

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ НЕТКАНОГО ПОЛИЭФИРНОГО МАТЕРИАЛА ОТ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ АЗОТ- И ФОСФОРСОДЕРЖАЩЕГО АНТИПИРЕНА

О. В. РЕВА¹⁾, В. В. БОГДАНОВА²⁾, А. С. ЛУКЬЯНОВ¹⁾,
С. С. ПЕРЕВОЗНИКОВ²⁾, Т. Н. АНДРЕЕВА²⁾

¹⁾ Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь,
ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

²⁾ Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт
физико-химических проблем», ул. Ленинградская, 14, 220006, г. Минск, Беларусь

Для нахождения факторов, оказывающих определяющее влияние на устойчивость огнезащитной обработки полиэфирных материалов к стиркам, проведены сопоставительные исследования эффективности азот- и фосфорсодержащих замедлителей горения, в которые входит азот в аммонийной (синтетические дисперсии аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов) или в амино- и иминоформе (5-аминотетразол фосфат). Перед огнезащитной обработкой проводили предварительную активацию полиэтилентерефталатной матрицы в смеси 10 % растворов уксусной и серной кислот с последующей выдержкой в спиртовом растворе хлорида олова. Сопоставительными исследованиями огнезащищенных изучаемыми замедлителями горения полиэфирных материалов установлено, что устойчивого к стиркам огнезащитного эффекта удается достичь только при применении коллоидосодержащей дисперсии аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов. Одновременно определено, что без предварительной активации поверхности полиэфира устойчивого к стиркам огнезащитного эффекта достичь невозможно. Сделано предположение о том, что устойчивое к водным обработкам закрепление азот- и фосфорсодержащих замедлителей горения на полиэфирном материале достигается взаимодействием хемосорбированных на полимерной подложке коллоидных частиц соединений двухвалентного олова с коллоидными частицами металлосодержащей дисперсии, тогда как химическая природа азотсодержащего компонента не оказывает определяющего влияния на закрепление замедлителей горения на полиэфирной матрице.

Ключевые слова: замедлители горения; огнезащита; полиэфир; дисперсия; коллоидные частицы.

Образец цитирования:

Рева О. В., Богданова В. В., Лукьянов А. С., Перевозников С. С., Андреева Т. Н. Зависимость эффективности огнезащиты нетканого полиэфирного материала от химической природы азот- и фосфорсодержащего антипирена // Журн. Белорус. гос. ун-та. Химия. 2017. № 2. С. 85–93.

For citation:

Reva O. V., Bogdanova V. V., Lukyanov A. S., Perevoznikov S. S., Andreeva T. N. Dependence of fire proof efficiency of nonwoven polyester material from the chemical nature of nitrogen and phosphorus-containing flame retardant. *J. Belarus. State Univ. Chem.* 2017. No. 2. P. 85–93 (in Russ.).

Авторы:

Ольга Владимировна Рева – кандидат химических наук, доцент; доцент кафедры процессов горения и взрыва факультета подготовки научных кадров.

Валентина Владимировна Богданова – доктор химических наук, профессор; заведующий лабораторией огнетушащих материалов.

Александр Сергеевич Лукьянов – адъюнкт кафедры процессов горения и взрыва факультета подготовки научных кадров.

Сергей Сергеевич Перевозников – научный сотрудник лаборатории химии твердых пленок.

Татьяна Николаевна Андреева – научный сотрудник лаборатории конденсированных сред.

Authors:

Olga Reva, PhD (chemistry), docent; associate professor at the department of combustion processes and explosion, faculty of scientific personnel training.

volha107@rambler.ru

Valentina Bogdanova, doctor of science (chemistry), full professor; head of the laboratory of fire-extinguishing materials.

bogdanova@bsu.by

Alexander Lukyanov, adjoint at the department of combustion processes and explosion, faculty of scientific personnel training.

lukas_kii@mail.ru

Sergey Perevoznikov, researcher at the laboratory of solid films chemistry.

bogdanova@bsu.by

Tatiana Andreeva, researcher at the laboratory of condensed matter.

bogdanova@bsu.by

DEPENDENCE OF FIRE PROOF EFFICIENCY OF NONWOVEN POLYESTER MATERIAL FROM THE CHEMICAL NATURE OF NITROGEN AND PHOSPHORUS-CONTAINING FLAME RETARDANT

*O. V. REVA^a, V. V. BOGDANOVA^b, A. S. LUKYANOV^a,
S. S. PEREVOZNIKOV^b, T. N. ANDREEVA^b*

*^aUniversity of Civil Protection MES Republic of Belarus,
Mašynabudaŭnikoŭ Street, 25, 220118, Minsk, Belarus*

*^bInstitute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University,
Lieninhradskaja Street, 14, 220006, Minsk, Belarus*

Corresponding author: O. V. Reva (volha107@rambler.ru)

The comparative researches the efficiency of nitrogen and phosphorus-containing burning retardants, containing nitrogen in ammonium (synthetic dispersions of ammonium phosphates of two- and trivalent metals) or in amino-imino form (5 amino-tetrazole phosphate) were conducted for finding the factors with determining impact on stability the fireproof handling the polyester materials for washings. Before the fireproof handling it was carried out the preliminary activation the polyester matrix in the mixture of 10 % solutions of acetic and sulfuric acids with the subsequent endurance in a spirit tin chloride solution. By comparative researches of fire protected with studied burning retardants polyester material it was established that the fireproof effect, stable against washings, manages to be reached only in case of application the colloid-containing dispersion of the ammonium phosphates of two- and trivalent metals. At the same time it was found that without the polyester surface preliminary activation the fireproof effect, stable against washings, can't be reached. It was assumed that fixing the nitrogen and phosphorus-containing burning retardants, stable against water handlings, on the polyester material can be reached by interaction the chemical adsorbed on a polymeric substrate colloidal particles of bivalent tin compounds with colloidal particles of metal-containing dispersion; whereas the nitrogen-containing component chemical nature doesn't exert the determining impact on to burning retardants fixing on a polyester matrix.

Key words: flame retardants; fire protection; polyester; dispersion; colloidal particles.

Введение

Полиэфирные волокна и ткани нашли широкое применение для изготовления изделий как бытового, так и технического назначения [1]. До настоящего времени одним из серьезных недостатков этих материалов является их высокая горючесть. Существующие способы их огнезащиты методом поверхностной обработки не позволяют достичь перманентного эффекта вследствие химической инертности полиэтилентерефталата (ПЭТФ), а введение замедлителей горения на стадии синтеза или переработки полимера приводит к значительному снижению физико-механических свойств волокна [2; 3]. В литературе имеются достаточно обширные сведения о методах активации ПЭТФ-матрицы путем обработки ультрафиолетовым, рентгеновским или лазерным излучением [4; 5]; термической фиксации при температуре стеклования полимера [6]; ориентационного вытягивания [7], а также о методах применения химических агентов [8; 9], способствующих набуханию и частичной деструкции полимера. Такая подготовка материала обуславливает образование дефектов и/или реакционноспособных центров, в результате чего возрастает вероятность прочного закрепления модификаторов (красителей, антипиренов) на поверхности полимера.

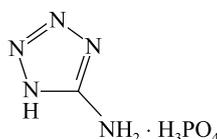
Однако большинство предлагаемых подходов либо технологически трудно реализуемы, либо недостаточно эффективны для получения перманентной огнезащиты. Кроме того, предлагаемые в настоящее время замедлители горения для текстильных материалов представляют собой дорогостоящие органические азот-, фосфор- и галогенсодержащие соединения, имеющие торговые марки «Пробан», «Тезогран» и «Т-2» [3]. Применение данных смесей проблематично ввиду присутствия в их составе галогена и возможности использования только в капсулированном виде из-за высокой деструктирующей способности по отношению к ПЭТФ [10; 11]. Следовательно, разработка эффективных, экономичных замедлителей горения и способов закрепления их на инертных матрицах весьма актуальна. Придание огнестойких свойств волокнистым синтетическим нетканым материалам – еще более сложная задача по причине их пористости и низкой стойкости к воздействию высоких температур.

Ранее нами [12] показана перспективность применения метода химической микросборки [13], заключающегося в предварительном нанесении на лавсановую ткань промежуточных адгезионных олово- или кремнийсодержащих подслоев, обеспечивающих прочную хемосорбцию к полиэфирному материалу

неорганических синтетических аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов [14]. Вместе с тем известно [15], что химическая природа азотсодержащего компонента антипиренов оказывает влияние на их огнезащитную эффективность в древесных материалах. Высказано предположение о том, что этот фактор также может сказываться и на закреплении антипирена на инертной подложке синтетического полимера.

Материалы и методы исследования

Для выяснения вклада азотсодержащего компонента различной химической природы в закрепление замедлителей горения на поверхности полиэфирного нетканого материала в настоящей работе проведены сопоставительные исследования устойчивости его огнезащиты к стиркам при обработке антипиренами, содержащими азот в аммонийной или amino- и иминоформе. В качестве полимерной матрицы использовали нетканый ПЭТФ производства ОАО «Могилёвхимволокно» толщиной 3,8 мм с поверхностной плотностью 397 г/м². Огнезащитным агентом, в котором азот представлен в виде аммонийного иона, являлась синтетическая дисперсия АН-10 аморфных фосфатов двух- и трехвалентных металлов в водной среде, содержащей дигидрофосфат аммония, с общим химическим составом в пересчете на оксиды (мас. %): P₂O₅ – NH₃ – CaO – MgO – Fe₂O₃ = 28,4 : 7,5 : 0,72 : 0,15 : 2,39. Другим замедлителем горения, где азот находится в виде amino-, а также иминогрупп, являлся спиртовой раствор фосфата 5-аминотетразола (ФАТ) с формулой [16]



Для огнезащитной обработки нетканого материала использовали одинаковые объемы 10 % растворов исследуемых замедлителей горения, средний сухой привес для всех случаев огнезащитной обработки составлял 16,5 %.

Ранее найдено [12; 17], что огнезащитная обработка инертных полимерных матриц включает в себя следующие стадии: предварительное травление образца (5 мин) в смеси (1 : 1) 10 % растворов уксусной и серной кислот; выдержку в изопропанольном растворе (0,15 моль/л) хлорида олова (20 мин); пропитку в растворе замедлителя горения (15 мин); сушку образца при 130–140 °С и термофиксацию при 200 °С в течение 2 мин. Одновременно для нахождения факторов, оказывающих влияние на закрепление исследуемых замедлителей горения на волокнистом ПЭТФ, проводили его обработку в отсутствие стадии получения адгезионного слоя и/или последующей термофиксации. Огнестойкость обработанного ПЭТФ и устойчивость огнезащитной обработки к стиркам (выдержка в течение 30 мин при 60 °С в воде со стиральным порошком в дозе 5 г/л) определяли по СТБ 11.03.02–2010 [18]. Электронно-микроскопическое исследование коллоидных частиц в жидкой части замедлителей горения выполняли на просвечивающем микроскопе LEO-906E (Германия). Препарирование частиц твердой фазы проводили нанесением раствора на поверхность пленки коллодия на медной сеточке. Исследование поверхности исходных и модифицированных различными замедлителями горения полиэфирных волокон до стирок и после них проводили с использованием электронного сканирующего микроскопа LEO-1420 (Германия). Калориметрические и термогравиметрические исследования выполняли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе NETZSTH STA 449C (Германия) (скорость нагрева составляла 10 К/мин в атмосфере с содержанием кислорода и азота). В ходе исследования исходного и огнезащищенного образцов нетканого материала до стирки и после нее определяли суммарные тепловые эндо- или экзоэффекты ($\Sigma Q_{\text{эндо}}$ и $\Sigma Q_{\text{экзо}}$, Дж/г) в интервале температур 20–600 °С. Расчет проводился с помощью программного приложения по площади комплексных пиков эффектов при обработке кривых ДСК. Содержание компонентов огнезамедлительной системы на полиэфирном материале после стирок определяли с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра фирмы PANalytical (Нидерланды). Автоматическая обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения Epsilon 3. При этом имелось в виду, что абсолютное содержание элементов в анализируемых образцах может иметь несоответствие с реальным их содержанием. Однако в нашем случае производилось относительное сравнение содержания элементов, что позволяет установить тенденцию по их содержанию в образцах, подвергнутых стирке.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате огневых испытаний огнезащищенных образцов нетканого материала до стирки установлено, что независимо от условий подготовки его поверхности, наличия или отсутствия стадии термофиксации и природы замедлителей горения все образцы классифицируются как трудновоспламеняемые.

Другая картина характерна для этих же образцов после стирки: все исследованные замедлители горения не обеспечивают огнезащитных свойств полиэфирному материалу в отсутствие активации золев хлорида олова и стадии термофиксации. По итогам проведения полного цикла ступенчатой огнезащитной обработки образцов установлено, что после стирки остаточное содержание антипирена на ПЭТФ-материале для изученных замедлителей горения ФАТ и АН-10 составляет 0,11 и 0,49 мас. % соответственно. На образце, огнезащищенном индивидуальным дигидрофосфатом аммония, взятом для сравнения, изменения массы полиэфирной матрицы после стирки не обнаружено. В табл. 1 приведены данные по огнестойким и термическим свойствам полиэфирного материала, прошедшего полный цикл огнезащитной обработки и стирку.

Таблица 1

Огнестойкие и термические свойства полиэфирного нетканого материала после стирок

Table 1

Fire-resistant and thermal properties of polyester non-woven fabric after washing

Образец	Время горения, с	Образование капель	Длина обугленного участка, мм	Классификация по горючести	Тепловыделение при термоллизе, Дж/г
Исходный ПЭТФ	35	Есть	160	Легковоспламеняемый	5817
ПЭТФ – ФАТ	9	Нет	70	Легковоспламеняемый	4791
ПЭТФ – АН-10	3	Нет	21	Трудновоспламеняемый	3283
ПЭТФ – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	32	Есть	115	Легковоспламеняемый	5629

Как видно из полученных данных, требуемые стандартом огнестойкие свойства полиэфирного материала достигаются только в случае применения антипирена АН-10. Для образцов ПЭТФ, огнезащищенных фосфатом 5-аминотетразола, наблюдается повышенная устойчивость к воздействию пламени по сравнению с исходным и обработанным дигидрофосфатом аммония материалом. Однако показатели ГОСТа в этом случае не достигаются.

Данные огневых испытаний полученных образцов согласуются с результатами их термического исследования. При изучении термодеструкции исходного и огнезащищенного образцов нетканого полиэфирного материала после стирки установлено, что в присутствии исследуемых замедлителей горения в целом характер термического разложения полимерной матрицы не изменился: на термограммах всех исследованных образцов имеются два интенсивных экзотермических пика с максимумами 437 и 556 °С, обусловленные разрывом основных цепей полимера и догоранием продуктов его деструкции [19]. Однако обнаружена существенная разница в количестве тепла, образующегося при термическом разложении исходного и огнезащищенных образцов (см. табл. 1). Так, в случае трудновоспламеняемого образца тепловыделение в 1,8 раза меньше по сравнению с исходным материалом, тогда как в присутствии ФАТ – только в 1,2 раза.

Методом сканирующей электронной микроскопии исследована поверхность исходных (рис. 1, а) и подвергнутых огнезащитной обработке волокон (см. рис. 1, б, в), взятых из постиранного нетканого материала. Количество обнаруженных этим методом замедлителей горения на поверхности ПЭТФ-волокон существенно меньше при применении ФАТ (см. рис. 1, б) по сравнению с аналогичными образцами, обработанными АН-10 (см. рис. 1, в). При исследовании волокон после обработки $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и последующей стирки изменения морфологии их поверхности не обнаружено.

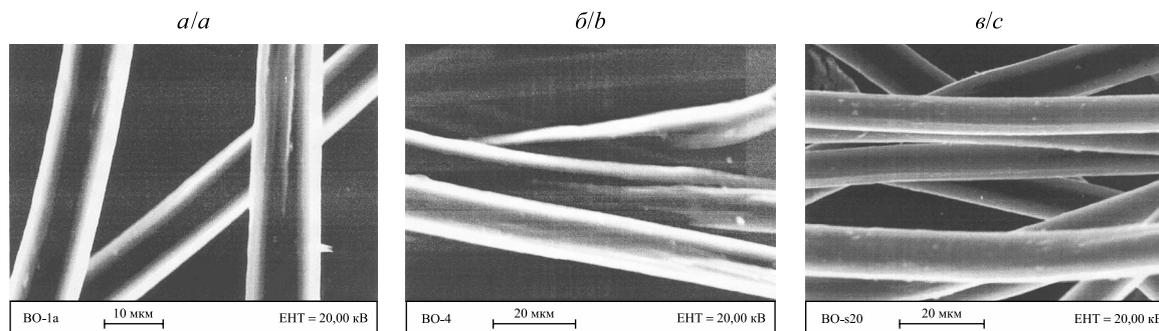


Рис. 1. Морфология поверхности исходных (а), огнезащищенных ФАТ (б), АН-10 (в) полиэфирных волокон
Fig. 1. Morphology of the surface of the initial (a), flame-retardant FAT (b), AN-10 (c) polyester fibers

На следующем этапе исследования необходимо было выяснить причину различной степени закрепления ФАТ, АН-10 и $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ на поверхности полиэфирного материала после стирки. Для этого проведено сравнение огнезащитных свойств и химического состава продуктов, остающихся в полимерном материале после стирок (табл. 2). Исходя из того, что АН-10 представляет собой дисперсию нерастворимых аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов в водной среде дигидрофосфата аммония, состав был разделен на жидкую и дисперсную части, которые исследовали наряду с неразделенным продуктом. Дисперсную составляющую перед нанесением на нетканый материал диспергировали в воде для получения суспензии с 10 % концентрацией по сухому веществу. Затем нетканый материал был обработан полученными продуктами и подвергнут стирке. Данные спектрометрического исследования исходных антипиренов и огнезащищенных ими образцов нетканого материала после стирки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Элементный состав исходных замедлителей горения
и огнезащищенного ими нетканого полиэфирного материала после стирки

Table 2

The elemental composition of the original flame retardants
and flame-retardant non-woven polyester material after washing

Образец	Содержание, %						Классификация по горючести
	P	N	Sn	Ca	Mg	Fe	
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	27,0	12,0	–	–	–	–	–
АН-10	24,0	9,6	–	1,0	0,2	0,5	–
ФАТ	17,0	15,0	–	–	–	–	–
Растворная часть АН-10	5,6	2,2	–	0,3	0,4	0,02	–
Дисперсная часть АН-10	18,4	7,4	–	0,7	0,16	0,48	–
ПЭТФ – АН-10	1,5	0,6	0,04	0,3	0,3	0,7	Трудновоспламеняемый
ПЭТФ – ФАТ	0,2	0,2	0,009	–	–	–	Легковоспламеняемый
ПЭТФ – растворная часть АН-10	0,6	0,2	0,01	0,09	0,07	0,4	Трудновоспламеняемый
ПЭТФ – дисперсная часть АН-10	0	0	0,01	0	0	0	Легковоспламеняемый
ПЭТФ – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0	0	0,01	0	0	0	Легковоспламеняемый

По устойчивости огнезащитного эффекта к стиркам исследуемые замедлители горения располагаются в следующий ряд: АН-10 \approx растворная часть АН-10 > ФАТ \gg дисперсная часть АН-10 > $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. При использовании фосфата 5-аминотетразола в качестве замедлителя горения, так же как и при использовании АН-10, отмечается снижение тепловыделения, времени самостоятельного горения и степени повреждения огнезащищенного образца ПЭТФ после стирки. Однако обработанный материал не достигает необходимого уровня огнестойкости и классифицируется как легковоспламеняемый (см. табл. 2). Судя по данным элементного анализа стиранных образцов, количества закрепляющегося замедлителя горения достаточно для получения требуемого по ГОСТу [18] огнезащитного эффекта только в случае композиции АН-10 (рис. 2, кривая 3). Тем не менее наличие активной аминогруппы в составе антипирена ФАТ вносит некоторый вклад в его химическое закрепление на полимере (см. рис. 2, кривая 2).

Согласно полученным данным (см. табл. 2, рис. 2) сохранение огнезащитной эффективности после стирки имеет место только для состава АН-10 и его жидкой части, в которые входят, по данным электронно-микроскопического (ЭМ) исследования, коллоидные металлсодержащие частицы. Размер коллоидных частиц растворной части состава АН-10, как видно из рис. 3, находится в диапазоне 30–90 нм. Частицы дисперсной составляющей этого же продукта имеют размер от 1 до 14 мкм (см. рис. 3, в).

Следует подчеркнуть, что коллоидные частицы в объеме жидкой части формируются только для огнезамедлительного состава, включающего ионы переходных металлов, – АН-10. Вероятно, эти коллоидные частицы способны вступать во взаимодействие с реакционноспособными группами полиэфирной матрицы или сорбированными на ней частицами соединений Sn(II), как это описано в работах [20–22]; в то время как в огнезащитных составах ФАТ и $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, представляющих собой истинные растворы, коллоидные частицы отсутствуют.

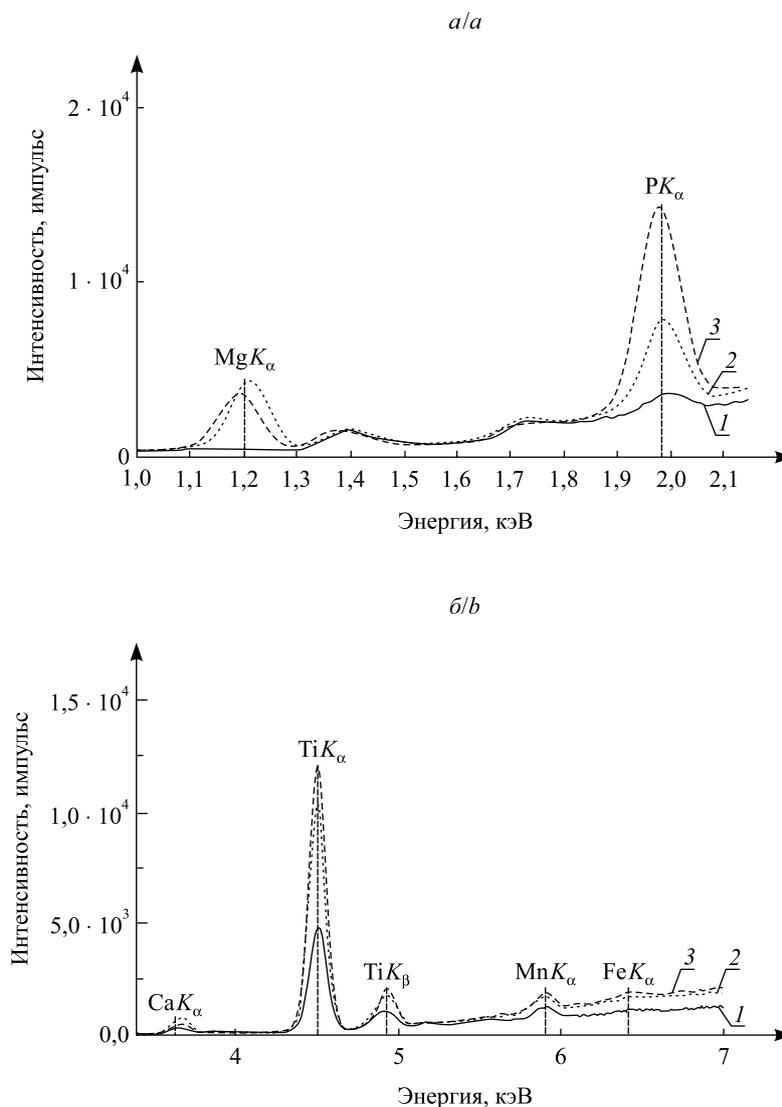


Рис. 2. Рентгенофлуоресцентные спектры, записанные в диапазоне энергий 1,0–2,3 кэВ (а) и 3,5–7,0 кэВ (б); 1 – исходный полиэфирный материал; 2 – полиэфирный материал, обработанный ФАТ; 3 – полиэфирный материал, обработанный АН-10

Fig. 2. X-ray fluorescence spectra recorded in the energy range 1.0–2.3 keV (a) and 3.5–7.0 keV (b); 1 – initial polyester material; 2 – polyester material treated FAT; 3 – polyester material treated AN-10

На основании сказанного можно предположить, что устойчивое к водным обработкам закрепление азот- и фосфорсодержащих замедлителей горения на полиэфирном материале обусловлено взаимодействием хемосорбированных на полимерной подложке коллоидных частиц соединений двухвалентного олова (что доказано ранее [12]) с коллоидными частицами металлсодержащих продуктов жидкой части антипирена с формированием связей типа —C—O—Sn—O—Met— . Вероятно, переходный металл в составе наноразмерных коллоидных частиц способствует образованию мостиковых связей между подложкой и азот- и фосфорсодержащими компонентами огнезащитной композиции.

Вместе с тем наличие соединений переходных металлов в виде дисперсии с микронными размерами (см. рис. 3, табл. 2) не позволяет достичь эффекта закрепления замедлителя горения на инертной полимерной матрице. Данный факт может быть косвенным доказательством необходимости не только наличия в составе огнезащитной композиции группировок определенного химического состава для обеспечения перманентного огнезащитного эффекта, но и формирования из этих соединений коллоидных частиц в определенном диапазоне размеров. Использование индивидуального дигидрофосфата аммония также не позволяет достичь перманентного огнезащитного эффекта, что является дополнительным доказательством активной роли металлсодержащих коллоидных продуктов в обеспечении химического взаимодействия между антипиреном и полимером.

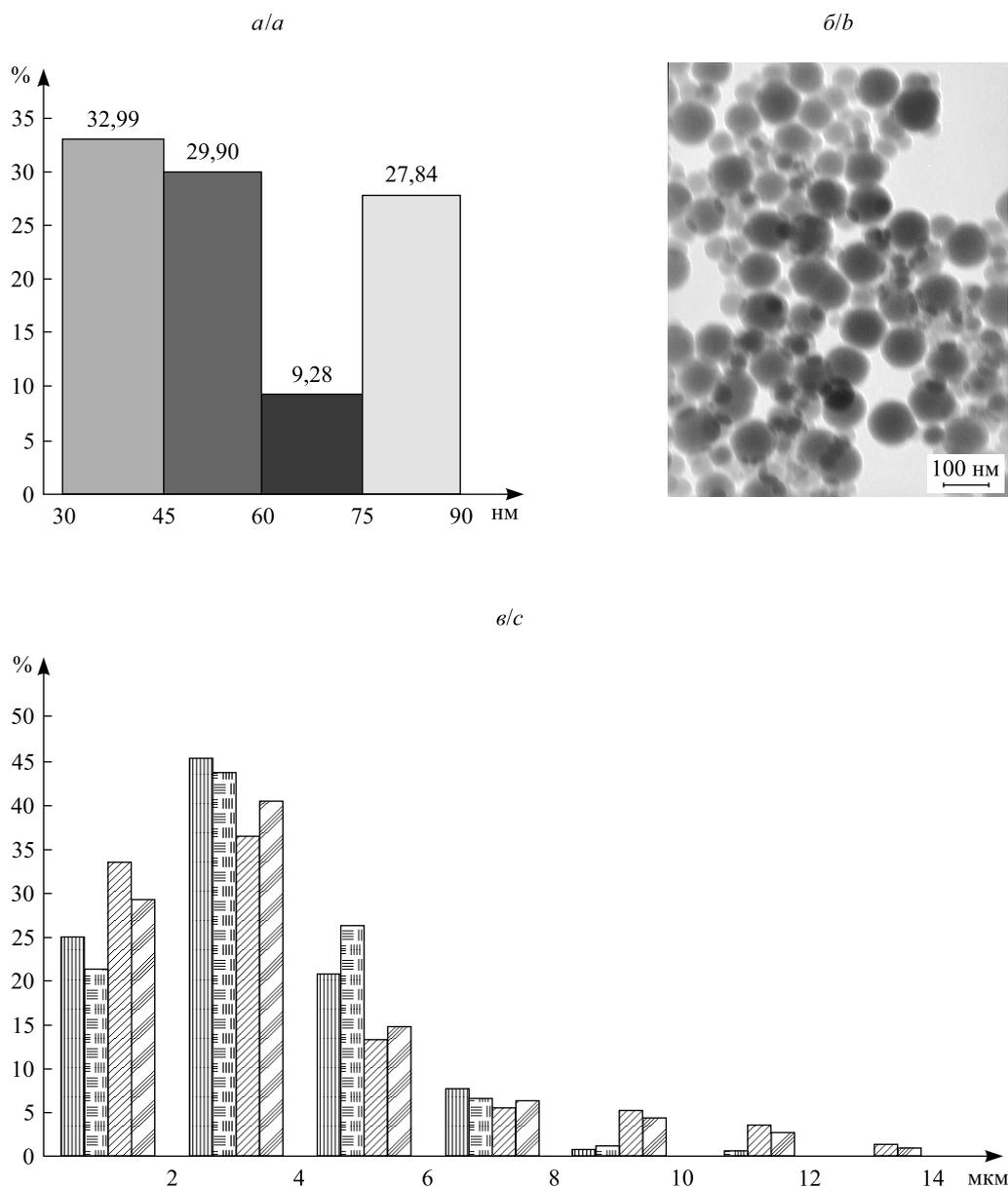


Рис. 3. Распределение по размерам частиц растворной фазы состава АН-10 (а);
ЭМ-фотография частиц растворной фазы состава АН-10 (б);
распределение по размерам частиц дисперсной фазы огнезащитного состава АН-10 (в)

Fig. 3. Size distribution particles of the solution phase of the AN-10 (a);
EM-photograph particles of the solution phase of the AN-10 composition (b);
distribution on the sizes particles of a disperse phase of fire-protective composition AN-10 (c)

Заключение

Таким образом, установлено, что химическая природа азотсодержащего компонента не оказывает определяющего влияния на закрепление замедлителя горения на полиэфирной матрице. Прочное закрепление антипирена, позволяющее обеспечить устойчивость огнезащиты нетканого ПЭТФ-материала к стиркам, достигается благодаря участию нанодисперсных синтетических соединений переходных металлов.

Библиографические ссылки

1. Сырбу С. А., Бурмистров В. А., Самойлов Д. Б. Разработка огнезащитных составов для текстильных материалов // Технологии техносфер. безопасности. 2011. Вып. 5 (39). С. 1–7.
2. Перепелкин К. Е. Горючесть текстиля как одна из его важнейших характеристик // Хим. волокна. 2001. № 5. С. 8–42.
3. Зубкова Н. С., Антонов Ю. С. Снижение горючести текстильных материалов. Решение экологических и социально-экономических проблем // Рос. хим. журн. 2002. Т. XLVI, № 1. С. 96–102.

4. Сабирзянова Р. Н., Красина И. В. Современные тенденции в производстве огнестойких текстильных материалов // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. № 5. С. 75–79.
5. Белошапошникова В. И., Куликова Т. В. Модификация синтетических материалов с целью снижения горючести // Текст. пром-сть. 2005. № 7/8. С. 4–6.
6. Кричевский Г. Е. Химическая технология текстильных материалов. М., 2001.
7. Волынский А. Г., Макушев А. Н., Ярышева Л. М. Крейзинг полимеров в жидких средах – универсальный, непрерывный способ введения в полимерное волокно модифицирующих добавок // Рос. хим. журн. 2005. № 6. С. 118–125.
8. Тарануха Я. А., Каратеев А. М. Придание огнезащитных свойств огнезащитным материалам на основе натуральных и синтетических волокон // Интегр. технологии и энергосбережение. 2006. № 4. С. 37–42.
9. Михайлова Э. Д. Текстильные материалы пониженной горючести: оценка эффективности огнезащиты и идентификация методом химического анализа // Пожар. безопасность. 2003. № 1. С. 28–34.
10. Морыганов А. П. Разработка новых способов получения и модификации перспективных текстильных материалов на основе отечественного сырья // Текст. химия. 1998. № 1 (13). С. 82–87.
11. Морыганов А. П., Коломейцева Э. А., Кокишаров С. А. Ресурсосберегающие технологии полифункциональной отделки технического текстиля // Нефть. Газ. Промышленность. 2004. № 2 (7). С. 40–45.
12. Рева О. В., Богданова В. В., Шукело З. В. Химическая прививка огнезащитных композиций к полиэфирной матрице // Свирид. чтения : сб. ст. 2012. Вып. 6. С. 158–168.
13. Алесковский В. Б. Химико-информационный синтез. СПб., 1998.
14. Богданова В. В., Кобец О. И. Синтез и физико-химические свойства фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония // Журн. прикл. химии. 2014. Т. 87, № 10. С. 1385–1399.
15. Леонович А. А., Шелоумов А. В. Огнезащитная эффективность фосфоразотсодержащих антипиренов в зависимости от химической природы азотсодержащего компонента // Хим. пром-сть. 2003. Т. 80, № 2. С. 8–12.
16. Богданова В. В., Андреева Т. Н., Праник В. В. Синтез и свойства фосфатов 5-аминотетразола // Журн. общ. химии. 1990. Т. 60, вып. 11. С. 2561–2564.
17. Рева О. В., Лукьянов А. С. Определение оптимального метода создания наноструктурированных композиций на основе полиэфирных матриц, обладающих перманентной огнестойкостью // Вестн. команд.-инж. ин-та МЧС Респ. Беларусь. 2015. № 2 (22). С. 35–43.
18. Система стандартов пожарной безопасности. Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний : СТБ 11.03.02–2010. Введ. 24.09.10 (с отменой на территории РБ НПБ 10-2000, НПБ 12-2000, НПБ 80-303). Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010.
19. Баранова Т. П., Смирнова Н. А., Айзентейн Э. М. Огнезащитные полиэфирные волокна. М., 1986.
20. Рева О. В., Воробьева Т. Н., Свиридов В. В. Природа и закономерности фотостимулированного и темнового окисления Sn(II) в процессах получения токопроводящих рисунков из меди и никеля с хорошей адгезией к подложке // Журн. науч. и прикл. фотографии и кинематографии. 1999. Т. 44, № 4. С. 20–26.
21. Рева О. В., Воробьева Т. Н. Фотостимулированные превращения в островковых пленках гидроксосоединений Sn(II) в процессе селективной металлизации диэлектриков // Журн. прикл. химии. 1998. Вып. 3. С. 498–502.
22. Reva O. V., Vorob'eva T. N., Sviridov V. V. Preparation of electroconducting Cu and Ni images with good adhesion to a substrate: photoinduced and dark oxidation of Sn(II) // Sci. Appl. Photo. 1999. Vol. 41 (4). P. 331–339.

References

1. Sirbu S. A., Burmistrov V. A., Samoylov D. B. [Development of fire retardant compounds for textile materials]. *Tekhnol. tekhnosfernoi bezop.* 2011. Issue 5 (39). P. 1–7 (in Russ.).
2. Perepelkin K. E. [Flammability of textiles as one of its most important characteristics]. *Khim. volok.* 2001. No. 5. P. 8–42 (in Russ.).
3. Zubkova N. S., Antonov Y. S. [Reduced flammability of textile materials. Solving environmental and socio-economic problems]. *Ross. khim. zh.* 2002. Vol. XLVI, No. 1. P. 96–102 (in Russ.).
4. Sabirzyanova R. N., Krasina I. V. [Current trends in production fireproof textile materials]. *Vestnik Kazan. tekhnol. univ.* 2013. No. 5. P. 75–79 (in Russ.).
5. Beloshaposhnikova V. I., Kulikova T. V. [Modification of synthetic materials to reduce flammability]. *Tekst. prom.* 2005. No. 7/8. P. 4–6 (in Russ.).
6. Krichevsky G. E. [Chemical technology of textile materials]. Moscow, 2001 (in Russ.).
7. Volynsky A. G., Makushev A. N., Yarysheva L. M. [Polymer crazing in liquid media is an universal, continuous way of introducing modifying additives into polymer fibers]. *Ross. khim. zh.* 2005. No. 6. P. 118–125 (in Russ.).
8. Taranukha Y. A., Karateev A. M. [Giving fireproof properties to non-woven materials based on natural and synthetic fibers]. *Integrirovannye tekhnol. energosberezenie.* 2006. No. 4. P. 37–42 (in Russ.).
9. Mikhailova E. D. [Textile materials of low combustibility: an estimation of efficiency of fire protection and identification by a chemical analysis method]. *Pozharnaya bezop.* 2003. No. 1. P. 28–34 (in Russ.).
10. Moryganov A. P. [Development of new methods for obtaining and modifying promising textile materials based on domestic raw materials]. *Tekst. khim.* 1998. No. 1 (13). P. 82–87 (in Russ.).
11. Moryganov A. P., Kolomeitseva E. A., Koksharov S. A. [Resource-saving technologies of polyfunctional finishing of technical textiles]. *Neft'. Gaz. Prom.* 2004. No. 2 (7). P. 40–45 (in Russ.).
12. Reva O. V., Bogdanova V. V., Shukelo Z. V. [Chemical inoculation of fire-retardant compositions to a polyester matrix]. *Sviridovskie chten.* : sb. statei. 2012. Issue 6. P. 158–168 (in Russ.).
13. Aleskovsky V. B. [Chemical-information synthesis]. Saint Petersburg, 1998 (in Russ.).
14. Bogdanova V. V., Kobets O. I. [Synthesis and physicochemical properties of phosphates of two- and trivalent metal-ammonium]. *Zn. prikl. khim.* 2014. Vol. 87, No. 10. P. 1385–1399 (in Russ.).
15. Leonovich A. A., Sheloumov A. V. [Fireproof effectiveness of phosphorus-containing flame retardants depending on the chemical nature of the nitrogen-containing component]. *Khim. prom.* 2003. Vol. 80, No. 2. P. 8–12 (in Russ.).

16. Bogdanova V. V., Andreeva T. N., Pranik V. V. [Synthesis and properties of 5-aminotetrazole phosphates]. *Zh. obshchei khim. [Russ. J. Gen. Chem.]*. 1990. Vol. 60, issue 11. P. 2561–2564 (in Russ.).
17. Reva O. V., Lukyanov A. S. Determining the optimal method for creating nano-structured compositions based on polyester matrix having a permanent fire resistance. *Vestnik komandno-inzh. inst. MChS Resp. Belarus'*. 2015. No. 2 (22). P. 35–43 (in Russ.).
18. [Fire Safety Standards System. Means fireproof. General technical requirements and test methods] : STB 11.03.02–2010. Enter 24.09.10 (with the cancellation of the NPB 10-2000, the NPB 12-2000, the NPB 80-303 in the territory of the Republic of Belarus). Minsk : The Belarusian State Institute of Standardization and Certification, 2010.
19. Baranova T. P., Smirnova N. A., Eisenstein E. M. [Fireproof polyester fibers]. Moscow, 1986 (in Russ.).
20. Reva O. V., Vorobyova T. N., Sviridov V. V. [The nature and regularities of photostimulated and dark oxidation of Sn(II) in the processes of obtaining conductive patterns from copper and nickel with good adhesion to the substrate]. *Zh. nauchn. i prikl. fotogr. i kinematografii*. 1999. Vol. 44, No. 4. P. 20–26 (in Russ.).
21. Reva O. V., Vorobyova T. N. [Photostimulated transformations in island films of Sn(II) hydroxy compounds in the process of selective metallization of dielectrics]. *J. Appl. Khim.* 1998. Issue 3. P. 498–502 (in Russ.).
22. Reva O. V., Vorob'eva T. N., Sviridov V. V. Preparation of electroconducting Cu and Ni images with good adhesion to a substrate: photoinduced and dark oxidation of Sn(II). *Sci. Appl. Photo.* 1999. Vol. 41 (4). P. 331–339.

Статья поступила в редколлегию 03.04.2017.
Received by editorial board 03.04.2017.