

УДК 66.091.2/614.841.41

DOI 10.48612/ntp/rfff-k7dd-mm67

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ТКАНЕЙ С ОГНЕЗАЩИТНЫМ ПЛЕНОЧНЫМ ПОКРЫТИЕМ

А. Н. КЛУШИН^{1,2}, О. Г. ЦИРКИНА², С. А. СЫРБУ², В. Г. СПИРИДОНОВА², А. Х. САЛИХОВА²

¹Главное управление МЧС России по Краснодарскому краю
Российская Федерация, Краснодар

²Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, syrbue@yandex.ru,
nika.spiridonowa@yandex.ru, salina_77@mail.ru

В статье рассматривается вопрос о возможности применения наполнителей неорганической природы для введения в состав покрытий на основе поливинилхлорида (ПВХ) при получении огнезащитных двухслойных материалов на текстильной основе, при этом вводимые добавки должны обладать интумесцентными свойствами. Интерес к вспучивающимся (интумесцентным) покрытиям вызван их высокой огнезащитной эффективностью и широкой областью применения. В связи с увеличивающимся спросом на интумесцентные составы прорабатывается вопрос модификации уже существующих композиций, и рассматриваются способы их усовершенствования. При выборе антипирена необходимо также учитывать назначение разрабатываемого огнезащитного материала. В представленной работе в ПВХ-композицию в качестве вспучивающих агентов предлагается вводить наполнители, разложение которых при повышенных температурах протекает с выделением значительного количества газообразных продуктов, вспучивающих расплав полимерного покрытия с образованием значительного по объему углеродного слоя. Образцы полученных материалов исследованы методом термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией. Научно обоснован механизм образования на поверхности ткани интумесцентного огнезащитного слоя в процессе воздействия открытого пламени на полимерный материал.

Ключевые слова: текстильные материалы, огнезащита, интумесцентные составы, поливинилхлорид (ПВХ), наполнители, термический анализ.

USE OF INORGANIC FILLERS WHEN PRODUCING FABRICS WITH FIRE-RETARDANT FILM COATING

A. N. KLUSHIN^{1, 2}, O. G. TSIRKINA², S. A. SYRBU², V. G. SPIRIDONOVA², A. Kh. SALIKHOVA²

¹Main Directorate of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense for the Krasnodar Territory
Russian Federation, Krasnodar

²Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, syrbue@yandex.ru,
nika.spiridonowa@yandex.ru, salina_77@mail.ru

The article discusses the possibility of using inorganic fillers to introduce them into polyvinyl chloride (PVC) coatings to obtain fire-resistant two-layer materials on a textile basis. The additives should have intumescent properties. The interest in intumescent coatings is due to their high flame retardant effectiveness and wide range of applications. In view of the increasing demand for intumescent compositions, modification of existing compositions is being considered and methods for their improvement are being considered. When choosing a flame retardant, it is also necessary to take into account the purpose of the developed flame retardant material. In the presented work, it is proposed to introduce fillers into the PVC composition as swelling agents, the decomposition of which at elevated temperatures proceeds with the release of a significant amount of gaseous products that swell the melt of the polymer coating to form a significant carbon layer. Samples of the obtained materials were analyzed by thermal analysis combined with mass spectrometry. The mechanism

of formation of an intumescent fire-retardant layer on the surface of the tissue during the action of an open flame on the polymer material has been scientifically substantiated.

Key words: textiles, fireproofing, intumescent formulations, polyvinyl chloride (PVC), fillers, thermal analysis

Введение

В современных условиях потребность в материалах, обладающих огнезащитными свойствами, в том числе, самозатухающих и не поддерживающих горение, неуклонно растет. На данный момент существует большое количество методов защиты различных объектов и материалов от воздействия огня. С этой целью широко используются так называемые вспучивающиеся (интумесцентные) покрытия. Вспучивающиеся огнезащитные составы представляют собой композиции, состоящие из различных по химической природе соединений. Интерес к подобным полимерным покрытиям вызван их высокой огнезащитной эффективностью и экологичностью. Образующие эти покрытия композиции по природе многообразны и включают в себя газообразующие ингредиенты с определенными температурами разложения. Поэтому при выборе антипирена необходимо, в первую очередь, учитывать назначение разрабатываемого огнезащитного материала. Кроме того, в связи с увеличивающимся спросом на огнезащитные интумесцентные составы повышается интерес к модификации уже существующих композиций и рассматриваются способы их усовершенствования.

В настоящее время возрастает потребность и в укрывных материалах, которые можно использовать как на стационарных, так и на мобильных объектах, обеспечивая быстрое развертывание и перемещение одновременно с защищаемыми объектами. Подобные защитные изделия должны обладать достаточной прочностью, гибкостью и эластичностью, поэтому наилучшим решением, на наш взгляд, является использование тканых материалов с полимерным пленочным покрытием, в составе которого имеется антипирен. Работы в указанном направлении начали проводиться в Ивановской пожарно-спасательной академии с 2021 года и показали свою перспективность [1–3].

Актуальность представленной работы обусловлена необходимостью получения защитных полотен на волокнистой основе, обладающих высокой степенью огнестойкости при их использовании в качестве укрывных и тентовых материалов в условиях эксплуатации на открытых пространствах. С научной точки зрения

вопрос о механизме огнезащитного действия интумесцентных композиций, а также описание роли каждого из ее ингредиентов, заслуживает пристального внимания и представляет значительный интерес.

В ранее проведенных нами исследованиях [3] были использованы различные по химическому составу антипирены, в том числе, органического происхождения, и дано научное обоснование механизмов их огнезащитного действия.

Целью настоящей работы является обоснование возможности использования наполнителей неорганической природы при разработке интумесцентных огнезащитных составов для поверхностного нанесения на ткани технического назначения.

Материалы и методы исследования

В качестве основы для нанесения полимерного покрытия использована ткань «авизент» арт. С21-ЮД с поверхностной плотностью 395 г/м², выработанная из хлопкового волокна (100 % ХВ). В качестве «базового» полимерного состава, в который вводили различные наполнители, использовали пластизол на основе поливинилхлорида (ПВХ). В работах [1, 4], включая руководство¹, подробно приведена методика приготовления ПВХ-пластизоля в лабораторных и производственных условиях. Составы наносимых на поверхность ткани огнезащитных ПВХ-композиций, приведены в табл. 1.

Выбор наполнителей обусловлен тем, что в процессе термического разложения дихромата аммония выделяется азот N₂, который является инертным газом и одновременно «вспучивателем» полимерной пленки; дихромат калия при разложении выделяет газообразный кислород O₂, который окисляет ПВХ с образованием хлороводорода, за счет которого ПВХ-пленка также будет увеличиваться в объеме; шунгитовый порошок при нагревании выделяет воду, способствующую гидротермальной деструкции ПВХ также с выделением хлороводорода, и, кроме того, при температуре горения ткани образует углеродный (коксовый) слой, способствующий самозатуханию пламени.

¹ Руководство по ПВХ пастам. http://www.workglove.ru/doc/PVCHandbook_rus.pdf

Таблица 1. Составы огнезащитных ПВХ-композиций

Название	Формула	Характеристика вещества	Соотношение, мас.ч. ПВХ: ДОФ: наполнитель
Поливинилхлорид (ПВХ) эмульсионный	$-(CH_2 - CHCl)_n -$	порошок белого цвета	«база» ПВХ-пластизоль 10 : 7
Диоктилфталат (ДОФ)	$C_8H_4(COOC_8H_{17})_2$	вязкая жидкость	
Наполнители			
Дихромат аммония	$(NH_4)_2Cr_2O_7$	оранжево-красные кристаллы $t_{пл.} = t_{разл.} = 180\text{ }^{\circ}C$	10 : 7 : 2
Дихромат калия	$K_2Cr_2O_7$	оранжевые кристаллы $t_{пл.} = 390\text{--}398\text{ }^{\circ}C$ $t_{разл.} = 500\text{ }^{\circ}C$	10 : 7 : 2
Шунгитовый порошок	$C_{тв.}$ (96-99%)	черный порошок $t_{пл.} \sim 3527\text{ }^{\circ}C$	10 : 7 : 2

Готовые ПВХ-композиции с различными наполнителями наносили на ткань с помощью ракля и термообработывали при температуре 145–150 °С, в результате чего получали двухслойный материал, состоящий из тканой основы и полимерной пленки, прочно зафиксированной на поверхности полотна. Таким образом, для проведения исследования были изготовлены следующие образцы текстильных материалов:

образец 1 – исходный «авизент» без покрытия;

образец 2 – «авизент» с ПВХ-покрытием без наполнителя;

образец 3 – «авизент» с ПВХ-покрытием, содержащим дихромат аммония;

образец 4 – «авизент» с ПВХ-покрытием, содержащим дихромат калия;

образец 5 – «авизент» с ПВХ-покрытием, содержащим шунгитовый порошок.

Испытания образцов на огнестойкость проводили в соответствии с ГОСТ 11209-2014 «Ткани для специальной одежды. Общие технические требования. Методы испытаний» (далее – ГОСТ 11209-2014), поскольку приведенная в нем методика является более «жесткой» по сравнению с испытаниями тканей на воспламеняемость. Необходимо отметить, что оба вида испытаний текстильных материалов – на огнестойкость и на воспламеняемость – применимы для тканей с объемной пропиткой растворами антипиренов. В проведенном исследовании для придания тканям огнезащитных свойств использовалось поверхностное нанесение ПВХ-композиций, поэтому определенная ГОСТом

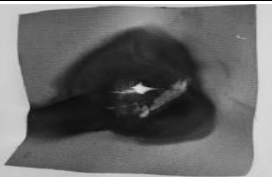
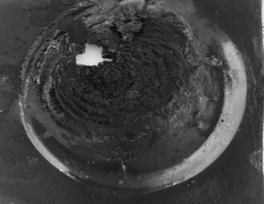
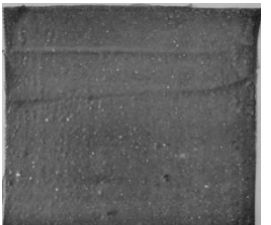
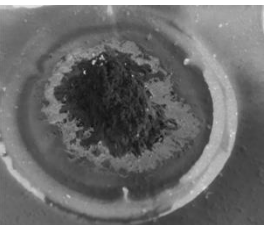
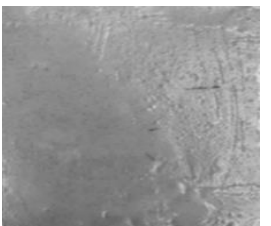
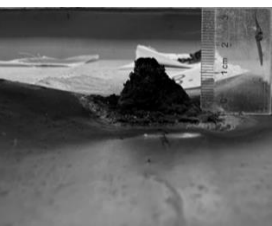
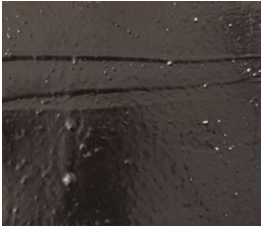
11209-2014 методика была адаптирована. Пламя горелки подносили не к кромке, а к середине образца, располагая его перпендикулярно к источнику зажигания. В ходе эксперимента фиксировали во времени происходящие с материалом изменения, а также время полного прогорания или самозатухания образца.

Для идентификации продуктов термического разложения полученных материалов использовали метод синхронного термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией. Эксперимент выполнялся в центре коллективного пользования МИРЭА на термоанализаторе STA 449 F3, совмещенном с масс-спектрометром QMS 403 (NETZSCH, Германия) в интервале температур 35–500 °С в окислительной среде (воздух), скорость подачи газа 100 мл/мин, скорость нагревания 10 град/мин. На основе анализа продуктов термолитиза полученных образцов и химических реакций разложения наполнителей были научно обоснованы механизмы антипиреющего и интумесцентного действия неорганических наполнителей, вводимых в полимерную матрицу.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

В ходе проведения эксперимента исходный образец «авизента» (образец 1) и образцы «авизента» с различными по составу пленочными покрытиями на основе ПВХ (образцы 2, 3, 4, 5) подвергались воздействию открытого пламени по приведенной выше адаптированной методике. Полученные результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний образцов при огневом воздействии

№ обр.	Время, с	Фотография образца		Параметры вспучивания	Примечание
		До огневого воздействия	После огневого воздействия		
1	26			отсутствует	прогорание образца
2	90			отсутствует	зеленое пламя; сильное дымообразование; появление черного дыма с 25 сек; потемнение образца с обратной стороны через 80 сек; почернение образца с обратной стороны 85 сек; прогорание образца
3	180			диаметр вспученной поверхности – 32 мм; высота вспученной поверхности – 17 мм	белый дым с 11 сек; черный дым с 17 сек; зеленое пламя; на поверхности в процессе вспучивания образуется «вулкан»; с 45 сек – интенсивное дымообразование; прекращение горения с 88 сек; вспученная поверхность тлеет после выноса из пламени; затем происходит самозатухание
4	180			диаметр вспученной поверхности – 35 мм; высота вспученной поверхности – 19 мм	моментальное вспучивание при контакте с пламенем; белый дым с 26 сек; черный дым с 35 сек; зеленое пламя; прекращение горения с 80 сек; вспученная поверхность тлеет после выноса из пламени; затем происходит самозатухание
5	165			диаметр вспученной поверхности – 33 мм; высота вспученной поверхности – 10 мм	белый дым с 8 сек; черный дым с 24 сек; интенсивное дымообразование с 29 сек; зеленое пламя; пожелтение обратной стороны образца с 85 сек; прекращение горения со 117 сек; потемнение образца со 145 сек; прогорание образца; тление обратной стороны образца после выноса из пламени

Все образцы, имеющие ПВХ-покрытие, выдерживали огневое воздействие в течение времени, значительно превышающем 30 с, что соответствовало требованиям ГОСТ 11209-2014. При этом интумесцентными свойствами обладали ПВХ-пленки, в состав которых были введены наполнители. Анализ полученных результатов показал, что дихромат аммония и дихромат калия обеспечивают наилучшие показатели огнестойкости ткани. Об этом свидетельствует длительность огневого воздействия на образцы и отсутствие прогорания изнаночной стороны полотна.

Во всех случаях для образцов с ПВХ-покрытием при горении наблюдалось окрашивание пламени в зеленый цвет, что является качественной реакцией на атомы хлора, которые образуются в результате термического воздействия на поливинилхлорид.

Таким образом, результаты испытаний полученных образцов на огнестойкость показали, что ПВХ-пленки с использованными наполнителями обладали интумесцентными свойствами и обеспечивали защиту ткани от воздействия открытого пламени в течение

времени, необходимого по требованиям ГОСТ 11209-2014.

На следующем этапе работы с целью обоснования механизма действия наполнителей на огнезащитные свойства материала был проведен синхронный термический анализ, совмещенный с масс-спектрометрией. Данный метод позволяет одновременно получить ТГ- и ДСК-кривые и определить качественный состав различных газообразных продуктов разложения испытуемых материалов.

На рис. 1 и 2 представлены результаты, полученные для исходного образца «авизента» (рис. 1), и образца с ПВХ-покрытием, не содержащем наполнителя (рис. 2), где показаны

кривые потери массы (ТГ-кривые) и кривые ДСК процесса термоокислительной деструкции.

При сравнительном анализе кривых, характеризующих потерю массы образцов, обращает на себя внимание тот факт, что на начальном этапе процесса термоокислительной деструкции в диапазоне температур 50–200 °С у исходного образца убыль массы составляет 3,10 %, а у образца с ПВХ-покрытием – 1,47 %. Как уже неоднократно отмечалось [1-3, 4], это связано с тем, что ПВХ-пленка, а впоследствии ее расплав, препятствует удалению кондиционной влаги из хлопкового волокна.

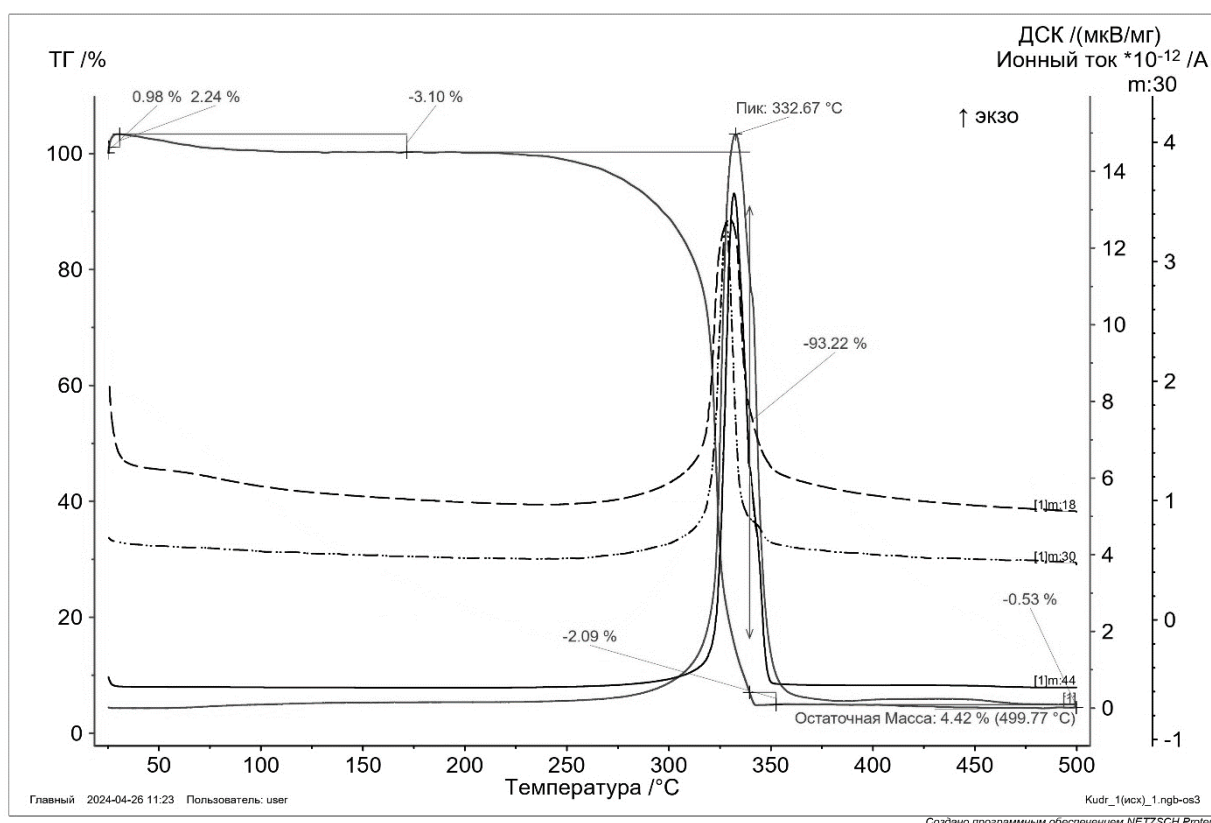


Рис. 1. Результаты термического анализа исходного «авизента» (образец 1)

Кроме этого, ТГ-кривая образца 1 демонстрирует более резкое снижение массы в диапазоне температур 300–340 °С. При температуре 350 °С наблюдается полная термоокислительная деструкция целлюлозного волокна. Количество зольного остатка при этом составляет 4,42 %. Термогравиметрическая кривая образца 2 имеет более плавный ход и две точки перегиба, соответствующие температурам 312,2 °С и 430,0 °С. Полная термоокислительная деструкция материала, более сложного по

своему химическому составу, происходит при температуре 440–470 °С, а зольный остаток составляет 5,38 %. Появление двух пиков на ДСК-кривой образца с ПВХ-покрытием можно объяснить следующим образом. Целлюлозный материал в совокупности с ПВХ-полимером обладает более высокой термической устойчивостью, поскольку первоначально разложению подвергается ПВХ-покрытие, имеющее более низкую термостойкость, а деструкция макромолекул волокнообразующего полимера «притор-

маживается». Об этом свидетельствует тот факт, что при температуре 312,2 °С наблюдается максимальное выделение продуктов разложения ПВХ – хлороводорода в смеси с атомарным хлором, которые идентифицированы по молекулярной массе их ионных осколков (36 а.е.м.), а также второй пик на ДСК-кривой, свидетельствующий об изменении фазового состояния вещества. Полная термоокислительная деструкция образца 2, сопровождающаяся выделением низкомолекулярных продуктов и

образованием зольного остатка, и совпадает со вторым пиком на ДСК-кривой, появляющимся при температуре 433,73 °С. Наличие третьего пика на кривой теплового потока при 465,53 °С свидетельствует о процессах полного окисления низкомолекулярных продуктов разложения целлюлозы: монооксида углерода до его диоксида (44 а.е.м.), метаналь (формальдегида) (30 а.е.м.) – до воды (18 а.е.м.) и диоксида углерода.

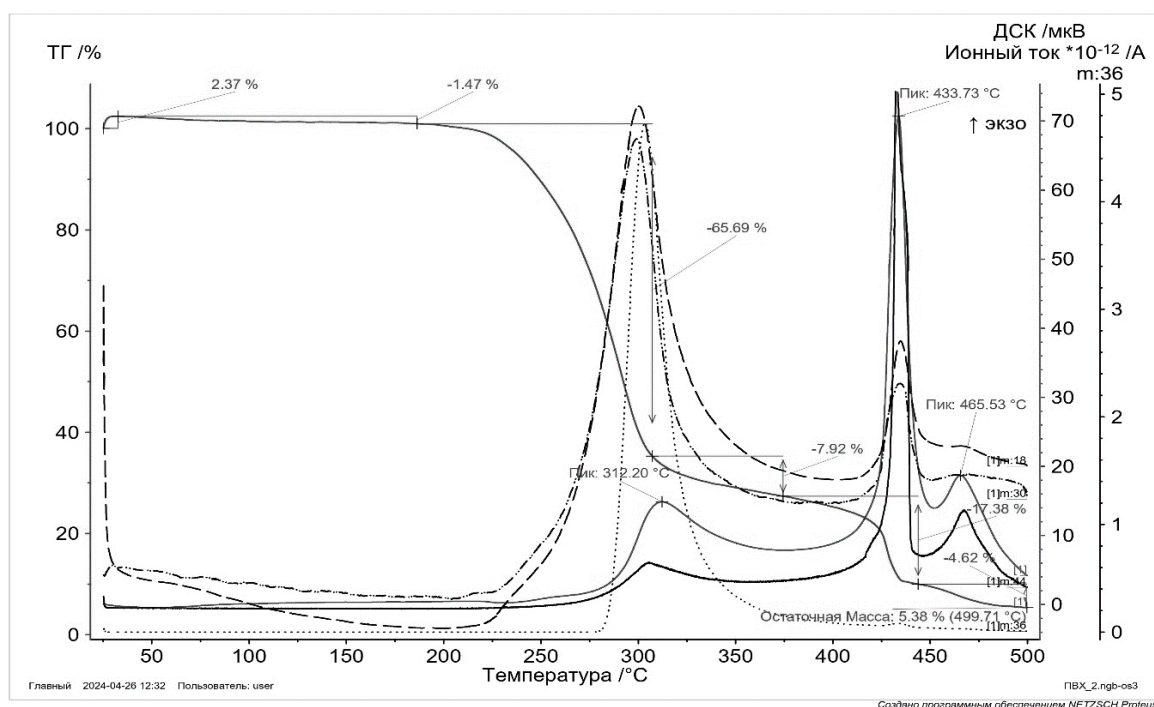


Рис. 2. Результаты термического анализа «авизента» с ПВХ-покрытием (образец 2)

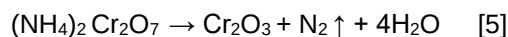
Рассмотрим результаты действия наполнителей, введенных в ПВХ-пленку, на ее способность к образованию огнезащитного интумесцентного слоя в результате воздействия высоких температур.

На рис. 3 приведены ТГ- и ДСК-кривые для образца 3, содержащего в качестве наполнителя ПВХ-пленки дихромат аммония.

Как и в случае с образцом 2, имеющем полимерное покрытие, ТГ-кривая образца 3 показывает аналогичный характер убыли массы и две точки перегиба; также наблюдаются два пика на ДСК-кривых, что отражает особенности процесса термоокислительной деструкции двухслойного целлюлозного материала с ПВХ-покрытием.

Основной отличительной особенностью при термолитизе образца 3 является значительный выход газообразного азота (28 а.е.м.),

который образуется в результате термического разложения наполнителя – дихромата аммония по известной реакции:



Сопоставляя результаты экспериментов, полученных с помощью метода термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией, и испытаний по адаптированной методике ГОСТ 11209-2014 (таблица 2), можно сделать вывод о том, что в случае использования дихромата аммония в качестве наполнителя, он выполняет функцию и вспучивающего агента, и антипирена. Этот факт связан с тем, что выделяющийся азот вспучивает углеродный слой, образующийся в результате термодеструкции поливинилхлорида и диоктилфталата, и одновременно приводит к самозатуханию мате-

риала, поскольку является ингибитором горения. Таким образом, вспученный углеродный слой – «коксовая шапка» – имеет значительный объем, характеризующийся коэффициентом вспучивания 168–170. Значительное увеличение количества зольного остатка (13,10 %) связано с наличием в продуктах разложения оксида хрома (III) Cr_2O_3 .

Разложение дихромата калия, являющегося наполнителем композиционного материала, которым покрыт образец 4, сопровождается выделением большого количества газообразного кислорода²:

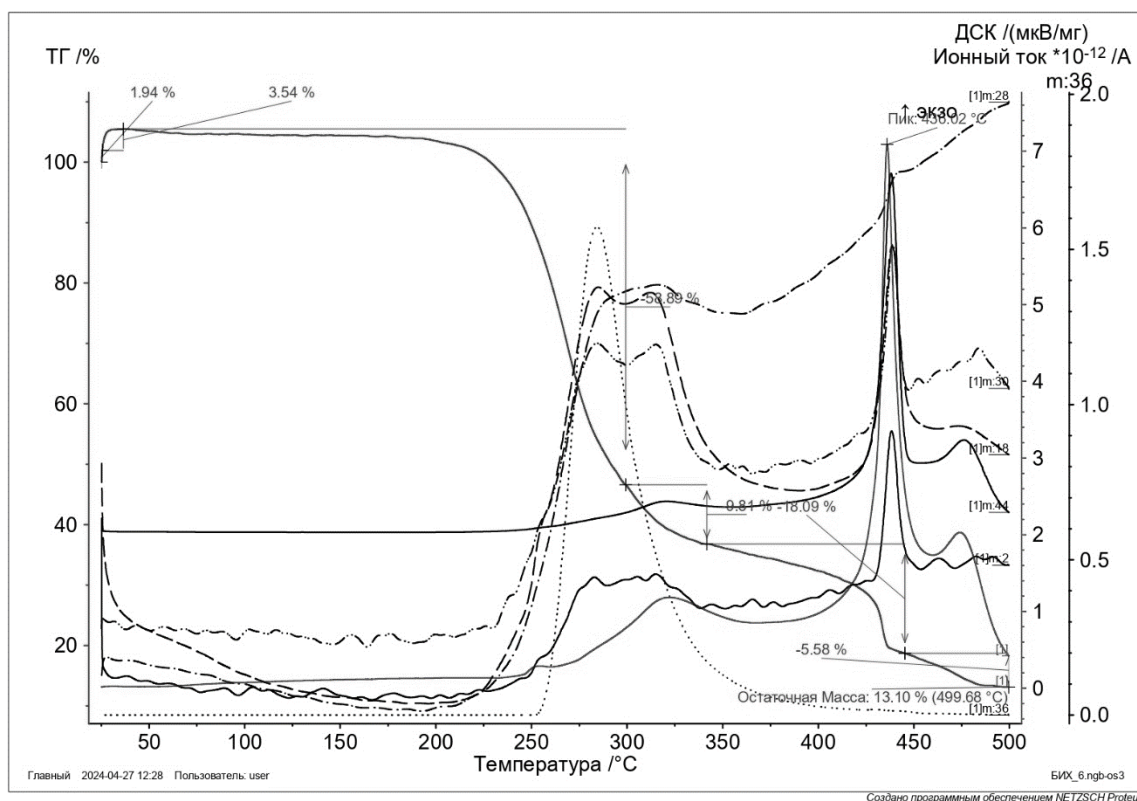


Рис. 3. Результаты термического анализа «авизента» с ПВХ-покрытием, содержащим дихромат аммония (образец 3)

При этом также наблюдается образование «коксовой шапки» с коэффициентом вспучивания 188–190. Следует отметить, что выделяющийся кислород в данном случае приводит к термоокислительной деструкции ПВХ с выделением хлороводорода, постепенно снижая степень его полимеризации и участвуя в образовании значительного по объему углеродного «барьера». Таким образом, термоокисление ПВХ представляет собой цепной радикальный процесс, где ключевую роль играют взаимодействие с кислородом, автокатализ выделяющейся HCl и влияние сопутствующих компонентов, таких как пластификаторы [6]. Имеются

данные [7], что с введением пластификаторов в ПВХ и увеличением их содержания скорость термоокислительного дегидрохлорирования полимера возрастает, при этом наиболее высокая скорость деструкции полимера наблюдается в присутствии ДОФ.

На рис. 4 приведены данные, полученные для «авизента» с ПВХ-покрытием, содержащим шунгит (образец 5). В данном случае зольный остаток составляет 14,92 % за счет большого количества углерода, содержащегося в шунгите, который и образует защитный углеродный слой на поверхности ткани. Коэффициент вспучивания в данном случае составляет

² Химические свойства соединений хрома https://chemrise.ru/theory/inorganic_11/rules_chromium_11

96–100. Вспучивание полимерной пленки происходит, как и в предыдущем случае, за счет действия хлороводорода, выделяющегося в процессе гидротермальной деструкции ПВХ. Вода, участвующая в процессе гидротермальной деструкции ПВХ, выделяется при термическом воздействии на шунгит.

В дополнение к вышеописанным частным случаям необходимо отметить, что для

всех рассмотренных двухслойных материалов с ПВХ-покрытиями, содержащими наполнители (образцы 3,4,5), увеличение объема интумесцентного состава происходит также за счет постепенного разложения поливинилхлорида и появления в системе гидротермальной воды, замещающей атомы хлора в ПВХ на гидроксильные группы, и дальнейшего разложения ПВХ на углерод и пары воды [3].

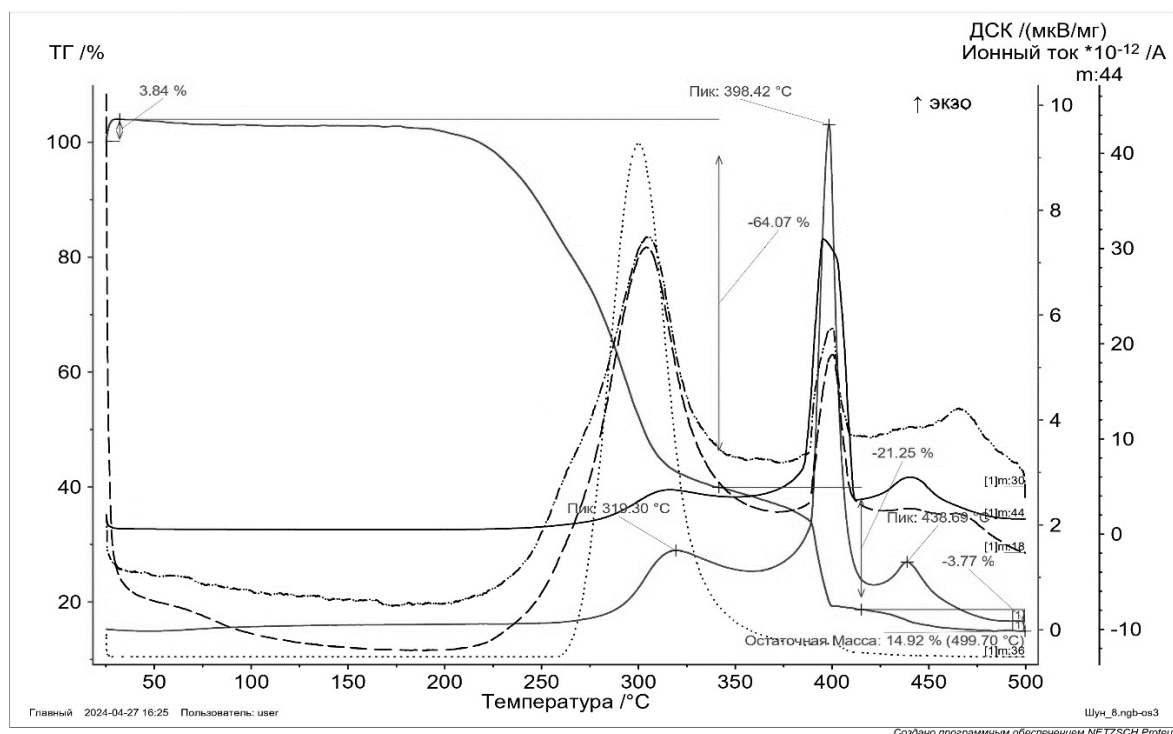


Рис. 4. Результаты термического анализа «авизента» с ПВХ-покрытием, содержащим шунгит (образец 5)

Таким образом, научное обоснование механизмов действия изученных наполнителей не противоречит имеющимся в литературе данным [6-8]. Термолиз полимерных материалов происходит в результате расщепления ковалентных связей в молекуле химического соединения, в результате чего образуются свободные радикалы, ионы или молекулы других химических веществ. Для любого вещества существует своя температура, при которой происходит его термолитическое разложение. В случае ПВХ-покрытия указанная температура лежит в диапазоне 280–310 °C. В этом же диапазоне температур, судя по ТГ-кривым, начинается и разложение дихроматов аммония и калия, входящих в состав ПВХ полимерной пленки. Также известно, что механизм вспучивания огне-

защитных покрытий состоит из следующих стадий [8,9]:

1) выделение неорганической кислоты, способствующей этерификации карбонизирующихся материалов (полиолов) при 185–215 °C в зависимости от вида производного кислоты. В нашем случае роль неорганической кислоты выполняет водный раствор хлороводорода, компоненты которого выделяются в процессе термолиза ПВХ.

2) этерификация полиола в присутствии выделившейся кислоты, которая происходит при температуре несколько выше температуры первой стадии; в присутствии аминов реакция ускоряется и завершается при более низкой температуре. В нашем случае после отщепления от макромолекул ПВХ атомов хлора, сопровождающегося замещением на OH– группы,

полимер частично превращается в многоатомный спирт (полиол). Дихромат аммония при термическом разложении выделяет азот, являющийся ингибитором процесса горения, этим можно объяснить снижение температуры разложения ПВХ-пленки, содержащей указанный наполнитель, в более низкую область температур.

3) плавление смеси компонентов вспучивающегося покрытия. ПВХ-покрытия образцов 3, 4 и 5, содержащие различные наполнители, начинают плавиться при температуре 230–280 °С, в отличие от «чистого» ПВХ-покрытия с температурой плавления 250–300 °С.

4) химические превращения образующегося полиола в присутствии неорганической кислоты вследствие дегидратации, в результате чего образуются углеродно-неорганические структуры, которые в дальнейшем участвуют в процессах коксования. В случае с интумесцентным ПВХ-покрытием отщепление молекул воды от образовавшегося полиола и взаимодействие их с продуктами разложения наполнителей приводит к образованию объемной углеродно-неорганической пористой структуры – «коксовой шапки».

Приведенное деление механизма вспучивания на стадии условно, поскольку на практике все описанные процессы при огневом воздействии протекают практически одновременно. Если говорить в целом, то механизм образования коксового слоя сводится к вспучиванию карбонизирующейся массы газообразными продуктами, выделяющимися при разложении ПВХ-

покрытия, а также водяным паром, образующимся в результате дегидратации полиола. Отверждение вспученной массы заканчивается в момент завершения процессов коксования.

Выводы

1. На основании проведенного исследования и сопоставления полученных результатов с литературными данными дано научное объяснение механизма огнезащитного действия композиционных материалов на основе ПВХ и неорганических наполнителей. Механизм основан, главным образом, на действии коксового слоя в качестве физического барьера, снижающего тепло- и массопереносы от газовой фазы к конденсированной.

2. Термопластичность «базового» полимера интумесцентного слоя обуславливает поглощение им горючих газообразных продуктов термолитиза компонентов композиции (в частности, азота), тем самым затрудняя попадание газообразных веществ в пламенную зону. Выделяющийся в результате деструкции ПВХ хлороводород в смеси с атомарным хлором также способствует процессу самозатухания пламени на полимерном покрытии.

3. Вспучивание ПВХ-композиций с наполнителями происходит за счет образующихся газов, таких как хлороводород, диоксид углерода, пары воды (в частных случаях дополнительно азот), которые проходя через нагретые слои коксового слоя, значительно охлаждают его, отводя тем самым значительную долю тепловой энергии.

Список литературы

1. Проблемные вопросы придания текстильным материалам специальных защитных свойств / С. А. Сырбу, О. Г. Циркина, А. Х. Салихова [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 133–140.

2. Разработка полимерных композиций для снижения горючести тканей технического назначения / О. Г. Циркина, С. А. Сырбу, Н. А. Торшнина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 4 (412). С. 136–146.

3. Влияние наполнителей ПВХ-покрытия целлюлозосодержащих текстильных материалов на эффективность их огнезащиты / С. А. Сырбу, О. Г. Циркина, Н. Н. Колесникова [и др.] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2025. № 2 (416). С. 181–195.

4. Разработка огнезащитных композиций для обивочных мебельных тканей / О. Г. Циркина, А. Х. Салихова, С. А. Сырбу

[и др.] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1 (409). С. 122–130.

5. Петров И. Я., Трясунов Б. Г., Котлярова Е. С. Исследование состава и структуры продуктов температурно-программированного разложения бихромата аммония на воздухе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2003. № 1 (32). С. 64–72.

6. Плотникова Р. Н., Попова Л. В. Термоокислительная стабильность ПВХ-композиций, модифицированных бромсодержащим пластификатором-антипиреном // Пластические массы. 2024. № 2. С. 29–31.

7. Термическая и термоокислительная устойчивость поливинилхлорида пластифицированного диоктилтерефталатом / Р. М. Ахметханов, В. П. Захаров, Л. А. Мазина [и др.] // Вестник Башкирского университета. 2017. Т. 22. № 4. С. 991–996.

8. Балакин В. М., Полищук Е. Ю. Азот-фосфорсодержащие антипирены для древесины и древесных композиционных материалов

(литературный обзор) // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 2. С. 43–51.

9. О роли и превращениях компонентов огнезащитных вспучивающихся лакокрасочных композиций в процессе термоллиза / О. А. Зыбина, А. В. Варламов, Н. С. Чернова [и др.] // Журнал прикладной химии. 2009. Т. 82. № 9. С. 1445–1449.

References

1. Problemnye voprosy pridaniya tekstil'nykh materialam special'nykh zashchitnykh svoystv [Problematic issues of imparting special protective properties to textile materials] / S. A. Syrбу, O. G. Cirkina, A. Kh. Salihova [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 2 (47), pp. 133–140.

2. Razrabotka polimernykh kompozitsij dlya snizheniya goryuchesti tkanej tekhnicheskogo naznacheniya [Development of polymer compositions to reduce the flammability of technical fabrics] / O. G. Cirkina, S. A. Syrбу, N. A. Torshinina [et al.]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2024, vol. 4 (412), pp. 136–146.

3. Vliyanie napolnitelej PVH-pokrytiya cellyulozosoderzhashchih tekstil'nykh materialov na ehffektivnost' ih ognezashchity [The influence of fillers of PVC coating of cellulose-containing textile materials on the efficiency of their fire protection] / S. A. Syrбу, O. G. Cirkina, N. N. Kolesnikova [et al.]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2025, vol. 2 (416), pp. 181–195.

4. Razrabotka ognezashchitnykh kompozitsij dlya obivochnykh mebel'nykh tkanej [Development of fire-retardant compositions for upholstery fabrics] / O. G. Cirkina, A. Kh. Salihova, S. A. Syrбу [et al.]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2024, vol. 1 (409), pp. 122–130.

5. Petrov I. Ya., Tryasunov B. G., Kotlyarova E. S. Issledovanie sostava i struktury produktov temperaturno-programmirovannogo razlozheniya bihromata ammoniya na vozduhe [Study of the composition and structure of the products of temperature-programmed decomposition of ammonium dichromate in air]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2003, vol. 1 (32), pp. 64–72.

6. Plotnikova R. N., Popova L. V. Termookislitel'naya stabil'nost' PVH-kompozitsij, modifitsirovannykh bromsoderzhashchim plastifikatorom-antipirenom [Thermal-oxidative stability of PVC composites modified with a brominated plasticizer-flame retardant]. *Plasticheskie massy*, 2024, issue 2, pp. 29–31.

7. Termicheskaya i termookislitel'naya ustojchivost' polivinilhlorda plastifitsirovannogo dioktiltereftalatom [Thermal and thermal-oxidative stability of polyvinyl chloride plasticized with dioctyl terephthalate] / R. M. Ahmethanov, V. P. Zaharov, L. A. Mazina [et al.]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2017, vol. 22, issue 4, pp. 991–996.

8. Balakin V. M., Polishchuk E. Yu. Azot-fosforsoderzhashchie antipireny dlya drevesiny i drevesnykh kompozitsionnykh materialov (literaturnyj obzor) [Nitrogen-phosphorus-containing flame retardants for wood and wood composite materials (literature review)]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2008, vol. 17, issue 2, pp. 43–51.

9. О роли и превращениях компонентов огнезащитных вспучивающихся лакокрасочных композиций в процессе термоллиза [On the role and transformations of components of fire-retardant intumescent paint and varnish compositions during the thermolysis process] / O. A. Zyбина, A. V. Varlamov, N. S. Chernova [et al.]. *Zhurnal prikladnoj himii*, 2009, vol. 82, issue 9, pp. 1445–1449.

Клушин Алексей Николаевич

Главное управление МЧС России по Краснодарскому краю,
Российская Федерация, г. Краснодар
начальник

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

соискатель ученой степени

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru

Klushin Alexey Nikolaevich

The Main Directorate of the Russian Ministry of Emergency Situations in the Krasnodar Territory,
Russian Federation, Krasnodar

head of the Main Directorate

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

applicant for an academic degree

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru

Циркина Ольга Германовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

доктор технических наук, профессор, доцент

E-mail: ogtsirkina@mail.ru

Tsirkina Ol'ga Germanovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

doctor of technical sciences, professor, associate professor

E-mail: ogtsirkina@mail.ru

Сырбу Светлана Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

доктор химических наук, профессор

E-mail: syrbue@yandex.ru

Syrbu Svetlana Alexandrovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

doctor of chemistry sciences, professor

E-mail: syrbue@yandex.ru

Спиридонова Вероника Гербертовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук

E-mail: nika.spiridonowa@yandex.ru

Spiridonova Veronika Herbertovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: nika.spiridonowa@yandex.ru

Салихова Аниса Хамидовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент

E-mail: salina_77@mail.ru

Salikhova Anisa Khamidovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: salina_77@mail.ru