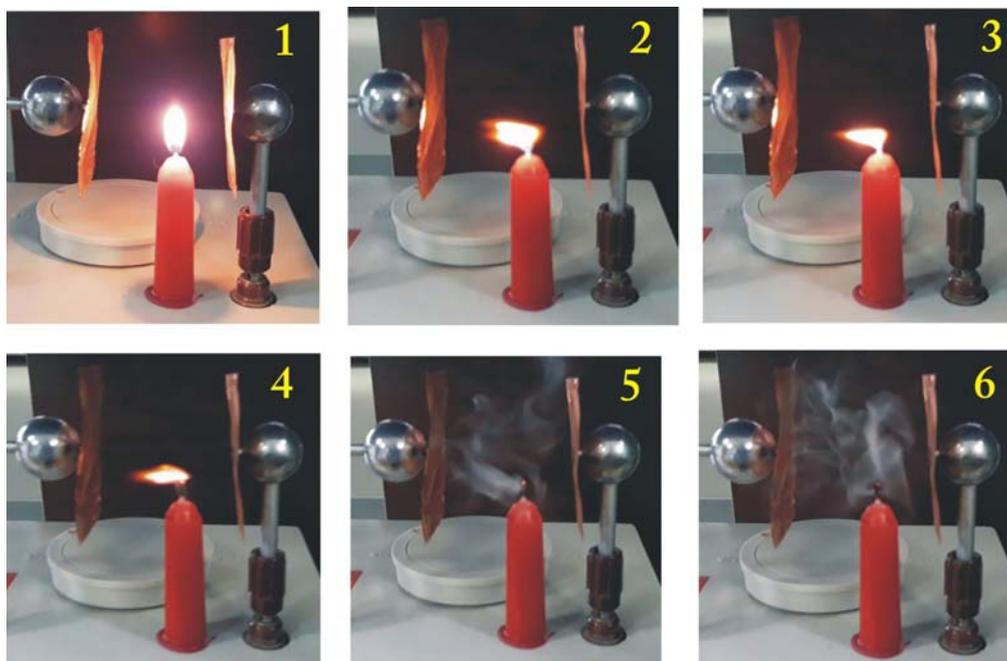


Рисунок 2 – Последовательные фазы процесса по тушению пламени с помощью электрического поля

Как видно из рисунка 2 во всех случаях при включении электрического поля (2-6) пламя отклонялось в сторону отрицательного электрода и через несколько секунд гасло. Напряженность электрического поля составляла около 5 кВ/см.

Из проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Тушение пламени при помощи электрического поля является эффективным методом борьбы с возгораниями.
2. Эффективность данного метода зависит от скорости срабатывания системы пожаротушения. Скорость срабатывания должна быть высокой и

поэтому система должна включаться от сигнала ИК-датчика. Если пламя успело разгореться, то такой метод перестает быть эффективным. После выключения системы из-за высокой температуры в очаге пламя вспыхнет вновь.

3. Предложенный метод может использоваться только в небольших замкнутых объемах, например, отсек двигателя или локально в больших помещениях в местах наиболее вероятного возникновения пламени и не годится для борьбы с крупными пожарами по причине указанной в п. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дудышев, В.Д. Новая электроогневая технология экологически чистого горения / В.Д. Дудышев //Новая Энергетика. – 2003. – №1. – С.55 – 57.
2. Дудышев В.Д. Способ тушения пламени (электроогневой метод), Авт. св- во СССР № 1621234 с приор. от 12.03.88 г.
3. Фарадей М. История свечи: Пер. с англ./Под ред. Б.В. Новожилова. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 128 с., ил. – Библиотечка «Квант».

Секция 3

**ЗАМЕДЛИТЕЛИ ГОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ:
СИНТЕЗ И МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ**

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАМЕДЛИТЕЛЬНЫХ
КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ПОЛИЭФИРНЫХ ТКАНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

¹Богданова В.В., ¹Кобец О.И., ²Рева О.В., ³Лукьянов А.С.

¹Учреждение Белорусского государственного университета
«Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»

²Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

³Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем
чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь

Для огнезащитной отделки полиэфирных текстильных материалов одним из эффективных и недорогих методов является поверхностная обработка нитей, полотен или готовых изделий антипиренами, как правило, представляющими собой синтетические продукты или смеси азот-, фосфор-, галогенсодержащих органических или неорганических соединений разнообразного химического состава. Основным недостатком такой отделки является вымываемость антипиренов после стирки огнезащищенного полиэфирного материала, что требует его повторной огнезащитной обработки. На этапе создания рецептуры огнезащитного состава (ОС) для полиэфирного тканого материала, обеспечивающего химическое взаимодействие с полиэтилентерефталатной матрицей (ПЭТФ) установлено, что лучшей реакционной способностью обладают ОС, представляющие собой коллоидные растворы соединений двухвалентных металлов, нанесенные на полимерный тканый материал посредством ступенчатой обработки «травитель-медиативный агент-ОС».

С целью увеличения реакционной способности синтетических огнезащитных составов по отношению к полиэфирной матрице при одноразовой обработке и сохранения огнезащитного эффекта после стирки в данной работе проведены исследования по модифицированию рецептур

металлофосфатных огнезамедлительных систем, а также по изучению огнезащитных и физико-химических свойств наиболее эффективных из полученных антипиреновых композиций.

ОС получали на основе кислых металлофосфатных концентрированных растворов-связок, синтезированных на основе соединений двух-, трехвалентных металлов (Me – Ca, Mg, Ba, Sn, Zn, Al), которые затем нейтрализовывали щелочными агентами различной химической природы до достижения pH 2-5. Нейтрализующими агентами выступали гидроксиды и/или карбонаты аммония, натрия или калия, карбамид. В качестве модификаторов использовали N-, B-содержащие соединения, коллоидный раствор хлорида олова (II) (медиативный агент для химической привязки ОС к волокнам ткани), подклеивающую полимерную добавку – полиакриламид (ПАА), комплексон – натриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (Na-ЭДТА), буферную смесь гексаметилентетрамина (ГМТА) с хлоридом аммония для увеличения устойчивости коллоида. Для лабораторных огневых испытаний по СТБ 11.03.02.–2010 (п. 6.6.1–6.6.6) огнезащищенные образцы готовили, обрабатывая в одну стадию полиэфирную ткань составами, полученными в виде кислых растворов, содержащих коллоидные частицы. Установлено, что устойчивый к стирке огнезамедлительный эффект на полиэфирном материале проявили ОС1–ОС3 на основе кальций- или барийфосфатных связок (таблица).

Таблица – Химический состав ОС, нейтрализующих и модифицирующих агентов и огнезащитные свойства ОС после стирки

№ ОС	Мольные соотношения основных компонентов ОС CaO : SnO : BaO : P ₂ O ₅ : HCl* : : CO ₂ : NH ₃ ** : Na ₂ O	Нейтрализующий агент	Модифицирующий агент	Огнезащитная эффективность		
				Время самост. горения, с	Длина прогара на образце, см	Самозатухание
1	1 : 3 : 0 : 3 : 9,15 : 0,82 : 0 : 0,41	NaHCO ₃	SnCl ₂ +HCl	3	6,4	+
2	1 : 2 : 0 : 3 : 6,1 : 0 : 0,82 : 0 : 0,41	NaHCO ₃	SnCl ₂ +HCl, ПАА	-	6,5	+
3	0 : 0 : 1 : 3 : 4,01 : 0 : 6,83 : 0	NH ₃ ·H ₂ O	ГМТА, NH ₄ Cl, ПАА	3	4,7	+

*Суммарное содержание хлора в пересчете на HCl

**Суммарное содержание азота (аммонийного, амидного) в пересчете на NH₃

Комплексный термический анализ (ДСК, ТГ, ДТГ) исходной ткани и стиранных огнезащищенных образцов полиэфирного тканого полотна свидетельствует, что в случае наиболее эффективного ОС2 по сравнению с образцами в присутствии других ОС наблюдается более существенное снижение суммарного тепловыделения (Дж/г) и общей потери массы.

Рентгенофлуоресцентным элементным анализом в образцах огнезащищенной ОС2 стираной полиэфирной ткани по сравнению с исходной тканью обнаружено присутствие фосфора (0,6-1,5 %) и двухвалентных металлов – кальция (0,18-0,29) и олова (0,01 %).

Электронномикроскопическим (ПЭМ) исследованием размеров коллоидных частиц в металлофосфатных растворах ОС1–ОС3, установлено (рисунок), что при использовании в синтезе оловосодержащего медиативного агента (ОС1), раствора ПАА и/или аминокислотной буферной смеси (ОС3) степень дисперсности этих огнезамедлительных систем увеличивается, что способствует лучшему удерживанию ОС на волокнах ткани и сохранению эффективности огнезащитной обработки полиэфирного материала после стирки.

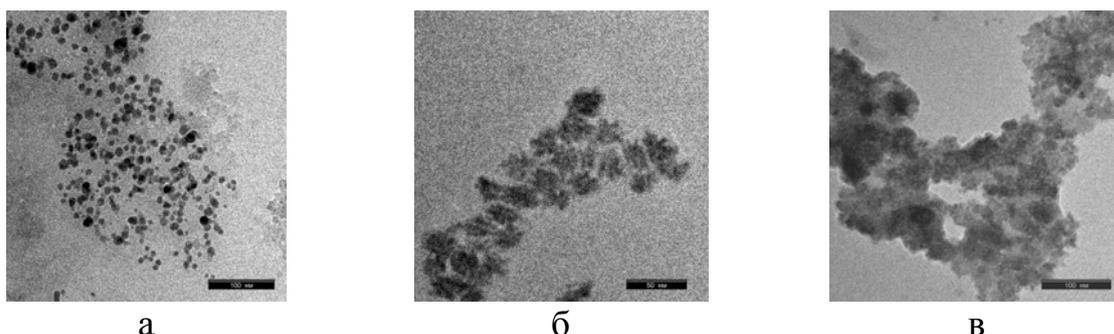


Рисунок – Фото ПЭМ размеров коллоидных частиц для:
а – ОС1, б – ОС2, в – ОС3.

Таким образом, синтезированы новые нанодисперсные металл-азот-фосфорсодержащие продукты, обладающие повышенной реакционной способностью по отношению к ПЭТФ, что позволяет достичь перманентной огнезащиты полиэфирных тканевых материалов. Установлено, что использование аминокислотного буферного раствора и/или водорастворимых полимеров оказывает влияние на размер коллоидных частиц, улучшает привязку ОС к образцам ткани из ПЭТФ и, как следствие, увеличивает устойчивость огнезащитной обработки полиэфирного материала к стирке.

РАЗРАБОТКА ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПОЛИАМИДА

Криваль Д.В., Рева О.В.

Университет гражданской защиты Беларуси

Огнестойкие композиты на основе полиамидов получают методом экструзионного компаундирования в расплаве красного фосфора, органических производных полифосфатов, органогалогенидов и др., но необходимая категория стойкости материала к горению достигается только при достаточно высоком содержании (25-30 масс. %) синергической смеси в полученном композите; при этом физико-механические свойства полиамидов существенно снижаются при наличии примесей [1,2]. Кроме того, при нагревании полиамидов, модифицированных такими замедлителями горения, выделяются высокотоксичные продукты их разложения. Поэтому в настоящее время проводится активный поиск нетоксичных неорганических соединений, способных выполнять функции замедлителя горения в полиамидной матрице. Однако большинство таких веществ либо плохо совмещаются с расплавом полимера (или частично разлагаются в процессе экструдирования), либо в отсутствие органической компоненты газофазного действия не обеспечивают необходимой категории стойкости к горению. Таким образом, сравнительный анализ множества литературных и экспериментальных данных позволяет сделать вывод о необходимости создания для полиамидов сложносоставных огнезащитных композиций многофазного действия.

В качестве замедлителей горения для полиамида-6 нами были использованы синтетические аморфные аммонийные и полифосфаты различного химического и фазового состава с добавками тугоплавких минеральных соединений двух- и трехвалентных металлов, а также меламин и пентаэритрит как газовыделяющих агентов [3].

В результате проведенных исследований установлено, что для подавляющего большинства изученных фосфатных и полифосфатных антипиреновых композиций для обеспечения огнезащиты полиамидных материалов до уровня ПВ-0 необходимо введение в расплав ~25 масс. % замедлителя горения. В результате большого количества экспериментов найдено, что наилучший огнезащитный эффект обеспечивают те синергические смеси, которые при нагревании активно выделяют газы уже при 150 °С, причем к 200° С ими теряется уже до 10 масс. % азота и до 12,5 – фосфора. Эти же смеси к окончанию термодеструкции превращаются в карбонизированные упругие твердые пены или минеральные каркасы. Только сочетание этих двух условий

одновременного действия огнезащитных композиций в газовой и конденсированной фазе обеспечивает высокую огнестойкость полимера при концентрации ~20-25 масс. %, и полностью блокируют его растекание и каплепадение. Однако существенным недостатком продолжают оставаться как несовпадение температур плавления огнезащитной композиции и переработки полиамида (~220-240 °С), так и значительное массовое содержание антипирена в композите.

В связи с этим были проведены исследования составленных нами новых огнезащитных композиций на основе фосфинатных систем с минеральными тугоплавкими и газовыделяющими добавками. Комбинация полифосфатных, фосфинатных и алюмосиликатных соединений многовалентных металлов со вспучивающимися газовыделяющими агентами позволила снизить содержание огнезащитной смеси в полиамидном композите до 10-15 масс. % при сохранении высокой огнестойкости. По результатам огневых испытаний пластины огнезащищенного полиамида выдерживали по 2–3 поджигания, не поддерживали самостоятельного горения и затухали после отнятия пламени через 3–5 секунд, что соответствует категории устойчивости к горению ПВ-0.

Дифференциально-термическое и термогравиметрическое исследования новых замедлителей горения показали, что расплавление эффективных сложносоставных органо-минеральных смесей без потери массы начинается при ~170 °С, Рис. 1.

Потеря массы обеими композициями за счет выделения летучих продуктов деструкции начинается при ~360 °С (что существенно выше температуры переработки полиамида), и интенсивно продолжается до 520 °С, до завершения их карбонизации. Для наиболее эффективной композиции (1) при 480-490 °С наблюдается эндотермический пик, связанный со структурными превращениями в твердой фазе. Для несколько менее эффективной композиции (2) этот пик смещен к 420 °С, хотя и в ~2 раза больше по теплопоглощению, Рис. 1. Полученные данные свидетельствуют о достаточно сложных эндотермических процессах структурообразования в огнезащищенной микрокомпозиционной матрице, возможно, с формированием пространственно-сеточных структур.

Наивысшая огнезащитная эффективность по отношению к полиамиду обнаружена для комплексных многокомпонентных смесей, способных к выделению в газовую фазу летучих соединений, блокирующих радикальные процессы, и одновременно содержащих полифосфаты и фосфинаты, которые являются антипиренами преимущественно твердофазного действия. Присутствие минеральных структурообразующих добавок соединений многовалентных металлов, роль которых в механизме огнезащиты еще недостаточно изучена, позволяет снизить содержание замедлителя горения в полимерной матрице до 10-15 масс. %.

МЕХАНИЗМ ДЗЕЯННЯ НОВЫХ ЗАПАВОЛЬНІКАЎ ГАРЭННЯ ПАЛІМЕРНЫХ МАТЭРЫЯЛАЎ НА АСНОВЕ ЭПАКСІДНЫХ СМОЛ

Лавренюк О.І., Мыхалічко Б.М.

Львоўскі дзяржаўны універсітэт бяспекі жыццядзейнасці

Хуткія тэмпы росту вытворчасці пластыка і сінтэтычных смол абумоўліваюць неабходнасць пошуку новых хімічных злучэнняў, якія маглі б эфектыўна зніжаць іх гаручасць. У гэтым аспекце даволі перспектыўнай з'яўляецца хімічная мадыфікацыя палімераў з ужываннем рэакцыйных антыпірэнаў.

У прыватнасці, у працы прапанаваны новы тып запавольнікаў гарэння палімерных матэрыялаў на аснове эпаксідных смол. У выніку прамога ўзаемадзеяння неарганічных соляў *d*-металаў з ацвярджалінікамі эпаксідных смол, якія змяшчаюць амінагрупы, сінтэзавалі крышталічныя комплексы, якія ў далейшым выкарыстоўвалі як антыпірэны-ацвярджалінікі эпаксідных кампазіцый [1, 2]. Метадам рэнтгенаструктурнага аналізу была вывучана крышталічная структура сінтэзаваных антыпірэнаў-ацвярджалінікаў, выяўлена ўзаемасувязь паміж іх структурнымі параметрамі і фізіка-хімічнымі ўласцівасцямі, у прыватнасці, схільнасцю да гарэння. У адрозненне ад традыцыйных ацвярджалінікаў эпаксідных смол прапанаваныя антыпірэны-ацвярджалінікі маюць значна больш высокую тэрмічную акісляльную ўстойлівасць і не здольныя запальвацца і самазапальвацца пры награванні да тэмператур 450°C і 600°C адпаведна.

Даследавана магчымасць інкарпаравання сінтэзаваных антыпірэнаў-ацвярджалінікаў ў эпаксідную кампазіцыю. Метадам інфрачырвонай спектраскапіі пацверджана ўдзел соляў *d*-металаў у фарміраванні трохмернай сеткі эпаксідных смол шляхам фарміравання ўнутрана малекулярных комплексаў з моцнымі каардынацыйнымі сувязямі Cu(II)–N.

У выніку, мадыфікацыя эпаксідных кампазіцый солямі *d*-металаў прыводзіць да павышэння іх тэрмічнай ўстойлівасці і павелічэнню колькасці цвёрдага астатку (коксу). Выкарыстанне прапанаваных антыпірэнаў-ацвярджалінікаў прыводзіць да росту тэмператур ўзгарання і самазагарання, зніжэнне максімальнай тэмпературы газападобных прадуктаў згарання і страты масы пры гарэнні гэтых эпаксідных кампазіцый. Мадыфікаваныя кампазіцыі ставяцца да цяжка гаручым матэрыялам з ўмеранай дыматворнай здольнасцю, яны не распаўсюджваюць полымя і самі згасаюць [3–5].

Па-за ўсякім сумневам, прычынай гэтага ёсць дадатковыя хімічныя сувязі, якія ўзнікаюць паміж гаручымі малекуламі ацвярджалінікаў

эпаксідных смол, якія змяшчаюць амінагрупы, і негаручымі неарганічнымі солямі *d*-металаў. На разбурэнне менавіта гэтых сувязяў выдаткоўваецца ільвіная доля цеплавой энергіі, якая паступае ад крыніцы запальвання. Усё гэта з'яўляецца важным звяном на шляху да рэалізацыі складанага механізму запаволення гарэння эпаксідных палімерных кампазіцый солямі *d*-металаў.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lavrenyuk H., Mykhalichko O., Zarychta B., Olijnyk V., Mykhalichko B. A new copper(II) chelate complex with tridentate ligand: synthesis, crystal and molecular electronic structure of aqua-(diethylenetriamine-N, N', N'')-copper(II) sulfate monohydrate and its fire retardant properties // Journal of Molecular Structure. – 2015. – No 1095. – P. 34-41.
2. Lavrenyuk H., Mykhalichko O., Zarychta B., Olijnyk V., Mykhalichko B. Synthesis, Structural, and Thermal Characterization of a New Binuclear Copper(II) Chelate Complex Bearing an Amine-hardener for Epoxy Resins // Journal of Coordination Chemistry. – 2016. – Vol. 69. – No 18. – P. 2666–2676.
3. Lavrenyuk H., Kochubei V., Mykhalichko O., Mykhalichko B. A new flame retardant on the basis of diethylenetriamine copper(II) sulfate complex for combustibility suppressing of epoxy-amine composites // Fire Safety Journal. – 2016. – Vol. 80. – P. 30-37.
4. Lavrenyuk H., Kochubei V., Mykhalichko O., Mykhalichko B. Metal-coordinated epoxy polymers with suppressed combustibility. Preparation technology, thermal degradation, and combustibility test of new epoxy-amine polymers containing the curing agent with chelated copper(II) carbonate // Fire and Materials. – 2018. – Vol. 42. – P. 266-277.
5. Lavrenyuk H., Hamerton I., Mykhalichko B. Tuning the properties for the self-extinguishing epoxy-amine composites containing copper-coordinated curing agent: flame tests and physical-mechanical measurements // Reactive and Functional Polymers. – 2018. – Vol. 129. – P. 95-102.

НОВЫЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАМЕДЛИТЕЛИ ГОРЕНИЯ ДЛЯ НАТУРАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ И ВОЛОКОН

Мойсеюк С.Ю., Рева О.В.

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

Огнезащита текстильных материалов из целлюлозных волокон возможна только в виде финишных пропиточных и спрейных обработок; причем антипирены для натуральных тканей должны быть нетоксичными и не

выделять опасных соединений при термодеструкции. Однако максимально отвечающие этим требованиям неорганические замедлители горения довольно быстро вымываются с поверхности целлюлозных тканей при стирке.

Возможным решением проблемы может быть разработка способа огнезащиты, в результате которой обеспечивается прочное химическое взаимодействие антипирена с целлюлозными волокнами. Так, составы «Пробан» [1] (тетра(гидроксиметил)фосфоний хлорид $[(\text{CH}_2\text{OH})_4\text{P}^+]\text{Cl}^-$) и Пироватекс» [2] (водный раствор М-гидроксиметил-(диметил)-фосфонпропионамида) взаимодействуют с гидроксильными группами целлюлозы с образованием сшитых структур. Существенными их недостатками являются выделение фосфинов и метанола в процессе термолиза обработанных материалов, а также снижение прочности волокна на 25-30 %. Таким образом, до настоящего времени проблема получения огнезащищенных целлюлозных тканей нетоксичными композициями не решена.

Ранее нами была разработана ступенчатая технология, включающая создание на поверхности хлопка функциональных групп и хемосорбцию коллоидных частиц соединений двухвалентного олова, обеспечивающих дальнейшую сорбцию металло-фосфатного ингибитора горения [3]. Хлопковые ткани, прошедшие такую обработку, горят в 6-7 раз медленнее, но требуемого уровня огнезащиты не обеспечивается. Кроме того, многостадийная огнезащитная технология неудобна в производственных условиях.

В связи с этим нами разработаны новые огнезащитные композиции на основе металлофосфатов, допированные соединениями многовалентных металлов (олова, алюминия, титана), способные к формированию коллоидных частиц и обеспечивающие проведение огнезащитной обработки в одну стадию. Способ синтеза этих композиций обеспечивает получение однородного вязкого раствора (обычно металлофосфаты представляют собой довольно грубодисперсные быстро расслаивающиеся суспензии, что неудобно в применении и может привести к неоднородности обработки). Эти композиции с концентрацией ~15-25 масс. % стабильны в течение длительного времени – до 6 и более месяцев.

В результате проведенных исследований доказано, что природа переходного металла (ионы которого могут являться ядрами мицелл и катализировать коллоидообразование) и способ нейтрализации композиций (растворами NH_3 , NaHCO_3 , KOH) влияет на закономерности формирования и размеры коллоидных частиц в их объеме, и, соответственно, их огнезащитную эффективность. Наивысшую огнезащитную эффективность обеспечивают системы, нейтрализованные аммиаком либо гидрокарбонатом натрия и содержащие ионы олова или алюминия.

Также очень важным фактором является срок созревания огнезамедлительной композиции. Так, свежеприготовленные металло-фосфатные растворы любого состава не обеспечивают водостойкости огнезащитной обработки, поскольку формирования коллоидной фазы в них не зафиксировано. Тогда как в композициях со сроком хранения 20-30 суток методом просвечивающей электронной микроскопии обнаружены многочисленные коллоидные частицы с размерами 10-50 нм. После обработки этими составами хлопковых, льняных и смесовых тканей (~50:50 или 70:30 % ПЭ и хлопка) и стирки, ткани согласно результатам огневых испытаний соответствуют категории стойкости к горению «трудногорючий». Именно эти ткани после стирки по данным рентгенофлуоресцентного анализа содержат максимальное количество фосфора (до 5,3 масс. %) и кальция (до 4,5 масс. %). Несмотря на то, что содержание многовалентных металлов в приповерхностной зоне обработанных тканей лишь незначительно (на 0,2-0,5 %) превышает фоновое, их наличие принципиальным образом влияет на закрепление в матрице соединений основных огнезащитных агентов: фосфора и кальция.

Как показал сравнительный анализ данных термогравиметрического исследования, величина коксового остатка при принудительном термоллизе хлопковых тканей коррелирует с данными гравиметрических исследований и огневых испытаний, увеличиваясь с ~7 масс. % для необработанной ткани до ~15 % для наиболее огнестойких образцов, характеризующихся сохранением до 40 % замедлителя горения после стирки и категорий стойкости к горению «трудновоспламеняемый», табл. 1. Эти показатели получены при обработке тканей металло-фосфатными композициями со сроком хранения 30 суток, без добавок или допированных соединениями Sn(II), нейтрализованными раствором гидрокарбоната натрия.

Таблица 1 – Результаты термогравиметрического анализа целлюлозных тканей, обработанных огнезащитными композициями со сроком хранения 30 суток

Состав огнезащитной композиции	Нейтрализация	Время самостоятельного горения, сек	Коксовый остаток, %	Классификация по горючести
Исходный образец	-	28	7,52	Легковоспламеняемый
CaO+P ₂ O ₅	NH ₃	-	12,33	Трудновоспламеняемый
CaO+P ₂ O ₅ +SnCl ₂	NH ₃	12	9,7	Легковоспламеняемый
CaO+P ₂ O ₅ +TiO ₂	NaHCO ₃	10	11,8	Легковоспламеняемый
CaO+P ₂ O ₅ +SnCl ₂	NaHCO ₃	-	15	Трудновоспламеняемый
CaO+P ₂ O ₅ +TiO ₂	NH ₃	23	10	Легковоспламеняемый

В результате проведенных исследований установлено, что огнезащитная обработка целлюлозных и смесовых тканей новыми неорганическими металлофосфатными композициями в одну стадию является устойчивой к стиркам и обеспечивает обработанным льняным тканям максимальную категорию стойкости к горению «трудногорючий». Данными свойствами обладают только системы, в составе которых имеется наноразмерная коллоидная фаза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Палига С., Яворска И., Дамбровска Л. Огнеупорная отделка тканей из целлюлозных волокон // Технэконом. информ. бюлл. по легк. Пром, 1975. – № 9. – С.73-77.
2. Бычкова Е.В. Технология модификации вискозных волокон производными диметилфосфоната с целью получения волокон пониженной горючести. Автореф. дис. к-та. техн.наук. Саратов, – 2001. – 16 с.
3. Рева О.В., Зарубицкая Т.И. Придание перманентной огнестойкости хлопковым тканям и волокнам путем хемопривязки неорганических огнезащитных композиций к их поверхности // НТЖ Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2016. – № 1(39) – С. 77-85.

ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ ЗАКРЕПЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОГНЕЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭФИРНОГО ВОЛОКНА

Назарович А.Н., Рева О.В.

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

Полиэфирные волокнистые материалы находят применение для изготовления изделий как бытового (одежда, мебель, предметы интерьера), так и технического назначения (канаты, нити, плетеные гибкие шланги). Полиэфирные волокна однородные по толщине, высокопрочные, устойчивые к многократным деформациям, истиранию, смятию. Серьезным недостатком полиэфирных материалов является высокая горючесть.

Наиболее эффективным методом придания огнестойкости полимерам является либо модификация их химического состава на стадии синтеза, либо введение антипиренов на стадии расплава. Расплавы полиэфиров хорошо совмещаются с органическими производными

галогенов, фосфора, азота, сурьмы и висмута, но при высоких температурах эти вещества разлагаются с образованием токсичных соединений. Эффективными нетоксичными замедлителями горения для полиэфирных тонкодисперсных материалов являются неорганические соли азота и фосфора; особенно хорошо предотвращают их вторичное тление комплексные нестехиометрические металлофосфаты и полифосфаты аммония [1]. Однако введение неорганических ингибиторов горения в расплав полимера приводит к существенному ухудшению физико-механических свойств материала (прочность на разрыв, относительное удлинение, ударную вязкость, модуль упругости).

При поверхностной обработке (пропитка, опрыскивание) готового волокна с очень гладкой и химически инертной поверхностью неорганические антипирены не закрепляются на изделии в достаточных количествах, либо впоследствии вымываются при стирке. Возможным решением проблемы может быть создание на поверхности полиэфира активных функциональных групп, обеспечивающих химическое закрепление замедлителя горения. Нами был разработан метод химической пришивки антипирена к поверхности полиэфирного волокна с использованием коллоидных частиц соединений Sn(II) и получением композиционной системы [2,3]. Данный метод заключается в многоступенчатой обработке волокнистого полиэфирного материала: химическое травление с раскрытием функциональных групп, создание адгезионного интермедиативного нанослоя обработкой спиртовым коллоидным раствором SnCl₂, пропитка сложносочиненной суспензией нетоксичной неорганической огнезащитной композиции.

При этом было найдено, что близкие по химическому и фазовому составу аммонийные фосфаты при одинаковых условиях ступенчатой огнезащитной обработки закрепляются на полиэфирной поверхности в различных количествах. Механизм взаимодействия неорганического антипирена с полиэфиром, в особенности при его поверхностной химической прививке мало изучен, и совершенно неясно влияние комплексного состава неорганических замедлителей горения и методов модификации поверхности полиэфира на закономерности хемосорбции компонентов антипиренов и формирования мостиковых связей между полимерной подложкой и неорганическим модификатором.

Целью данной работы было исследование влияния химического и гранулометрического состава аммонийно-фосфатных неорганических замедлителей горения на их способность взаимодействовать с активирующим слоем наноразмерных частиц соединений Sn(II) на полимерной поверхности, и соответственно, огнезащитную эффективность.

Результаты и обсуждение. Нами была проведена многоступенчатая пропиточная огнезащитная обработка нетканого объемного полиэфирного утеплителя с применением нескольких типов неорганических огнезащитных композиций, отличающихся по химическому и гранулометрическому составу и способу синтеза. Установлено, что хорошо закрепляющийся в процессе термофиксации на тканях плотного плетения грубодисперсный антипирен АН-10, на поверхности волокнистых материалов (для которых термофиксация технологически невозможна) сорбируется в количествах на порядок меньше, в среднем 2,0-3,5 мг/см³. Соответственно, по результатам огневых испытаний полиэфирный нетканый утеплитель, обработанный огнезащитной композицией АН-10, существенным повышением огнестойкости по сравнению с исходным образцом не отличается, вне зависимости от условий каждой из стадий обработки.

Синтетические антипирены CuANS-10 и CuAN 6,5-20 в отличие от АН-10 характеризуются наличием в составе модифицирующих ионов многовалентных металлов и гораздо более высокой (на 2-3 порядка) дисперсностью неорганических частиц. Установлено, что в этом случае количество закрепленной на полиэфирной матрице огнезащитной композиции даже в отсутствие термофиксации значительно (в 2-3 раза) превышает массу самого образца и составляет 22,18-27,78 мг/см³. При огневых испытаниях, доказана высокая огнестойкость полиэфирного материала, обработанного высоко диспергированными композициями CuAN 6,5-20 и CuANS-10, вне зависимости от условий промежуточных стадий обработки.

По результатам электронно-микроскопического исследования выявлено, что неорганические огнезащитные композиции на основе комплексных фосфатов группы CuAN, представляющие собой синтетические продукты, имеют размер частиц твердой фазы не более долей микрона, а в их растворной части присутствуют коллоидные частицы с размерами 25-75 нм. Для огнезащитных композиций группы АН, представляющих собой аммонийные металлофосфаты с размерами твердых частиц в микронном диапазоне (соединения двух- трехвалентных металлов практически отсутствуют), в растворной части коллоидные частицы не обнаружены.

Таким образом, результаты гравиметрического исследования и огневых испытаний показали, что наивысшей огнезащитной эффективностью по отношению к полиэфирным волокнам обладают композиции, в объеме которых наличествуют коллоидные частицы. Предположительно, эти частицы сорбируются на поверхности наноразмерного активирующего слоя на полимерной поверхности и вступают в химическое взаимодействие с образующими его соединениями. Грубодисперсные частицы композиции АН-10 к такому взаимодействию очевидно не способны не только химически, но и по геометрическим и

электрофизическим параметрам. Как следствие, композиция АН-10, в отсутствие в огнезащитной обработке высокотемпературной стадии термофиксации (приплавания ЗГ к полимеру), невозможной для тонковолокнистых объемных материалов, при стирке почти полностью вымывается с поверхности полиэфирного утеплителя. Композиции CuАН 6,5-20 и CuАНС-10, содержащие наночастицы, способные к ионно-обменному и/или донорно-акцепторному взаимодействию с соединениями активатора Sn(II), не только не вымываются при водных обработках, но и обеспечивают перманентный огнезащитный эффект. Таким образом, установлено, что количество аммонийно–металлофосфатного антипирена, химически закрепленного на волокнистом материале через активирующий слой соединений Sn(II), принципиальным образом зависит от химического и гранулометрического состава ЗГ.

По всей вероятности, соединения многовалентных металлов, являющиеся основой коллоидных частиц, должны концентрироваться в приповерхностной зоне огнезащищенных полиэфирных волокон в процессе избирательной хемосорбции компонентов антипирена. Для проверки этого предположения методом атомно-эмиссионной спектроскопии определено относительное массовое содержание ряда элементов (Al, Sn, Fe, Mg, Ca) как в растворной части огнезащитных композиций (ЗГ), так и в обработанных ими полиэфирных материалах (ПЭ), табл. 1. В результате проведенных исследований выявлено, что количественный элементный состав антипиренов и огнезащитного слоя на полимерной поверхности существенно отличаются, табл. 1.

Таблица 1. – Содержание элементов в растворной части синтетического антипирена (ЗГ) и огнезащитном слое на поверхности обработанного им полиэфирного волокна (ПЭ)

Композиция	Содержание элемента, масс. %							
	Al		Fe		Mg		Ca	
	ЗГ	ПЭ	ЗГ	ПЭ	ЗГ	ПЭ	ЗГ	ПЭ
CuАН + ФАТ	8,0	8,5	6,2	22,8	47,4	3,7	31,9	1,6
CuАН + меламин	6,0	12,2	4,8	22,7	44,9	4,0	39,2	2,7

Так, в огнезащитных композициях группы CuАН с различными аммонийными добавками количество Mg и Ca составляет соответственно (44,9-47,4 %) и (31,9-39,2 %). На полиэфирном волокне в результате ступенчатой огнезащитной обработки Mg закрепляется (3,7-4 %); Ca (1,6-2,7 %). По сравнению с составом антипирена, относительное количество Mg уменьшилось в 11-13 раз, Ca – в 15-19 раз. Однако, несмотря на то, что эти элементы слабо закрепляются на полиэфирной подложке, перманентный огнезащитный эффект был достигнут. При этом в композиционном слое на

поверхности полиэфира наблюдается возрастание (в ~2-3 раза) относительных количеств Fe и Al по сравнению с замедлителем горения. Следовательно, механизм огнезамедлительного действия данных композиций более сложен, чем представлялось ранее. Полученные данные подтверждают предположения об особой роли соединений многовалентных металлов в неорганических огнезащитных композициях, в том числе в образовании коллоидных частиц и формировании мостиковых связей между полимерной подложкой и азот-фосфор содержащими соединениями, обладающими огнезамедлительным действием. Как показали огневые испытания, эта полученная «химической микросборкой» комплексная система с организованными связями обеспечивает перманентную огнезащиту полиэфирных материалов на уровне ПВ-0.

Таким образом, выявлено, что химическое закрепление на поверхности активированного полимера неорганических соединений азота и фосфора, обладающих огнезамедлительным действием, происходит посредством коллоидных частиц многовалентных металлов, образующихся в синтетических сложносочиненных дисперсиях антипиренов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданова В.В., О.И. Кобец // Исследование огнезащитной эффективности составов на основе аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов в зависимости от условий получения Журн. прикл. Химии. – 2014.– Т 87, Вып.10. – С. 1385–1399.
2. Рева О.В., Богданова В.В., Шукело З.В. Химическая привязка огнезащитных композиций к полиэфирной матрице // Свиридовские чтения: Сб. статей.- Вып. 9.– Мн.: БГУ, 2013.– С. 158-168.
3. О.В. Рева, А.С. Лукьянов Определение оптимального метода создания наноструктурированных композиций на основе полиэфирных матриц, обладающих перманентной огнестойкостью // Вестник КИИ МЧС.– 2015. –№ 2 (22). – С.35-43.

СИНТЕЗ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ

Солодовникова К.В., Буравов Б.А., Тужиков О.О.

Волгоградский Государственный Технический Университет

Акриловые кислоты, а также их производные находят широкое применение в качестве мономеров для создания полимерных материалов.

Основным недостатком таких материалов, как и у большинства полимеров, является повышенная горючесть.

Существует несколько способов снижения горючести соединений: применение различных добавок (антипиренов) в составе полимерной композиции; нанесение защитного слоя, который будет препятствовать быстрому распространению пламени по материалу; модификация исходных мономеров для создания материалов на их основе с необходимыми свойствами [1].

На современном этапе применение антипиренов является самым распространенным способом понизить горючесть получаемого материала. Однако введение антипиренов может оказать негативное влияние на комплекс физико-механических свойств материала. Поэтому модификация уже известных полимеров (или олигомеров) на стадии синтеза для получения соединений, которые совмещали бы в себе сразу несколько важных свойств (пониженная горючесть и повышенные физико-механические свойства) является актуальной задачей [2].

Одним из перспективных направлений по модификации полимеров является введение атомов фосфора в боковые цепи макромолекул различных соединений. Наличие фосфора в структуре полимерных соединений позволяет улучшать эксплуатационные свойства получаемых материалов [3].

Модификация акриловых производных соединениями фосфора позволяет получать материалы с уникальным комплексом свойств. Одним из наиболее распространенных акрилатных производных является глицидилметакрилат. Работы по модификации глицидилметакрилата трехвалентным фосфором ведутся уже давно. Такие соединения по номенклатуре ИЮПАК принято называть трис-алкоксифосфинами. У известных методов получения указанных соединений основными недостатками являются многостадийность и длительность операций получения целевых продуктов, использование высоких температур и/или катализаторов [3].

Разработанный на базе Волгоградского Государственного Технического Университета способ получения трис-алкоксифосфинов, в частности на основе глицидилметакрилата и треххлористого фосфора, позволяет получать продукт с максимальным выходом без применения дополнительных методов очистки получаемого вещества.

Структура полученного продукта была подтверждена при помощи ЯМР и ИК-Фурье спектроскопии. ИК-спектры содержат характерные полосы поглощения валентных колебаний $C=O$ (1720 см^{-1}), $C=C$ (1640 см^{-1}), $C-Hal$ ($760-770\text{ см}^{-1}$). Отсутствуют полосы поглощения, соответствующие колебаниям эпоксидного цикла (860 и 910 см^{-1}) и $P=O$ ($1280-1300\text{ см}^{-1}$).

Наличие и количество двойных (C=C) связей подтвердили анализом бромного числа.

Наличие двойных связей в полученном соединении позволят проводить УФ-отверждение по механизму радикальной полимеризации. Полученные таким образом образцы, с добавлением необходимого количества инициатора, в дальнейшем подвергались физико-механическим испытаниям. Результаты свидетельствуют о том, что образцы, полученные на основе трис-алкоксифосфина, обладают повышенной ударопрочностью, температурой размягчения, пониженной горючестью. Данный трис-алкоксифосфин может быть использован в качестве основы для получения материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками, а также в качестве добавки в композиции для защиты различных материалов от воздействия огня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлин, А. А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://plastinfo.ru/information/articles/259/> <15.05.2019>
2. Кодолов, В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов: учебник. М.: Химия. 1976.
3. Эластомеры и пластики с пониженной горючестью: монография / О.И. Тужиков, Т.В. Хохлова, С.Н. Бондоренко, С.Б. Зотов и др. // ВолгГТУ. – Волгоград. – 2005. – 214 с.

Секция 4

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

СНИЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ С ЛАКОКРАСОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ РАЗЛИЧНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

¹Альменбаев М.М., ²Сивенков А.Б.

¹РГУ «Кокшетауский технический институт» Комитета по чрезвычайным
ситуациям Республики Казахстан

²Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

В настоящее время для отделки стен, потолков, коридоров, фойе в зданиях и сооружениях используется многочисленное количество органических полимеров, в том числе разные виды лакокрасочных материалов (ЛКМ). Лакокрасочные материалы в современном зарубежном и отечественном строительстве очень востребованы, поскольку их применение направлено на повышение декоративности, атмосфероустойчивости, долговечности конструкций на основе древесины.

Несмотря на положительную роль использования ЛКМ в отделке древесных материалов и конструкций, они могут значительно повышать показатели их пожарной опасности, такие как воспламеняемость, распространение пламени по поверхности материала или конструкции, дымообразующую способность и токсичность продуктов горения. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о повышении всех пожароопасных свойств древесного материала [1]. Учитывая вышесказанное, приобретает большую актуальность разработка различных способов повышения устойчивости древесины с лаками и красками на органической и неорганической основе к действию высоких температур или пожара.

В работе были проведены экспериментальные исследования по разработке эффективных технических решений, способствующих снижению скорости распространения пламени по поверхности древесины с ЛКМ, повышению устойчивости исследуемых образцов к воспламенению. В основе предложенных технических решений лежит применение современных

экологически безопасных антипиренов. При этом, наиболее важным является изучение эффективности различных способов нанесения антипиренов.

В качестве исследуемых ЛКМ были выбраны одни из наиболее применяемых в современном строительстве, такие как НЦ-132, НЦ-218 (нитроцеллюлозная основа), ПФ-266, ПФ-283 (пентафталевая основа), Sikkens Cetol ТНВ (алкидная основа), Sikkens Urethane 45 (полиуретановая основа). Для добавления в состав ЛКМ и обработки древесной подложки использовались антипирены на основе фосфор- и азотсодержащих соединений.

Для исследования был использован стандартный метод по оценке индекса распространения пламени (ИРП) по поверхности материалов по ГОСТ 12.1.044-89 [2] п. 4.19 и метод по определению воспламеняемости строительных материалов по ГОСТ 30402-96 [3].

Была исследована эффективность применения антипиренов двумя способами. В первом случае антипирены вводились в ЛКМ в количестве не более 10 % по массе материала (1 способ), во втором случае антипирены вводились не только в состав ЛКМ (не более 10 % на 100 гр. исходного продукта), но и проводилось предварительное нанесение огнезащитного состава с установленным расходом (250-300 г/м²) на поверхность древесины (2 способ – комбинированный).

При оценке показателя индекса распространения пламени важным представлялось определение времени прохождения фронтом пламени каждого участка поверхности образца, температуры отходящих газов, временных показателей достижения максимальных значений температуры, скорости распространения пламени по поверхности образца.

Полученные результаты показывают, что в большинстве случаев антипирированные ЛКМ позволяют перевести исследуемые образцы из группы материалов быстро распространяющих пламя по поверхности в группу материалов медленно распространяющих пламя по поверхности с ИРП менее 20 по ГОСТ 12.1.044-89.

Наибольшей эффективностью в снижении распространения пламени по поверхности материалов обладает комбинированный способ. В случае применения антипиренов для лакокрасочных систем типа НЦ-123, НЦ-218 и Sikkens Cetol ТНВ индекс распространения пламени по поверхности древесины с ЛКМ имеет значения, соответствующие группе материалов не распространяющих пламя по поверхности.

При оценке параметров воспламеняемости по ГОСТ 30402-96 проводили регистрацию времени и места воспламенения, оценку характера разрушения образца под действием теплового излучения и пламени, наличие плавления, вспучивания, расслаивания, растрескивания, набухания, либо усадки экспонируемой поверхности.

По результатам определения времени воспламенения образцов при воздействии внешнего теплового потока различной интенсивности 20, 30 и

40 кВт/м² по методике изложенной в работе [3] были определены значения критической поверхностной плотности теплового потока (КППТП), которая характеризуется минимальным значением плотности теплового потока, при котором возникает устойчивое пламенное горение образцов древесины с ЛКМ. При использовании различных способов введения антипиренов наблюдается увеличение времени воспламенения образцов и показателя КППТП. Наибольшей устойчивостью к воспламенению обладают образцы древесины с антипирированными лакокрасочными материалами: НЦ-132, ПФ-266, ПФ-283, Sikkens Urethane 45. Все рассматриваемые образцы по ГОСТ 30402-96 относятся к группе материалов В3 (легковоспламеняемые материалы).

Наблюдается общая тенденция для всех ЛКМ: при использовании комбинированного способа нанесения и введения антипиренов для всех лакокрасочных систем наблюдается не только значительное повышение показателей воспламеняемости древесины с ЛКМ, но и перевод исследуемых образцов из группы материалов В3 (легковоспламеняемые) в группу материалов В2 (умеренновоспламеняемые).

Необходимо отметить, что применение антипиренов для некоторых ЛКМ может быть малоэффективным или неэффективным. Так, например, при введении в лакокрасочный материал на нитроцеллюлозной основе типа НЦ-218 выбранного антипирена, его устойчивость к воспламеняемости незначительно снижается. Это обусловлено, по всей видимости, химической природой ЛКМ и особенностями механизма огнезащитного действия применяемых антипиренов [4, 5].

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности получения высокого огнезащитного эффекта для лакокрасочных материалов в зависимости от их химической природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альменбаев М.М., Карменов К.К., Ельчугин А.В., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Пожарная опасность деревянных строительных конструкций с лакокрасочными материалами // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2013. - № 2. – С. 17-22.
2. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
3. ГОСТ 30402–96 Материалы строительные. Метод испытаний на воспламеняемость.
4. Воробьев В.А., Андрианов Р.А., Ушков В.А. Горючесть полимерных строительных материалов // М., Стройиздат, 1978. – 224 с.
5. Машляковский Л.Н., Лыков А.Д., Репкин В.Ю. Органические покрытия пониженной горючести //Л.: Химия, 1989. – 184 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СИЛИЦИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Вовк С.Я., Ференц Н.А.

Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности
ГСЧС Украины

Огнезащита деревянных строительных конструкций состоит в создании на их поверхности теплоизолирующих плотных экранов с низкой теплопроводностью, способных выдерживать высокие температуры и изолировать поверхность материала от прямого воздействия агрессивных факторов. Одним из способов огнезащиты деревянных строительных конструкций является нанесение непосредственно на поверхность конструкций высокотемпературных защитных композиций на силицийорганической основе. В качестве связок для создания таких веществ можно использовать полиметилфенилсилоксаны, которые обладают рядом ценных свойств – совместимость с минеральными наполнителями, высокая эластичность, тепло- и высокотемпературная стойкость, устойчивость к воздействию огня. Для увеличения температуростойкости таких материалов наиболее эффективным является введение в состав огнезащитных веществ добавок, которые повышающих термостабильность материала и ускоряют процессы формирования огнезащитного покрытия путем снижения температуры синтеза новых термо- и огнестойких силикатных фаз.

Целью работы является исследование различных составов наполненных полиметилфенилсилоксанов на эффективность огнезащиты деревянных конструкций.

Исходные композиции для защитных покрытий (табл.1) избирались из условия максимального содержания температуростойких силикатов алюминия, цинка, титана.

В исследуемых композициях (табл.1) агрегативная и седиментационная устойчивость существенно зависят от дисперсности минерального наполнителя. Образование в системе достаточно крупных частиц, приводит к потере седиментационной устойчивости с возможным образованием агрегированных частиц. Поэтому сочетание оксидных наполнителей с полиорганосилоксанами осуществляли путем их механохимического диспергирования в шаровых мельницах. Время диспергирования выбирали в зависимости от типа связующего и свойств наполнителя.

Таблица 1 – Составы исходных композиций для огнезащитных покрытий

№ состава	Содержание КО-08, масс. %	Наполнитель, масс. %			
		Al ₂ O ₃	ZnO	TO ₂	Базальтовое волокно
1	60	25	15	-	-
2	50	15	15	15	5
3	40	20	20	10	10

Определение группы огнезащитной эффективности исследуемых составов проводили согласно [1]. Среди множества методик для оценки огнезащитной эффективности средств огнезащиты древесины и изделий из нее, выбранная нами методика [1] соответствует критерию совместимости по размерам образцов 150 x 60 x 30 мм.

Для обработки указанных образцов было изготовлено 12 сосновых брусков из дерева 2-го сорта, которые соответствуют требованиям стандартов, и приготовлено три серии – образцы обработанные предложенными огнезащитными покрытиями №1; 2 и 3. Первая серия – это 4 образца обработанные огнезащитными покрытиями состава №1 согласно методике [2], изделия покрывали дважды с интервалом между обработками в 8 часов. Средний расход покрытия от 13 г до 18 г на образец, 300...350 г / м². Образцы второй и третьей серий обрабатывали аналогично составами №2 и №3 соответственно.

Результаты исследований по количественной оценке коэффициента вспучивания в зависимости от температуры нагрева изображены на рисунке 1.

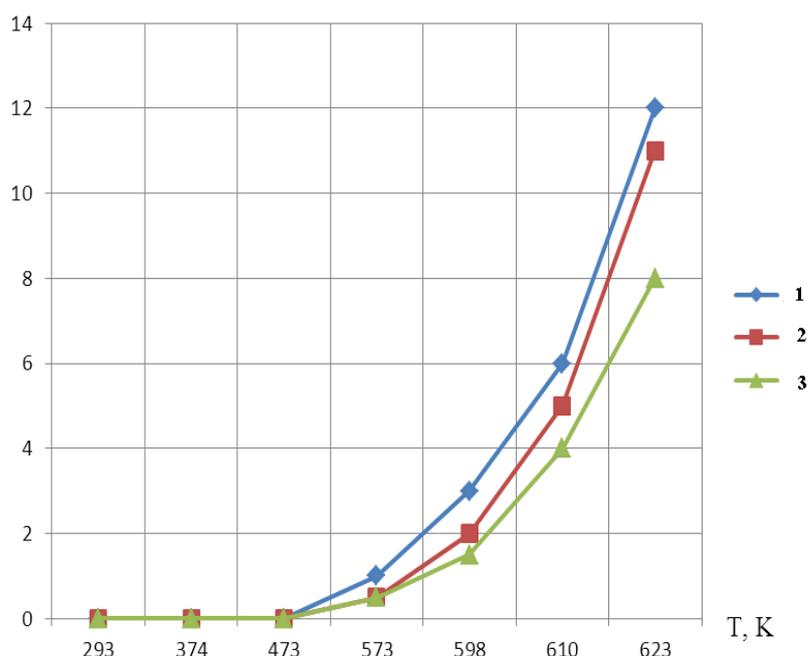


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента вспучивания от температуры нагрева для составов: №1; №2; №3.

Для определения предела огнестойкости деревянных конструкций в работе определяли время τ_f – от начала теплового влияния пожара до возгорания древесины конструкций. Установлено, что оптимальным является состав №2 – температура воспламенения обработанного образца увеличивается на 220 °С, а время воспламенения (возникновение пламенного горения) повышается на 14 мин.

В результате проведенных экспериментов, по потере массы образца, установлено, что предложенные покрытия обеспечивают 1 группу огнезащитной эффективности (потеря массы образцов составляет 3% от общей массы), то есть переход из группы «горючие вещества» в группу «трудновоспламеняемые», не способные к самостоятельному горению.

Таким образом, в работе экспериментально установлено, что композиции на основе кремнийорганических соединений, наполненных оксидами алюминия, цинка и титана, могут использоваться как огнезащитные покрытия с атмосфероустойчивыми свойствами для деревянных строительных конструкций. Силицийорганический компонент в составе покрытия повышает его атмосферостойкость при эксплуатации в естественных условиях и огнестойкость – в условиях действий огня и высоких температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 16363-98. Средства защиты для древесины. Методы определения огнезащитных свойств.
2. ГОСТ 20022.6-93. Защита древесины. Способы пропитки древесины.

ВОДОСТОЙКАЯ ОБРАБОТКА ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НЕТОКСИЧНЫМИ АНТИПИРЕНАМИ

Назарович А.Н., Рева О.В.

Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь

Достаточно эффективными методами огнезащиты синтетических волокнообразующих полимеров являются: внесение замедлителей горения в расплав полимера, модификация химического состава мономеров на стадии их получения [1], хотя при этом возможно снижение физико-механических и волокнообразующих свойств полимерного материала. Крейзинг-модификация и термическое припекание антипиренов к поверхности полимерной матрицы также часто приводят к тому, что полиэфирные волокна теряют упругость и механическую прочность. Чаще

всего для придания огнезащиты синтетическим волокнам и тканям применяется поверхностная обработка замедлителями горения, которая во многих случаях неустойчива к стиркам из-за отсутствия взаимодействия антипирена с химически инертной матрицей.

Решением проблемы может быть химическое закрепление замедлителя горения на поверхности полиэфирных волокон через систему организованных связей. Первой стадией такой «хемосборки» является создание на поверхности полимера активных функциональных групп, к которым при дальнейших обработках вследствие ионного обмена или ориентированной хемосорбции может произойти химическая прививка антипиренов [2]. Часто первичных групп недостаточно для прививки целевой добавки, и требуется промежуточное формирование дополнительных активирующих или адгезионных слоев. При последовательном синтезе функциональных слоев для каждого полимерного материала требуется экспериментальный поиск оптимальных условий каждой стадии многоступенчатого метода обработки.

Нами был разработан метод предварительного травления полиэфирных материалов, приводящий к гидрофилизации поверхности полимера и появлению способности к хемосорбции неорганических ионов [3]. Огнезащитная обработка полиэфирного утеплителя типа синтепон и холлофайбер включала следующие стадии: предварительное травление в смеси фосфорной и соляной кислот; промывку, активацию в коллоидном растворе SnCl_2 и пропитку огнезащитной композицией в виде мелкодисперсной суспензии аморфных фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония с дигидрофосфатом аммония.

Для создания адгезионного слоя на поверхности полиэфирного материала использовали этанольные растворы SnCl_2 , стабильность которых по отношению к сохранению оптимальных частотно-размерных характеристик коллоидной фазы до 10-15 раз выше, чем водных [4].

Огневые испытания показали, что при соблюдении оптимальных условий проведения всех стадий огнезащитной обработки после отнятия пламени полиэфирный утеплитель сразу же затухает, что соответствует наивысшей категории огнестойкости для текстильных материалов – «трудновоспламеняемый», Рис. 1. Сгорает только та часть образца, которая находится непосредственно в пламени горелки. Оставшаяся неповрежденной часть полиэфирного утеплителя практически не деформирована и не потеряла функциональных свойств. Таким образом, использование неводных коллоидных растворов SnCl_2 для создания ориентированной сорбции монослоя коллоидных частиц позволило придать воздушным полиэфирным материалам огнестойкость на уровне «трудновоспламеняемый» и обеспечить устойчивость огнезащитного эффекта к стиркам.

Причиной достигнутого эффекта, вероятно, является ориентированная хемосорбция коллоидных частиц соединений Sn(II) на образованных при травлении полиэфира функциональных группах и их последующее взаимодействие с компонентами антипирена.



Рисунок 1 – Образцы полиэфирного нетканого утеплителя после огневого испытания:
а – исходного материала, б – после ступенчатой огнезащитной обработки

Исследование химического состава приповерхностной зоны полиэфирного волокна методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии показало, что в спектрах огнезащитного ПЭТФ присутствуют пики, соответствующие кислородсодержащим соединениям олова. Также в спектрах обнаружены пики, соответствующие различным группировкам фосфора и азота, связанным с углеводородными радикалами, в том числе через кислородные мостики. Тогда как для исходного волокна или при отсутствии стадии травления и/или активации полиэфирного материала коллоидными растворами SnCl_2 эти пики в спектрах пропитанного антипиреном полиэфира практически отсутствуют. Необходимо отметить, что в результате ступенчатой огнезащитной обработки существенно возрастает относительное количество атомов кислорода в поверхностном слое образцов (толщиной около 1 нм). Так, соотношение интенсивностей пиков кислорода и углерода в РФЭ спектрах увеличивается в 2–4 раза. Этот факт можно объяснить появлением на поверхности ПЭТФ кислородсодержащих соединений типа $\text{Sn}_x\text{OH}_y\text{Cl}_z$, PO_4^{3-} и связанной воды.

Таким образом, доказано, что полиэфирные утеплители, прошедшие ступенчатую огнезащитную обработку с применением этанольных растворов SnCl_2 с высокой концентрацией коллоидных частиц, размеры которых не превышают 10-15 нм, характеризуются не только наивысшей категорией стойкости к горению, но и устойчивостью огнезащитной обработки к многократным стиркам. Выявлено, что на протравленной поверхности полиэфирного материала происходит образование сложно структурированной нанослоистой системы полимер–адгезив–антипирен, в которой слои из наноразмерных коллоидных частиц соединений олова химически связаны как с полиэфирной матрицей, так и с азот- и фосфорсодержащими замедлителями горения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перепелкин К.Е. Горючесть текстиля как одна из его важнейших характеристик // Хим. волокна. – 2001. – № 5. – С.8-42.
2. Химия привитых поверхностных соединений / под. ред. Г.В. Лисичкина. – М.: Физматлит. 2003. – 589 с.
3. Рева О.В., Лукьянов А.С., Арестович Д.Н., Богданова В.В., Платонов А.С. Получение оптимального состава травильной композиции для полиэфирных материалов методом математического планирования эксперимента // Вестник УГЗ. – 2018. – Т.2, № 1. – С.45-50.
4. O.V. Reva, V.V. Bogdanova, A.V. Vrublevskii, A.N. Nazarovich. Relationships of Formation and Characteristics of Colloidal Particles in Tin-Containing Organosols Intended for Activation of the Surface of Fibrous Polyester Materials / Russian Journal of Applied Chemistry, 2017, Vol. 90, No. 6, pp. 938–947.

СПОСОБЫ ОГНЕЗАЩИТЫ ЧУГУННОЙ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

Наумова Н.С., Подболотов К.Б.

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

Тоннели метрополитенов являются важной частью транспортных магистралей. Применение того или иного вида обделок для тоннелей метрополитена зависит от ряда факторов. Например, при прокладке тоннелей в сложных гидрогеологических условиях применяют чугунную тубинговую обделку.

Чугунные тубинги надежно обеспечивают гидроизоляцию благодаря технологии чеканки швов с использованием свинцовой проволоки. При механическом воздействии швы не теряют необходимую прочность и эластичность. Данные конструкции используются в условиях с наличием гидростатического давления.

Минский метрополитен – наиболее удобный и скоростной вид транспорта белорусской столицы. Ежедневно его услугами пользуются около 800 тысяч пассажиров. Протяженность московской линии – 19,1 км, а автозаводской – 18,1 км. На первой линии Минского метрополитена, протяженностью 6,08 км использована чугунная обделка (тубинги) ст. м. Немига, ст. м. Площадь Победы, ст. м. Октябрьская.

К обделкам тоннелей метрополитенов предъявляются требования по пределам огнестойкости от 60-90 минут (эскалаторы и перегонные

тоннели, железнодорожные тоннели). Время прогрева чугунных конструкций до 500 °С (ориентировочная критическая температура для стальных конструкций) и до 636 °С (температура, при которой температурный коэффициент условий работы чугуна снижается до значения коэффициента условий работы стали при 500 °С) зависит от приведенной толщины металла, вида и влажности грунтов, через которые проходит тоннель [1].

Применяемые в метростроении тубинги, выполненные чаще всего из чугуна, стали, или железобетона начинают деформироваться в огне через 15 минут. Поэтому область применения огнезащитных покрытий, используемых для обеспечения пожарной безопасности тоннелей достаточно разнообразна. Защита технологических проемов, трубопроводов осуществляется с помощью специальных кабельных проходок. Защита металлических конструкций и электрических кабелей может обеспечиваться использованием огнезащитных вспучивающихся красок.

Огнезащитные покрытия входят в состав системы обеспечения пожарной безопасности защиты тоннелей метрополитенов в части ограничения распространения огня и продуктов горения. При этом решаются две главные задачи: во-первых, повышается эксплуатационная устойчивость зданий и сооружений за счет увеличения огнестойкости строительных конструкций; во-вторых, предотвращается распространение огня и продуктов горения, что обеспечивает безопасную эвакуацию из горящего объекта.

Дело в том, что метрополитен – место массового скопления людей, поэтому огромную роль играет использование средств защиты, не выделяющих ядовитых и вредных веществ. Кроме того, необходимым условием является высокая огнестойкость таких конструкционных материалов, способность их без разрушения выдерживать воздействие высоких температур и открытого пламени при пожаре должно обеспечиваться в течение максимального времени. Однако такие материалы (огнеупорные и жаростойкие бетоны, чугунные конструкции, покрытия и т.п.) достаточно дороги и изготовление из них целостной конструкции в строительстве применяется только в исключительных случаях. Наиболее целесообразно использование их в защитных структурах послойного нанесения, когда на защищаемую поверхность наносится слой из огнеупорного материала, имеющего заданную толщину, теплопроводность и термическую стойкость. Использование огнезащитных покрытий, теплоизоляционных материалов ограничивается их недостаточной прочностью и относительно малой толщиной наносимого защитного слоя, что не обеспечивает высокую степень защиты материала конструкции при интенсивном высокотемпературном воздействии. Для защиты конструкций тоннелей метро необходим

материал, имеющий высокую прочность и огнеупорность, и, в тоже время как можно более низкую теплопроводность. Такой материал должен наноситься на поверхность конструкций тоннелей доступными способами при строительстве и реконструкции, а также ремонте метрополитена.

Современные огнезащитные покрытия должны обладать высокой адгезией к наносимой поверхности, большим сроком службы в нормальных условиях эксплуатации, малой коррозионной активностью и доступными способами нанесения на защищаемую конструкцию [2].

В качестве связующих компонентов используются различные органические и неорганические химические соединения. Неорганические связующие имеют преимущество по сравнению с органическими полимерными клеями из-за способности выдерживать высокие температуры, а также обеспечивать высокие прочностные характеристики конструкций при малых количествах их в смесях. В связи с этим, следует обратить внимание именно на неорганические химические соединения. Из неорганических связующих наиболее широко для создания огнезащитных составов по металлу используются: цемент, преимущественно портландцемент, жидкое стекло и силикофосфатное связующее.

Огнезащитные покрытия на основе неорганического связующего обладают огнезащитной эффективностью до 180 минут при толщине покрытия от 5 до 65 мм [2]. В качестве вяжущего для облегченных огнезащитных покрытий наиболее широко применяется жидкое стекло или силикофосфатное связующее. Жидкое стекло обладает способностью реагировать при высоких температурах с окислами наполнителей с образованием жаростойких соединений.

Стоит заметить, что неорганические связующие в составе покрытий имеют очевидные преимущества. Они дешевы и не подвержены атакам микроорганизмов, пожаробезопасны, взрывобезопасны, экологически чистые, а также обладают высокой рабочей температурой – вплоть до 2000 °С [3].

Применение разрабатываемых на основе огнеупорного наполнителя, цементного связующего и волокнистого упрочняющего модификатора бетонных материалов при конструировании метрополитена, позволит обеспечить высокую стойкость конструкций к воздействию открытого пламени и других факторов пожара при незначительных дополнительных затратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко – М.: Стройиздат, 1985. – 56 с.

2. Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. – М.: ЗАО «Спецтехника», 2001. – 496 с.
3. Справочник по чугуному литью / Под ред. Г. Гиршовича. – М.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1978. – 758 с.

ОГНЕЗАЩИЩЕННЫЕ ПОЛИОЛЕФИНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЗОТ-ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ГОРЕНИЯ

¹Рева О.В., ²Богданова В.В., ²Шукело З.В.

¹Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

²Учреждение Белорусского государственного университета
«Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»

Композиционные материалы на основе синтетических полимеров таких как полиэтилен, полипропилен, сополимер этилена с винилацетатом нашли широкое применение в электротехнической, радиоэлектронной, строительной, приборо- и машиностроительной отраслях промышленности. Эти материалы используются для изготовления кабельной изоляции, деталей, корпусов приборов и машин, закладных изделий, труб, изделий промышленной и бытовой электротехники.

Полиолефины являются наиболее пожароопасным классом полимерных материалов. Обладая высокой теплотворной способностью, они сгорают практически без остатка, образуя воду, двуокись углерода и газообразные низшие углеводороды. Полиолефины претерпевают термическую деструкцию с разрывом полимерной цепи и образованием газообразных продуктов с высоким содержанием мономера, продукты их разложения представляют собой летучие газообразные и жидкие вещества; поэтому практически не образуется коксового остатка. Процесс горения полиолефинов сопровождается плавлением, растеканием, разбрызгиванием горящих капель [1, 2].

Придание огнестойкости полиолефиновым полимерам сопряжено с определенными трудностями. Поскольку изменение состава элементарного звена полимера на стадии синтеза в случае кабельной изоляции неприемлемо, для уменьшения горючести полиолефиновых материалов и снижения скорости распространения пламени применяется введение в матрицу антипиренов различных групп: органических галогенпроизводных, органических и неорганических азот- и фосфорсодержащих соединений, комплексных смесей и др. [3].

Поэтому создание огнезащищенных композиционных материалов на основе полиолефинов представляет собой наиболее трудную задачу по сравнению с другими классами полимерных материалов. До настоящего времени в Республике Беларусь для изготовления огнезащищенных полимерных материалов различных классов используются замедлители горения, ввозимые из-за рубежа. При этом необходимо отметить, что эти замедлители горения представляют собой синергические смеси на основе оксида сурьмы и бромсодержащих органических соединений, которые в прогретом слое полимера образуют весьма токсичные продукты, являющиеся ингибиторами горения.

В соответствии с современными требованиями необходимо использовать замедлители горения, не образующие токсичных продуктов термического разложения и горения. Однако до настоящего времени информация о рецептурах безгалогенных замедлителей горения является коммерческой тайной. В литературе нет определенной точки зрения относительно механизма ингибирующего действия азот-фосфорсодержащих замедлителей горения, что сдерживает их разработку для каждого конкретного вида полимера.

Обязательным требованием к полиолефиновым материалам является наличие физико-механических характеристик, позволяющих изготовить из них кабельную изоляцию (предел текучести при растяжении, прочность при разрыве, относительное удлинение и т.д.). Следует отметить, что введение замедлителей горения в полиолефиновую матрицу приводит к значительным изменениям вышеперечисленных физико-механических свойств.

Цель работы заключалась в разработке рецептуры безгалогенного огнезащищенного композиционного материала, пригодного для кабельной изоляции на основе полиэтилена высокого давления.

Для достижения необходимой степени огнезащиты исследован ряд рецептур полиолефинового материала, в которых варьировали природу и содержание ингибиторов горения и полимерных модификаторов. Азот-фосфорсодержащие ингибиторы горения вводили в композиционные расплавы полимерных матриц в процессе переработки материалов. Кроме того, в процессе разработки варьировали фракционный состав ингибиторов горения и изменяли технологию их подготовки для введения в полимер. Оценку эффективности огнезащиты полученных материалов проводили согласно ГОСТ 28779 «Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения воспламеняемости под воздействием источника зажигания». Образцы дважды поджигали в вертикальном положении и по результатам испытаний суммировали время самостоятельного горения, учитывая при этом наличие горящих капель. Физико-механические характеристики полученных огнезащищенных

материалов проверяли по ГОСТ 11262 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение».

В результате исследований по приданию огнестойкости найдены системы азот-фосфорсодержащих ингибиторов горения с определенным фракционным составом (размер частиц в диапазоне от 1 мкм до 100 мкм), которые в суммарной концентрации от 30 до 40 % позволяют получить огнезащищенный композиционный материал, соответствующий группе ПВ-0 (время самостоятельного горения менее 10 сек, горящие капли отсутствуют) с физико-механическими характеристиками оптимальными для изготовления кабельной изоляции (предел текучести при растяжении 7 МПа, относительное удлинение 430%).

Далее изучалась возможность использования для создания огнестойкого конструкционного материала на основе полиэтилена и полипропилена конденсированных фосфатов аммония, дополнительно содержащих ряд агентов, придающих огнезамедлительным композициям тугоплавкость и карбонизирующую способность. Огнезащитные композиции вносили в расплав полиолефинов механическим экструдированием в количестве до 30 масс. %. В качестве модификаторов нами были использованы оксиды и/или гидроксиды Mg, Al, Zn, Ti, а также соединения, усиливающие поступление летучих азотсодержащих ингибиторов горения в газовую фазу и образование карбонизированных структур в приповерхностной зоне конденсированной фазы.

Исследования показали, что огнезащитный эффект полифосфата аммония усиливают добавки гидроксида алюминия и талька. Методом дифференциально-сканирующей калориметрии установлено, что наиболее высокая эффективность характерна для огнезамедлительных систем, претерпевающих термические превращения с образованием летучих ингибиторов горения и карбонизованного остатка в температурном интервале 300-350 °С, что соответствует началу термической деструкции полиолефиновых полимеров; процесс расплавления огнезащитных композиций характеризуется очень большими эндотермическими пиками, т.е. в присутствии исследуемых антипиренов очень большое количество тепла расходуется на их фазовый переход, что препятствует началу термодеструкции полиолефинов. Уменьшение потери массы в этой же температурной области наиболее существенно для огнезащищенных композиций с карбонизирующей добавкой. Масса карбонизированного остатка составляет до 20,5 % от исходной массы, что в 10 раз больше, чем в случае исходного полимера. Термическое разложение наиболее эффективных ЗГ совпадает с температурными интервалами разложения полиолефинов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баратов А.Н., Андрианов Р.А., Корольченко А.Я. и др. Пожарная опасность строительных материалов / Под ред. А. Н. Баратова. – М.: Стройиздат, 1988. – 380 с.
2. Асеева Р.М., Заиков Г.Е., Горение полимерных материалов / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков. – М: Наука, 1981 – 280 с.
3. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести / А.А. Берлин // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – №9 – С. 57-63.

ОГНЕЗАЩИТА ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БЫСТРОВЗВОДИМЫХ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНО- ИСТОРИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ КАК ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

¹Сивенков А.Б., ²Хасанова Г.Ш.

¹Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

²Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан

Активное проектирование и строительство быстровозводимых зданий и сооружений в Республике Казахстан направлено и тесно связано с обеспечением развития строительства объектов архитектуры и градостроительства страны, а именно некоторых быстровозводимых зданий и сооружений различного назначения с учетом культуры и традиций казахского народа [1].

Традиционными в строительстве быстровозводимых объектов культурно-исторического значения являются деревянные конструкции. Это связано с тем, что в современном строительстве большое значение отводится срокам возведения зданий и сооружений, их стоимости, надежности и безопасности. Из древесины строятся павильоны, рестораны и торговые сооружения, воплотивших в себе национальный казахский стиль архитектуры. Деревянные конструкции достаточно легки, они обладают высокой прочностью и надежностью, способностью воспринимать значительные нагрузки. Однако, несмотря на многочисленные достоинства деревянных конструкций перед железобетонными, бетонными, кирпичными и другими строительными конструкциями, у них есть существенный недостаток. Древесина и материалы на основе древесины, используемые в строительстве, не

способны в течение длительного времени выдерживать воздействие высоких температур, которые возникают в здании при пожаре.

Важнейшая роль в системе обеспечения пожарной безопасности данных объектов отводится огнезащите деревянных строительных конструкций.

В настоящее время в нашей стране системные научные исследования по эффективности той или иной формы оценки соответствия в области пожарной безопасности быстровозводимых зданий и сооружений не проводились [1]. Следует отметить, что практический опыт строительства современных быстровозводимых зданий и сооружений культурно-исторического значения за последние десять лет показал значительную нехватку научно обоснованных подходов к организации деятельности системы обеспечения их пожарной безопасности.

Область применения и назначения быстровозводимых объектов культурно-исторического значения:

- современные юрты;
- общественные здания, базы отдыха;
- торговые и гостиничные комплексы;
- выставочные павильоны и пр.

Все перечисленные объекты обычно имеют деревянный каркас. Модульность зданий обеспечивает возможность соединить павильоны или другие строения в целый комплекс большей площади и различной планировки. Однако конструктивная особенность рассматриваемых зданий и сооружений имеет существенный недостаток - склонность к разрушению конструкций, интенсивному обугливанию древесины, образованию большого количества газообразных продуктов сгорания с последующим значительным дымовыделением, уменьшением видимости и содержанием в дыме токсичных соединений во время пожара. Важно отметить, что необходимо принять меры по повышению их огнестойкости до требуемых значений при помощи средств огнезащиты.

Огнезащита деревянных конструкций предназначена снизить пожарную опасность быстровозводимых зданий и сооружений культурно-исторического значения и обеспечить им требуемую огнестойкость. Огнестойкость деревянных строительных конструкций является одной из основных характеристик деревянных конструкций и представляет собой способность к сопротивлению воздействию высокой температуры в условиях пожара, сохраняя при этом свои обычные эксплуатационные функции. При разработке мероприятий по предотвращению пожаров и в области применения средств огнезащиты в объеме быстровозводимых зданий и сооружений должны учитываться требования нормативных документов [2, 3].

Использование огнезащиты – наиболее экономичный путь достижения требуемой огнестойкости. В зависимости от типа материалов, из которых выполнены те или иные строительные конструкции определяются конкретные технические решения и материалы, необходимые для огнезащиты. В связи с этим, в настоящее время одной из актуальных инженерных задач в области обеспечения пожарной безопасности быстровозводимых зданий и сооружений культурно-исторического значения остается нерешенной проблема огнезащиты деревянных конструкций для данных объектов.

В Республике Казахстан в соответствии с нормами Технического регламента "Требования к безопасности деревянных конструкций" [3] при проектировании зданий из древесины должны предусматриваться мероприятия, обеспечивающие необходимые нормы пожарной безопасности, конкретно по повышению предела огнестойкости деревянных конструкций, используемых при возведении зданий.

Определение способа огнезащиты для каждого конкретного здания осуществляется с учетом требуемых пожарно-технических характеристик конструкции. Учитывается тип защищаемой конструкции (балки, стойки, связи), температурно-влажностные условия при производстве работ по огнезащите и в процессе дальнейшей эксплуатации и другие требования, предъявляемые к деревянным строительным конструкциям.

Таким образом, разработка технических решений по обеспечению пожарной опасности и огнестойкости деревянных конструкций быстровозводимых объектов культурно-исторического значения с использованием конструктивной огнезащиты, новых методик экспериментальных исследований и компьютерного моделирования поведения и свойств конструкций с огнезащитой, учитывающих их специфику, позволяет целенаправленно получить комплекс показателей и параметров, характеризующих эффективность огнезащитных средств для древесины и материалов на основе древесины, также позволит решить проблемы обеспечения безопасности людей при пожарах в помещениях рассматриваемых объектов [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивенков А.Б., Хасанова Г.Ш. Научные проблемы нормирования и оценки пожарной безопасности уникальных быстровозводимых объектов культурно-исторического значения // Сборник материалов 7-ой научно-практической конференции «Ройтмановские чтения». - М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 113-116.
2. Технический регламент "Общие требования к пожарной безопасности". Утвержден Приказом Министра внутренних дел Республики Казахстан

от 23 июня 2017 года № 439. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 17 августа 2017 года № 15501.

3. Технический регламент "Требования к безопасности деревянных конструкций" Утвержден Постановлением Правительства Республики Казахстан от 26 декабря 2008 года № 1265 (с изменениями и дополнениями по состоянию на 23.07.2013 г.).
4. Сивенков А.Б., Хасанова Г.Ш. Огнезащита древесины с целью повышения ее пожаробезопасности при строительстве быстровозводимых объектов культурно-исторического значения // Сборник тезисов докладов IX международной конференции. 20-24 мая 2019 г. – Минск: Белорусский государственный университет, 2019 г. – С.152-154.

ЗАВИСИМОСТЬ БОКОВЫХ ТОЛЩИН ОБУГЛЕННОГО СЛОЯ ДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ С РАЗЛИЧНЫМИ СЛОЯМИ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБЛИЦОВКИ

¹Фещук Ю.Л., ²Харишин Д.В.

¹Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты
²Львовский государственный университет безопасности
жизнедеятельности

Широкое распространение деревянных несущих конструкций, в частности балок требует поиска путей для обеспечения их нормируемого предела огнестойкости. Одним из возможных вариантов для повышения предела огнестойкости любой деревянной конструкции, которая имеет плоские поверхности является их огнезащитная облицовка. В качестве варианта для осуществления огнезащиты может служить плита OSB.

Анализ научных работ [1-3] показал, что существуют различные способы огнезащиты деревянных конструкций. Однако, информация об использовании плиты OSB в качестве огнезащитного материала ограничена и требует детального рассмотрения.

Цель работы: выявить закономерности изменения боковой толщины обугленного слоя деревянной балки размерами 200 × 200 × 600 мм с огнезащитным облицовкой плитой OSB в один и два слоя (толщина слоя 10 мм) в зависимости от времени воздействия стандартного температурного режима пожара.

Для получения необходимых толщин обугливание проведены экспериментальные исследования на установке, схема которой изображена на рисунке 1.

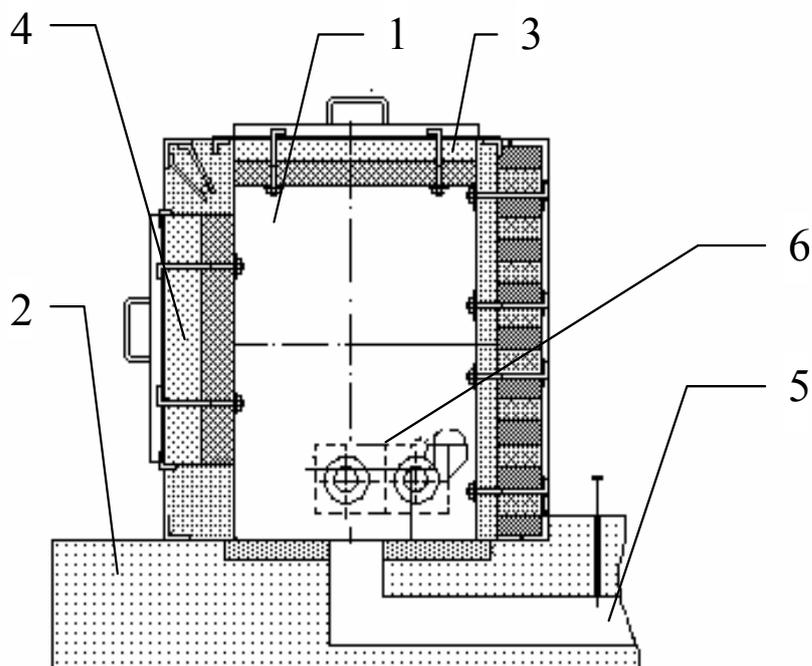


Рисунок 1 - Испытательная огневая печь: 1 – огневая камера; 2 – бетонное основание; 3, 4 – теплоизоляционные крышки; 5 – канал выхода продуктов сгорания; 6 – горелки

Исследования проводились в промежутки времени: 15, 30, 60, 90 мин. Зная размеры сечения исследуемых образцов до начала проведения огневых испытаний, определена зона обугленного слоя. Глубина обугленного слоя исследуемых образцов представляет собой среднее арифметическое глубин обугливания, определенных расчетным путем в соответствии со схемой рисунке 2.

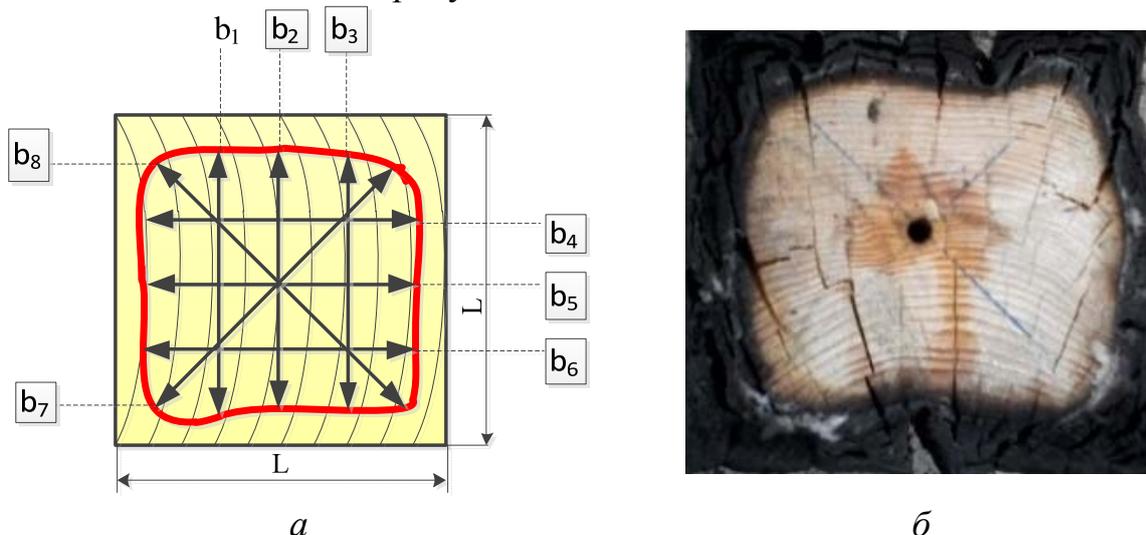


Рисунок 2 – Измерение участков остаточного сечения исследуемого образца: *а* - схема проведения измерения, *б* - фото обугленного образца

Обработав полученные результаты при проведении экспериментальных исследований, вычислено среднюю толщину обугленного слоя квадратного сечения испытательных образцов деревянных балок с огнезащитой и без нее. Исчисленную толщину обугленной зоны аппроксимированно в виде полиномов. На рисунке 3 представлены графики регрессионных зависимостей обугленного слоя по сторонам сечения квадратного сечения и его диагоналям для образцов деревянных балок без защиты, с защитой с помощью плиты OSB в один и два слоя.

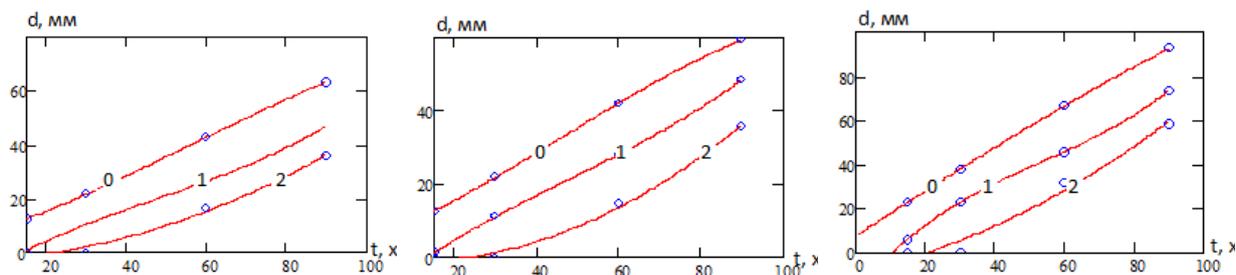


Рисунок 3 – Регрессионные зависимости обугленного слоя от времени огневого испытания образцов (смотреть рисунок 2): а) обугливание стороны b_{13} образца, б) обугливание стороны b_{46} образца, в) обугливание по диагоналям сечения b_{78} ; 0 – без защиты, 1 – с защитой плитой OSB в один слой, 2 – с защитой плитой OSB в два слоя

Выводы. На основе проведенного исследования подтверждена эффективность применения плиты OSB в качестве огнезащитного материала. Установлено, что зона обугливания балок с плитной огнезащитой OSB отличается от зоны обугливания без огнезащиты, а при применении огнезащиты на основе плит OSB в два слоя обугливание начинается только после 30 минут с момента начала огневых испытаний. Это дает основания рекомендовать применять плиту OSB в качестве огнезащитного материала для повышения предела огнестойкости деревянных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пелех А.Б. Натурные испытания конструкции деревянной рамы на огнестойкость в условиях реального пожара / А. Б. Пелех, Б. Г. Демчина, Т. М. Шналь, С. С. Була, О. В. Крочак // Весн. Нац. ун-та "Львов. политехника". - 2008. - № 627. - С. 167-171
2. Summary of the fire protection foundation report fire safety challenges of tall wood buildings [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://fireciencereviews.springeropen.com/articles/10.1186/s40038-015-0009-3>.
3. Змага Я.В. Расчетный метод повышенной точности для оценки предела огнестойкости деревянных балок с огнезащитной пропиткой: Автореф. дис. на получение научн. степени канд. тех. наук: спец. 21.06.02 «Пожарная безопасность»/ Я.В. Змага. – Харьков 2016.

Секция 5

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ОЦЕНКИ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ОГНЕЗАЩИЩЕННЫХ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ СВЕТОПРОЗРАЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПО КРИТЕРИЮ ПОТЕРИ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

¹Кулиев Д.Ф., ²Мамедова С.И., ²Керимов К.Д., ³Дмитриченко А.С.

¹МЧС Азербайджанской Республики

²Академия МЧС Азербайджанской Республики

³Белорусский государственный технологический университет

В настоящее время актуальными являются исследования, направленные на развитие теоретических основ и получение новых экспериментальных данных по поведению светопрозрачных строительных конструкций при пожаре. Расчетные методики оценки огнестойкости светопрозрачных строительных конструкций разработаны недостаточно и требуют теоретического обоснования.

Для определения предела огнестойкости расчетным путем необходимо решить задачу теплопроводности о нагреве стеклянной панели при огневом воздействии на одну из ее поверхностей. Оконное стекло можно рассматривать как бесконечную пластину, так как его толщина намного меньше ширины и длины, поэтому при построении математической модели расчета температурного поля в оконном стекле можно принять допущение об одномерности процесса теплопереноса по толщине пластины. В этом случае для определения поля температуры в стеклянной пластине необходимо решить дифференциальное уравнение теплопроводности [1]

$$\rho(T)c(T)\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \lambda(T)\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} + I(t)\gamma \exp(-x\gamma) \quad (0 < x < L) \quad (1)$$

где $T(x,t)$ - температура, ρ - плотность стекла (кг/м^3), $c(T)$ - теплоемкость стекла (Дж/кг град), $\lambda(T)$ - коэффициент теплопроводности стекла (Вт/м град), t - время (с), x - пространственная координата по направлению, перпендикулярному поверхности пластины (м), $I(t)$ (Вт/м^2) - плотность

лучистого потока, поступающего на поверхность пластины, γ (м) – коэффициенту поглощения излучения в стекле (1/м).

Начальное условие имеет вид

$$T(x, 0) = T_i(x) \quad \text{при } t = 0 \quad (2)$$

Граничные условия можно написать в виде

$$-\lambda(T) \partial T(0, t) / \partial x = h_1(T) (T_{c1}(t) - T(0, t)) + \varepsilon_{np} \sigma (T_{c1}^4(t) - T^4(0, t)) \quad \text{при } x = 0 \quad (3)$$

$$-\lambda(T) \partial T(R, t) / \partial x = h_2(T) (T(L, t) - T_{c2}(t)) + \varepsilon_{np} \sigma (T^4(L, t) - T_{c2}^4(t)) \quad \text{при } x = R \quad (4)$$

где R – толщина пластины (м), $h_1(T), h_2(T)$ – коэффициенты конвективной теплоотдачи с поверхностями (Вт/м² град), $T_{c1}(t), T_{c2}(t)$ – температура окружающей среды (К), $T_i(x)$ – начальная температура пластины (К), ε_{np} – приведенная степень черноты системы (среда-светопрозрачная конструкция», определяемая по формуле $\varepsilon_{np} = 1 / (1 / \varepsilon_{cp} + 1 / \varepsilon_n - 1)$, где ε_{cp} – степень черноты среды, ε_n – степень черноты поверхности стекла, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ – постоянная Стефана-Больцмана (Вт/м²К⁴).

Коэффициент конвективного теплообмена от среды, нагреваемой пожаром $h_2(T(L, t), T_{c2}(t))$ меняется с изменением температуры дымовых газов и температурой обогреваемой поверхности пластины, коэффициент конвективного теплообмена от необогреваемой поверхности пластины и окружающим воздухом $h_1(T(0, t), T_{c1})$ меняется с ростом температуры необогреваемой поверхности.

Средний коэффициент теплоотдачи для вертикальной поверхности высотой H с учетом ламинарного и турбулентного режимов в широком диапазоне изменения параметров $Pr = 0.022 \div 7640$, $Ra_H = 10^{-4} \div 10^{15}$ можно определить из выражения [2]

$$h_1 = Nu_{cp, \varepsilon} \lambda_{\varepsilon} / H ; \quad h_2 = Nu_{cp, \varepsilon} \lambda_{\varepsilon} / H ; \quad (5)$$

$$Nu_{cp, \varepsilon}^{1/2} = 0.825 + \frac{0.387 \cdot Ra_{H, \varepsilon}^{1/6}}{\left[1 + (0.492 / Pr_{\varepsilon})^{9/16}\right]^{8/27}} ; \quad Nu_{cp, \varepsilon}^{1/2} = 0.825 + \frac{0.387 \cdot Ra_{H, \varepsilon}^{1/6}}{\left[1 + (0.492 / Pr_{\varepsilon})^{9/16}\right]^{8/27}} ; \quad (6)$$

$$Gr_{H, \varepsilon} = g \beta_i (T_{\infty} - T_n) H^3 / \nu_{\varepsilon}^2 ; \quad Gr_{H, \varepsilon} = g \beta_i (T_{\infty} - T_n) H^3 / \nu_{\varepsilon}^2 ; \quad (7)$$

$$Pr_{\varepsilon} = \nu_{\varepsilon} / a_{\varepsilon} ; \quad Pr_{\varepsilon} = \nu_{\varepsilon} / a_{\varepsilon} ; \quad (8)$$

$$Ra_{H, \varepsilon} = Gr_{H, \varepsilon} Pr_{\varepsilon} ; \quad Ra_{H, \varepsilon} = Gr_{H, \varepsilon} Pr_{\varepsilon} \quad (9)$$

где Nu_{cp} - критерий Нуссельта, Gr_H – критерий Грасгофа; Pr – критерий Прандтля; Ra_H – критерий Релея; λ_{ε} - коэффициент теплопроводности воздуха (Вт/м град); λ_{ε} – коэффициент теплопроводности дымовых газов (Вт/м град); ν_{ε} – коэффициент кинематической вязкости воздуха (м²/с); ν_{ε} – коэффициент

кинематической вязкости дымовых газов ($\text{м}^2/\text{с}$); a_g – коэффициент температуропроводности воздуха ($\text{м}^2/\text{с}$); a_d – коэффициент температуропроводности дымовых газов ($\text{м}^2/\text{с}$); g – ускорение силы тяжести ($\text{м}/\text{с}^2$); $\beta = 1/T$ – термический коэффициент объемного расширения газовой среды ($1/\text{К}$); H – высота стеклянной панели (м); T_∞ – температура окружающей среды (град); T_n – температура поверхности стеклянной панели (град). Нижний индекс «в» соответствует свойствам воздуха, индекс «г» – дымовым газам.

Теплофизические и динамические параметры, входящие в формулы (5) – (9) берутся при температуре T_{cp}

$$T_{cp} = (T_\infty + T_n) / 2 \quad (10)$$

Свойства воздуха и дымовых газов при разных температурах приведенные в таблицах [2], аппроксимированы полиномами второй степени и имеют следующий вид:

$$\lambda_g(T) = 0.02428 + 8,120878 \cdot 10^{-5} \cdot T - 2,971432 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 \quad (11)$$

$$\nu_g(T) = 1.319498 \cdot 10^{-5} + 9.118545 \cdot 10^{-8} \cdot T + 8.279991 \cdot 10^{-11} \cdot T^2 \quad (12)$$

$$Pr_g(T) = 0.707193 - 2.040537 \cdot 10^{-4} \cdot T + 3.26627 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 \quad (13)$$

$$\lambda_d(T) = 0.022854 + 8.499151 \cdot 10^{-5} \cdot T + 9.64936 \cdot 10^{-10} \cdot T^2 \quad (14)$$

$$\nu_d(T) = 1.10659 \cdot 10^{-5} + 9.905 \cdot 10^{-8} \cdot T + 6.376374 \cdot 10^{-11} \cdot T^2 \quad (15)$$

$$Pr_d(T) = 0.71022 - 1.88012 \cdot 10^{-4} \cdot T + 5.594406 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 \quad (16)$$

Зависимость коэффициента теплопроводности и коэффициента температуропроводности оконного стекла от температуры может быть аппроксимирована полиномами второй степени:

$$\lambda = 0.718899 + 1.541745 \cdot 10^{-3} T - 1.39502 \cdot 10^{-6} T^2 \quad (17)$$

$$a = 4.378452 \cdot 10^{-7} - 4.179546 \cdot 10^{-10} T + 5.629294 \cdot 10^{-13} T^2 \quad (18)$$

где $\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности стекла ($\text{Вт}/\text{м град}$); $c(T)$ – теплоемкость стекла ($\text{Дж}/\text{кг град}$); $a(T)$ – коэффициент температуропроводности стекла ($\text{м}^2/\text{с}$)

Среднеобъемную температуру помещения при пожаре $T_{c2}(t)$ зададим при помощи стандартной кривой пожара [3]

$$T_n(t) = 345 \lg(0.133t + 1) + T_0 \quad (19)$$

где $T_n(t)$ – температура пожара, $^\circ\text{C}$; T_0 , – начальная температура пожара, $^\circ\text{C}$; t – время пожара, с.

В среде программного пакета FlexPDE [4] были проведены расчеты времени достижения предельной температуры необогреваемой поверхности стеклянной панели при вариации параметров модели. На рисунке 1 показан зависимость предела огнестойкости стеклянной панели

t_r от ее толщины R при разных значениях интенсивность падающего излучения. Как видно из приведенных зависимостей значения предела огнестойкости стеклянных панелей возрастает с увеличением толщины конструкции и уменьшается с увеличением интенсивности падающего излучения и коэффициента поглощения.

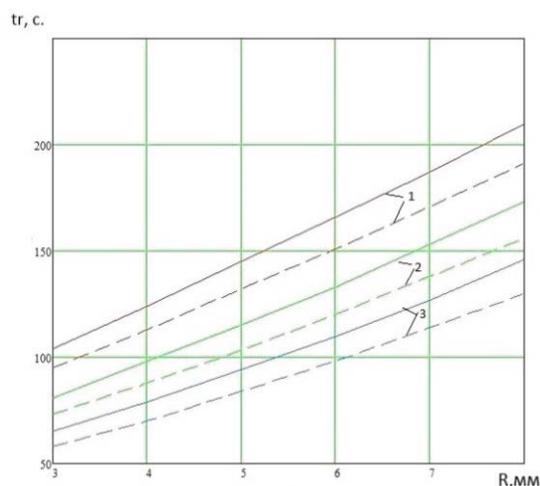


Рисунок 1 – Зависимость предела огнестойкости стеклянной панели t_r , с. от ее толщины R , мм ; Коэффициент поглощения $\gamma = 5$ (см^{-1}). Интенсивность падающего излучения I ($\text{кВт}/\text{м}^2$): 1-5; 2-10; 3-15. Штриховые линии соответствуют постоянным значениям теплофизических свойств стекла, взятых при комнатной температуре, сплошные линии соответствуют теплофизическим свойствам стекла, зависящим от температуры

Из анализа приведенных данных видно, что значение предела огнестойкости стеклянных конструкция, полученные при использовании теплофизических параметров стекла, зависящих от температуры превышают (на 7-12%) величины предела огнестойкости, полученные при постоянных значениях теплофизических параметров стекла, соответствующих комнатной температуре $25\text{ }^\circ\text{C}$. При этом, величина этого превышения незначительно возрастает с увеличением толщины конструкции и интенсивности падающего излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Joshi A.A., Pagni P.J. Fire-induced thermal fields in window glass I – theory. Fire Safety Journal, 1994 – v.22, N1. – pp. 25-43.
2. Мартыненко О.Г., Соковишин Ю.А. Свободно-конвективный теплообмен. Справочник. Минск. Наука и техника, 1982. – 399 с.
3. ISO 834-75 Fire Resistance of Building Materials.
4. FlexPDE finite element model builder for Partial Differential Equations <http://www.pdesolutions.com/>

Научное издание

ОГНЕЗАЩИТА И ТУШЕНИЕ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Сборник материалов
II Международной заочной научно-практической конференции,

(20 июня 2019 года)

Ответственный за выпуск *О.В. Рева*
Компьютерный набор и верстка *А.Н. Назарович*

Подписано в печать 21.06.2019.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Цифровая печать.
Усл. печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 2,91.
Тираж 1 экз. Заказ 040-2019.

Издатель и 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, г. Минск