

УДК 699.812

DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-36-43

Разработка органоминеральной огнезащитной композиции на основе жидкого стекла и эпоксидной смолы

А. И. Попугаев, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Г. И. Яковлев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. Ф. Гордина, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Д. Р. Хазеев, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Т. А. Плеханова, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Проблема защиты металлических и деревянных конструкций является одной из приоритетных в пожарной безопасности. Одним из наиболее эффективных и доступных способов придания огнестойкости различным материалам служит окраска их огнезащитными лакокрасочными материалами. В связи с этим в данной области ведутся разработки огнезащитных составов и покрытий с пониженной горючестью. Наиболее перспективными являются огнезащитные лакокрасочные материалы, образующие покрытия интумесцентного типа. Данные лакокрасочные материалы образуют на защищаемой поверхности пенококсовый слой. Данная работа посвящена исследованиям, направленным на разработку новых вспучивающихся покрытий на основе органоминеральной матрицы, отличающихся невысокой себестоимостью, сравнимыми с аналогами эксплуатационными параметрами и оказывающих огнезащитное воздействие при защите древесины и металлических конструкций при возникновении пожара.

В работе рассмотрены основные компоненты огнезащитных вспучивающихся покрытий. Подобран состав огнезащитной композиции, включающий органический и минеральный компоненты. Рассмотрена технология изготовления образцов с необходимыми соотношениями массовых долей компонентов смеси. Проведено исследование с помощью методов термического анализа (дифференциально-термический и термогравиметрический) экспериментального образца со следующим составом: эпоксидная смола ЭД-20 – 58,82 масс. %, полифосфат аммония – 17,65 масс. %, хризотил-асбест – 11,76 масс. %, сухое калиевое стекло – 5,88 масс. %, отвердитель полиэтиленполиамин (ПЭПА) – 5,88 масс. %. Определено влияние компонентов огнезащитной композиции на процесс коксообразования, степени горючести и выделения дыма. Приведены результаты физико-химических исследований огнестойкого композиционного материала. Определено направление дальнейшего усовершенствования огнезащитной композиции.

Ключевые слова: снижение горючести, интумесцентные материалы, огнезащитное вспучивающееся покрытие, пенококсовый слой, эпоксидная смола, минеральное вяжущее.

Введение

Актуальность темы

В настоящее время, как в России, так и за рубежом, для целей огнезащиты производится широкая гамма вспучивающихся (интумесцентных) огнезащитных покрытий. Лучшие вспучивающиеся краски имеют коэффициент вспучивания до 40...50 раз и при толщине защитного покрытия менее 1 мм обеспечивают 2-ю и 3-ю группы огнезащитной эффективности (ГОСТ Р 53295–2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности). Это позволяет достичь требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций (см. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ).

Огнезащитные лакокрасочные материалы интумесцентного типа – это многокомпонент-

ные системы. Основными компонентами являются органические гидроксилсодержащие соединения с большим содержанием углерода, неорганические кислоты или вещества, выделяющие углекислоту при 100...250 °С, органические или неорганические соединения, способные при термическом разложении выделять значительное количество негорючих газов [1]. Также в состав вводят дополнительные минеральные компоненты, позволяющие уменьшить относительное содержание горючей составляющей огнезащитного покрытия, влияют на его теплофизические характеристики, а также условия тепло- и массообмена при горении [2].

Огнезащитное действие интумесцентных (вспенивающихся) покрытий заключается в том, что под воздействием высоких температур они образуют плотный теплоизолирующий вспененный слой кокса (пенококса), который служит барьером, препятствующим передаче тепла от

пламени к объекту защиты [3]. Основными параметрами, влияющими на огнезащитную эффективность, выступают теплофизические свойства образованного теплоизолированного слоя [4, 5].

Эффективное образование пенококсового слоя у данных видов покрытий достигается только при наличии в их составе ряда специальных обязательных компонентов, а также в оптимальном количественном соотношении между ними.

Обычно по своим функциям основные компоненты огнезащитных вспенивающихся покрытий (ОВП) подразделяются на следующие группы:

- пленкообразователи (например, стирол-акриловые и ПВА-дисперсии, эпоксидные и кремнийорганические смолы);
- карбонизирующиеся соединения (образователь «скелета» пенококса) – источники углерода (пентаэритрит, дипентаэритрит и др.);
- фосфорсодержащие соединения (обычно полифосфаты аммония) – катализаторы процесса коксообразования;
- вспенивающие агенты – газообразователи, порофоры (меламин, мочевины и др.);
- гидроксиды алюминия, магния, бората цинка – водосодержащие наполнители (Техно-импекс. Огнезащитные материалы. Классификация, применение. URL: <https://teh-impex.ru/primenenie/ognezashhitnye-materialy.-klassifikaciya.-primenenie>).

Данные лакокрасочные материалы образуют на защищаемой поверхности пенококсовый карбонизированный слой, обладающий низкой теплопроводностью. Преимуществами таких материалов перед другими средствами огнезащиты являются: небольшой вес и толщина покрытия, относительно низкая трудоемкость при нанесении, ремонтпригодность и вибростойкость, а также хорошие декоративные качества. Кроме того, огнезащитные лакокрасочные материалы можно применять как в открытых, так и закрытых помещениях, в условиях широкого диапазона температур и под воздействием различных производственных факторов [6].

Терморасширяющиеся лакокрасочные материалы бывают безрастворные (на основе смол или олигомеров), водорастворимые и растворяющиеся в органических разбавителях или растворителях (уайт-спирите, сольвенте, толуоле, ксилоле, бутилацетате).

Водорастворимые составы имеют следующие преимущества: нетоксичны, технологичны, образуют покрытия с огнестойкостью до 120...150 минут, эффективны при пожарах, про-

текающих по целлюлозному типу. Основной недостаток – при пожарах углеродного типа со стремительным нарастанием температуры такие покрытия не успевают превратиться в защитный слой и разрушаются. Водорастворимые огнезащитные краски подходят для использования внутри помещений. При пониженных температурах и высокой влажности такие материалы склонны к охрупчиванию и отслоениям, их развитая микропористость приводит к постепенному вымыванию вспенивающих добавок [7].

Защитные покрытия на органических растворителях более эффективны при пожарах углеродного типа, способны долго прослужить при любой погоде и влажности, не вызывают коррозию металлических поверхностей.

Терморасширяющиеся краски на основе эпоксидных составов отличаются высокими эксплуатационными свойствами: хорошей работой при углеродном типе горения, устойчивостью к сложным климатическим условиям (рабочие температуры от -60 до $+60$ °C) и повышенной влажности, устойчивостью к агрессивным средам, долговечностью. Массовое применение эпоксидных пожарозащитных составов ограничивается высокой стоимостью и относительно сложной технологией нанесения.

Из минеральных вяжущих во вспучивающихся красках наиболее часто используется растворимое стекло, представляющее собой твердые водорастворимые стекловидные силикаты натрия и калия. Жидкое натриевое стекло $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, в качестве связующего компонента ценно такими свойствами, как экологическая чистота производства и применения, негорючесть и нетоксичность [8]. При этом важной характеристикой, определяющей прочностные свойства покрытия, является адгезия. Жидкое стекло как основа огнезащитных композиций с многолетней практикой применения в качестве связующего соответствует требованиям по экологии, сырьевой обеспеченности и возможности применения низкзатратных технологий [9–12]. Растворимое стекло обладает высокой температуроустойчивостью и является одним из наиболее перспективных и доступных вяжущих для изготовления огнезащитных составов с высокой адгезией ко многим материалам.

Известен состав теплозащитного покрытия, представляющий собой термозащитную краску (Патент № 2245350 Российская Федерация. Термозащитная краска), содержащую наполнитель, связующее и добавки. В качестве наполнителя используются вакуумированные (полые) керамические или корундовые микросферы

с диаметром частиц от 3 до 100 мкм и насыпной плотностью 300...400 кг/м³. Данное покрытие обладает недостаточной устойчивостью к воздействию высоких температур (рабочая температура покрытия не превышает 250 °С) и недостаточно высокими теплофизическими свойствами – теплопроводностью, тепловосприятием и теплоотдачей. Увеличение количества полых микросфер ухудшает адгезионные свойства, снижает плотность покрытия, повышая эффективность его теплозащитных свойств [13, 14]. При этом для производства микросфер различных типов необходимо специальное оборудование, что усложняет технологию производства и приводит к значительному повышению стоимости покрытия.

Известно также огнезащитное покрытие, выполненное в виде наноструктурированного материала. Покрытие содержит пористый каркас, образованный углеродными наноструктурами с инкапсулированными в них атомами металла, или металлов с различными физико-химическими свойствами (Патент № 2366745. Российская Федерация. Огнетеплозащитное покрытие и установка для его получения). Проведенные исследования показывают, что введение углеродных наноструктур в матрицу огнезащитных вспучивающихся покрытий (ОВК) приводит к увеличению термической стабильности огнезащитного состава, плотности ОВК за счет nanoармирования, тем самым уменьшению количества микротрещин, которые приводят к повышению скорости окислительно-восстановительной деструкции, а также усиливают адгезионную прочность покрытия [15–18]. Недостатком таких ОВК является высокая стоимость покрытия.

Одним из новых огнезащитных покрытий является огнезащитное покрытие на основе оксида графена и галлуазитовых нанотрубок [19]. Наполнение покрытия гибридным оксидом графена/галлоизитом значительно повышает прочность сцепления между материалом покрытия и металлом. Покрытие обладает высокой термической стабильностью. Недостатком является также высокая стоимость покрытия.

Таким образом, проведенный анализ составов в области получения вспучивающихся (интумесцентных) огнезащитных покрытий показал, что актуальным направлением исследований является разработка композиций на основе органической матрицы, отличающейся доступностью, невысокой себестоимостью и сравнимой с аналогами эксплуатационными параметрами.

Цель исследования – разработка органической огнезащитной композиции на основе жидкого стекла и эпоксидной смолы с дисперсными добавками, имеющими повышенную стабильность и однородность при огневом воздействии.

Выбор компонентов обусловлен постоянно меняющейся ситуацией на рынке. С учетом этого необходимо расширить номенклатуру отечественных огнезащитных материалов, понизить их стоимость и исключить из рецептуры дефицитные компоненты, заменив их наиболее простыми в изготовлении, дающими возможность механизированного нанесения.

Разработка огнестойкой композиции

В процессе разработки композиции и оптимизации состава было изготовлено 6 экспериментальных образцов (табл. 1), содержащих следующие компоненты:

- в качестве пленкообразователя в огнезащитной композиции выступала эпоксидная смола ЭД-20 (58,82...73,53 масс. %), марка PolyMax, высший сорт, технические характеристики которой соответствуют требованиям ГОСТ 10587–84 «Смолы эпоксидно-диановые. Технические условия»;
- для отверждения применялся полиэтиленполиамин (5,88...7,94 масс. %), марка PolyMax, структурная формула $H_2N[-CH_2CH_2NH-]_nH_2$;
- полифосфат аммония (7,35...17,65 масс. %), химическая формула $(NH_4PO_3)_n$ ($n > 1000$);
- минеральное вяжущее – сухое калиевое стекло (5,88...6,67 масс. %) и сухое натриевое стекло (5,88...7,35 масс. %);
- стабилизатор пенококса – хризотил-асбест (4,41...11,76 масс. %) сорта 7-370 Баженовского месторождения, соответствующий требованиям ГОСТ 12871–2013 «Хризотил. Общие технические условия».

Предварительно хризотил-асбест измельчали до 100 мкм при помощи истирателя дискового ИД 200. Сухие компоненты смеси – полифосфат аммония, хризотил-асбест, сухое стекло – тщательно перемешивали. В эпоксидной смоле ЭД-20 растворяли отвердитель и добавляли смесь сухих компонентов и тщательно перемешивали до получения однородной массы. Полученный состав наносили шпателем слоем 1,0...1,2 мм на металлические пластины 100×100×3 мм и оставляли на 24 ч (рис. 1).

На следующем этапе была установлена огнестойкость полученных экспериментальных образцов огнезащитной композиции. В лаборатор-

ных условиях проводились испытания огнезащитной композиции при помощи газовой горелки. Воздействие пламени горелки на образец

длилось 1,0 минуту. После воздействия пламени определялись: горючесть, наличие дыма, образование пенококсового слоя.

Таблица 1. Состав образцов огнезащитной композиции

Table 1. Composition of samples of fire retardant composition

Компоненты	Содержание компонентов, масс. % в составе					
	1	2	3	4	5	6
ЭД-20	73,53	79,37	68,42	66,67	58,82	58,82
ПФА	7,35	7,94	13,16	13,33	17,65	17,65
Хризотил-асбест	4,41	4,76	5,26	6,67	11,76	11,76
Сухое натриевое стекло	7,35	0,00	6,58	0,00	5,88	0,00
Сухое калиевое стекло	0,00	0,00	0,00	6,67	0,00	5,88
ПЭПА	7,35	7,94	6,58	6,67	5,88	5,88



Рис. 1. Образец огнезащитной композиции, нанесенной на металлическую пластину после 24 ч твердения

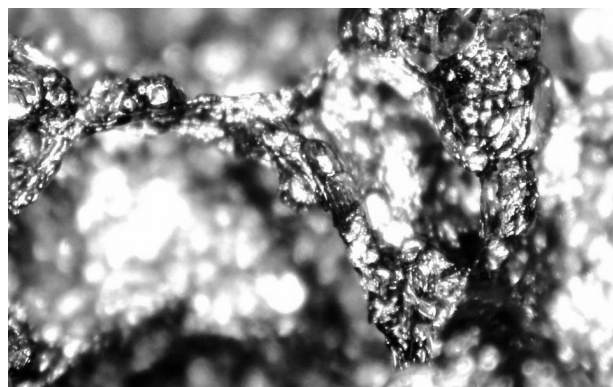
Fig. 1. Sample of flame retardant composition applied to a metal plate after 24 h of hardening

На рисунке 2 приведены примеры коксообразования покрытия после огневого воздействия и структура пенококсового слоя.

По результатам исследования шести опытных образцов выявлено, что при содержании полифосфата аммония 17,65 % при визуальном осмотре наблюдается уменьшение степени горючести материала и выделение дыма. Также проведено исследование влияния сухого натриевого и калиевого стекла на процесс коксообразования. Влияние оценивалось после испытания экспериментальных образцов огнезащитной композиции с одинаковым содержанием в процентном соотношении сухого натриевого и калиевого стекла соответственно. При визуальном осмотре установлено, что наиболее эффективное влияние на процесс коксообразования оказывает сухое натриевое стекло при содержании 7,35 % в огнезащитной композиции; сухое калиевое стекло оказывает значительно меньший эффект.



a



b

Рис. 2. Огнезащитное покрытие: а – образовавшийся пенокок; б – структура пенококсового слоя (×200)

Fig. 2. Fire retardant coating: a - formed coke foam; b - structure of the foam coke layer (×200)

Также проведено исследование с помощью методов термического анализа (ДТА и ТГ) образца № 6 со следующим составом: эпоксидная смола ЭД-20 – 58,82 масс. %, полифосфат аммония – 17,65 масс. %, хризотил-асбест – 11,76 масс. %, сухое калиевое стекло – 5,88 масс. %, отвердитель полиэтиленполиамин (ПЭПА) – 5,88 масс. %.

Термограммы исследуемого образца представлены на рисунке 3.

Дифференциально-термический и термогравиметрический анализы проводились в воздуш-

ной среде на дериватографе TGA/DSC-1 фирмы Mettler Toledo. Диапазон составил 50...1000 °С, скорость нагрева образца – 30 °С/мин.

Первая стадия связана с термическим разложением полифосфата аммония и длится вплоть до 260 °С. Характерные особенности:

- начало выделения газообразных продуктов (аммиака и воды) при 100 °С, максимальная скорость выделения достигается при температуре примерно 230...240 °С;

- потеря массы в финале стадии при 260 °С не превышает 3 % [20].

Выход из массы летучих продуктов (аммиака и воды) свидетельствует об образовании свободных кислых гидроксильных групп.

Вторая стадия имеет место в интервале температур 260...400 °С, в дополнение к газообразным продуктам формируются циклические структуры, а общая потеря массы достигает примерно 40 %.

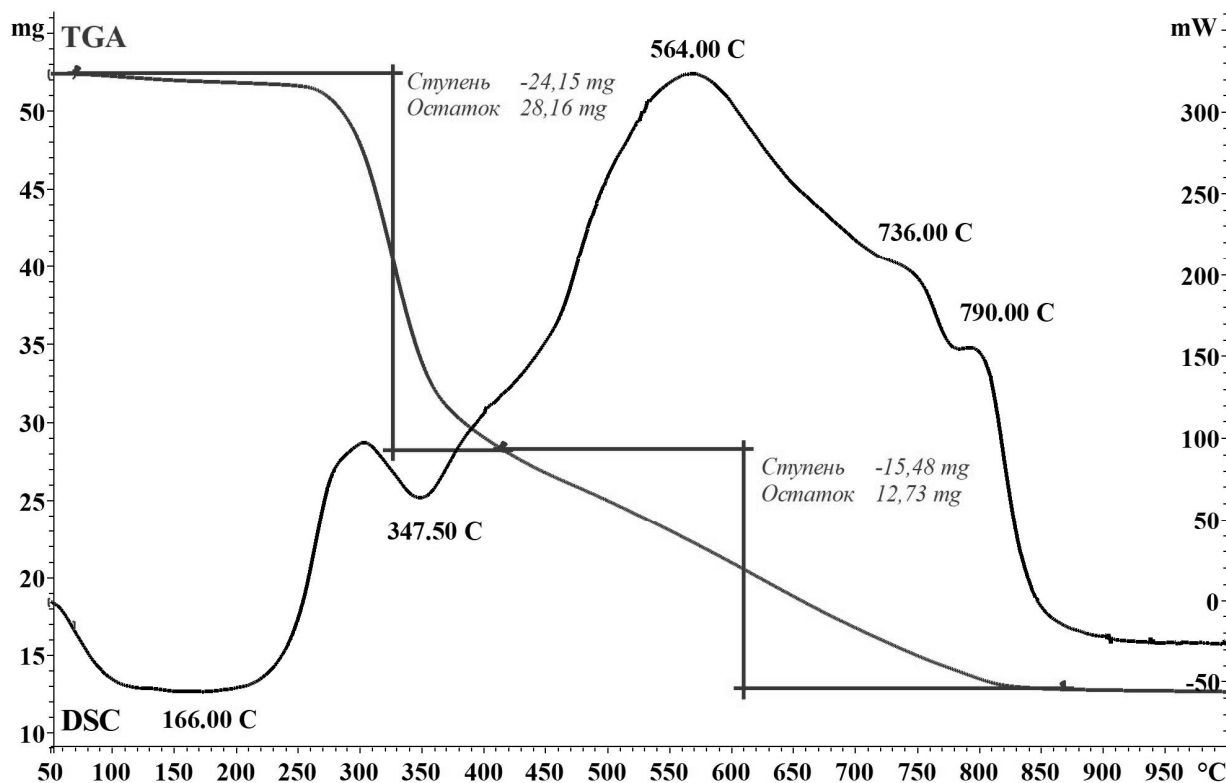


Рис. 3. ДТА и ТГА состава № 6

Fig. 3. DSC and TGA of composition No. 6

Каскад экзотермических пиков при температуре 564, 736 и 790 °С обусловлен пиролизом эпоксидной смолы, что приводит к снижению массы еще примерно на 30 %. Остаток после горения составляет около 23 % от первоначальной массы.

Горючесть эпоксидной смолы обусловлена тем, что продуктами термодеструкции являются летучие продукты, содержащие значительное количество горючих соединений. Таким образом, для повышения огнезащитной эффективности данной композиции необходимо уменьшение процентного соотношения горючих компонентов и увеличение содержания минерального наполнителя, что приведет к повышению теплоемкости, уменьшению скорости потери массы и, как следствие, увеличению коксового остатка.

Результаты исследования и выводы

Подобран состав органоминеральной огнезащитной композиции с определенным процентным соотношением компонентов. Изготовлено 6 экспериментальных образцов и проведены исследования влияния компонентов покрытия на образования пенококсового слоя.

Выполнены дифференциально-термический и термогравиметрический анализы образца № 6 в воздушной среде на дериватографе TGA/DSC-1 фирмы Mettler Toledo.

Данные проведенных испытаний показывают, что разработанная огнезащитная композиция на основе эпоксидной смолы, минерального вяжущего и дисперсных добавок с учетом дальнейшей модификации может применяться в качестве защитного покрытия для строитель-

ных конструкций с целью повышения огнестойкости и снижения пожарной опасности.

Использование дальнейших практических разработок для улучшения огнезащитной композиции путем продолжения оптимизации состава покрытия позволит расширить номенклатуру отечественных огнезащитных материалов, исключив дорогие и дефицитные материалы.

Библиографические ссылки

1. Машляковский Л. Н., Лыков А. Д., Репкин В. Ю. Органические покрытия пониженной горючести. Л. : Химия, 1989. 280 с.
2. Пути совершенствования огнезащитных терморасширяющихся составов для использования на объектах нефтегазового комплекса / О. В. Беззапонная, Е. В. Головина, А. Ю. Акулов, А. В. Калач, С. В. Шапаров, Е. В. Калач // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26, № 12. С. 14–24.
3. Бардина О. И., Коршак Ю. В., Василенко О. А. Исследование огнезащитных полимерных покрытий вспенивающегося типа // Химия и технология органических веществ. 2019. № 4(12). С. 25–32. DOI: 10.54468/25876724_2019_4_25
4. Ивахнюк Г. К., Столяров С. О., Дементьев Ф. А. Исследование эксплуатационных характеристик модифицированных огнезащитных покрытий на основе эпоксидных смол // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 4(52). С. 141–151.
5. Пинчевская Е. А., Цапко А. Ю. Оптимизация состава органической составляющей огнезащитного покрытия древесины // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1(216). С. 137–144.
6. Шакиров Н. Р., Абросимова Л. Ф., Шакирова О. Г. Двухкомпонентные огнезащитные лакокрасочные материалы интумесцентного типа на основе эпоксидных связующих // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 1(119). С. 101–106.
7. Натеева В. И., Кельдышева Л. И. Исследование вспучивающихся огнезащитных покрытий на основе водо- и органорастворимых пленкообразователей с дешевым наполнителем // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20, № 15. С. 50–53.
8. Устинов А. С. Метод нанесения огнезащитного композитного материала «жидкое стекло – микрочастицы графита» на поверхности ограждения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18, № 6. С. 1001–1007. DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-6-1001-1007
9. Белых С. А., Новоселова Ю. В. Техническая и экономическая эффективность инновационного огнезащитного покрытия для деревянных конструкций // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9, № 4(31). С. 704–715. DOI: 10.21285/2227-2917-2019-4-704-715
10. Гессе Ж. Ф., Петров А. В. Влияние концентрации жидкого стекла в огнезащитной пропитке на воспламеняемость древесины // Пожарная и аварийная безопасность. 2018. № 4(11). С. 8–16.
11. Огнезащита древесины с помощью состава на основе силиката / А. А. Козлитин, В. В. Лебедева, И. Н. Непочатых, О. В. Храпоненко // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2021. № 4(58). С. 56–64.
12. Козлитин А. А., Лебедева В. В., Непочатых И. Н. Покрытия на основе минерального связующего для огнезащиты деревянных конструкций // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2020. № 4(57). С. 26–32.
13. Кейбал Н. А., Каблов В. Ф., Немкин Д. Д. Огнезащитные покрытия на основе эпоксидной смолы, содержащие модифицированные микросферы // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2022. № 5(264). С. 33–38. DOI: 10.35211/1990-5297-2022-5-264-33-38
14. Sottikulov E.S., Jalilov A.T., Karimov M.U.U., Soatov S.U. (2021) Synthesis and study of the influence of the aluminosilicate microsphere on the physico-chemical properties of the foaming fire-resistant coating. Theoretical & Applied Science, no. 9, pp. 286–291. DOI: 10.15863/TAS.2021.09.101.25
15. Модификация тонкослойных огнезащитных покрытий многослойными углеродными нанотрубками: физико-технологические принципы и методика применения для объектов трубопроводного транспорта / А. В. Иванов, А. А. Боева, Ф. А. Дементьев, А. А. Рябов // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28, № 5. С. 39–50. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.39-50
16. Модификация тонкослойных огнезащитных покрытий многослойными углеродными нанотрубками: физико-технологические принципы и методика применения для объектов трубопроводного транспорта / А. В. Иванов, А. А. Боева, Ф. А. Дементьев, А. А. Рябов // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28, № 5. С. 39–50. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.39-50
17. Лоран Н. М., Циркина О. Г., Пустовалов И. А. Исследование эксплуатационных характеристик вспучивающегося огнезащитного покрытия, модифицированного углеродными наноструктурами // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 4(37). С. 104–110.
18. Исследование эксплуатационных характеристик огнезащитных покрытий на основе эпоксидных смол, модифицированных астраленами / А. В. Иванов, С. О. Столяров, Ф. А. Дементьев, А. П. Ферулев // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29, № 1. С. 55–68. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.55-68
19. Siti Maznah Kabeb, Azman Hassan, Zurina Mohamad, Zalilah Sharer, Faiz Ahmad (2022) Siti Maznah Kabeb. Intumescent flame retardant coating based graphene oxide and halloysite nanotubes. Materials Today: Proceedings, vol. 51, no. 2, pp. 1288–1292. ISSN 2214-7853
20. Аносова Е. Б., Треушков И. В., Ляшенко С. М. Исследование термических свойств современных лакокрасочных покрытий, используемых для защитных сооружений гражданской обороны // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2021. № 1(48). С. 11–17.

References

1. Mashljakovskij L.N., Lykov A.D., Repkin V.Ju. (1989) *Organicheskie pokrytija ponizhennoj gorjuchesti* [Organic coatings with reduced flammability]. Lenin-grad, Himija Publ., 280 p. (in Russ.).
2. Bezzaponnaya O.V., Golovina E.V., Akulov A.Y., Kalach A.V., Sharapov S.V., Kalach E.V. (2017) [Ways of improvement of fire-protective thermo-expanding compositions for use on objects of oil and gas complex]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, vol. 26, no. 12, pp.14-24 (in Russ.).
3. Bardina O.I., Korshak Yu.V., Vasilenko O.A. (2019) [Investigation of fire-protective polymer coatings of foaming type]. *Himija i tehnologija organicheskikh veshchestv*, no. 4, pp. 25-32 (in Russ.). DOI: 10.54468/25876724_2019_4_25
4. Ivakhnyuk G.K., Stolyarov S.O., Dementiev F.A. (2019) [Investigation of performance characteristics of modified fireproof coatings based on epoxy resins]. *Problemy upravleniya riskami v tehnosfere*, no. 4, pp. 141-151 (in Russ.).
5. Pinchevskaya E.A., Tsapko A.Yu. (2019) [Optimization of the composition of the organic component of fire retardant coating of wood]. *Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe hozjajstvo, prirodnopol'zovanie i pererabotka vostochnykh resursov*, no. 1 pp. 137-144 (in Russ.).
6. Shakirov N.R., Abrosimova L.F., Shakirova O.G. (2017) [Two-component flame retardant paint and varnish materials of intumescent type based on epoxy binders]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, no. 1, pp. 101-106 (in Russ.).
7. Nateeva V.I., Keldysheva L.I. (2017) [Investigation of blowing fireproof coatings based on water- and organosoluble film formers with cheap filler]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, vol. 20, no. 15, pp. 50-53 (in Russ.).
8. Ustinov A.S. (2018) [Method of application of fireproof composite material "liquid glass-microparticles of graphite" on the surface of the fence]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnykh tehnologij, mehaniki i optiki*, vol. 18, no. 6, pp. 1001-1007 (in Russ.). DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-6-1001-1007
9. Belykh S.A., Novoselova Yu.V. (2019) [Technical and economic efficiency of innovative fireproof coating for wooden structures]. *Izvestija vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*, vol. 9, no. 4, pp. 704-715 (in Russ.). DOI: 10.21285/2227-2917-2019-4-704-715
10. Hesse J.F., Petrov A.B. (2018) [Influence of liquid glass concentration in fireproof impregnation on the flammability of wood]. *Pozharnaja i avarijnaja bezopasnost'*, no. 4, pp. 8-16 (in Russ.).
11. Kozlitsin A.A., Lebedeva V.V., Nepochatykh I.N., Khraponenko O.V. (2021) [Fire protection of wood using silicate-based composition]. *Nauchnyj vestnik NIIGD Respirator*, no. 4, pp. 56-64 (in Russ.).
12. Kozlitsin A.A., Lebedeva V.V., Nepochatykh I.N. (2020) [Coatings based on mineral binder for fire protection of wooden structures]. *Nauchny Vestnik NIIGD Respirator*, no. 4, pp. 26-32 (in Russ.).
13. Keibal N.A., Kablov V.F., Nemkin D.D. (2022) [Fireproof coatings based on epoxy resin containing modified microspheres]. *Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, no. 5, pp. 33-38 (in Russ.). DOI: 10.35211/1990-5297-2022-5-264-33-38
14. Sottikulov E.S., Jalilov A.T., Karimov M.U.U., Soatov S.U. (2021) Synthesis and study of the influence of the aluminosilicate microsphere on the physico-chemical properties of the foaming fire-resistant coating. *Theoretical & Applied Science*, no. 9, pp. 286-291. DOI: 10.15863/TAS.2021.09.101.25
15. Ivanov A.V., Boeva A.A., Dementyev F.A., Ryabov A.A. (2019) [Modification of thin-layer flame retardant coatings with multilayer carbon nanotubes: physical and technological principles and methodology of application for pipeline transportation facilities]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, vol. 28, no. 5, pp. 39-50 (in Russ.). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.39-50
16. Ivanov A.V., Boeva A.A., Dementyev F.A., Ryabov A.A. (2019) [Modification of thin-layer flame retardant coatings with multilayer carbon nanotubes: physical and technological principles and methodology of application for pipeline transportation facilities]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, vol. 28, no. 5, pp. 39-50 (in Russ.). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.39-50
17. Loran N.M., Tsirkina O.G., Pustovalov I.A. (2020) [Investigation of operational characteristics of blowing flame retardant coating modified by carbon nanostructures]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, no. 4, pp. 104-110 (in Russ.).
18. Ivanov A.V., Stolyarov S.O., Dementiev F.A., Ferulev A.I. (2020) [Investigation of operational characteristics of fireproof coatings based on epoxy resins modified with astralenes]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, vol. 29, no. 1, pp. 55-68 (in Russ.). DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.55-68
19. Siti Maznah Kabeb, Azman Hassan, Zurina Mohamad, Zalilah Sharer, Faiz Ahmad (2022) Siti Maznah Kabeb. Intumescent flame retardant coating based graphene oxide and halloysite nanotubes. *Materials Today: Proceedings*, vol. 51, no. 2, pp. 1288-1292. ISSN 2214-7853
20. Anosova E.B., Treushkov I.V.V., Lyashenko S.M. (2021) [Investigation of thermal properties of modern paint coatings used for protective structures of civil defense]. *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity*, no. 1, pp. 11-17 (in Russ.).

Development of Organic-Mineral Fireproofing Composition Based on Liquid Glass and Epoxy Resin

A.I. Popugaev, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

G.I. Yakovlev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A.F. Gordina, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

D.R. Khazeev, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

T.A. Plekhanova, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The problem of metal and wooden structure protection is one of the priority areas in fire safety. One of the most effective and affordable ways to make various materials fire-resistant is painting them with flame retardant paint and varnish materials. In this regard, in this area, the development of flame-retardant compositions and coatings with reduced flammability is underway. The most promising are flame retardant paint and varnish materials forming intumescent type coatings. These paint and varnish materials form a foam coated layer on the protected surface. This work is devoted to the research aimed at the development of new intumescent coatings based on organic-mineral matrix, characterized by low cost, comparable with analogues operational parameters and having a flame-retardant effect in the protection of wood and metal structures in case of fire.

The paper considers the main components of flame-retardant intumescent coatings. The flame-retardant composition including organic and mineral components is selected. The technology of manufacturing samples with the necessary component mass fraction ratios in the mixture is considered. The research with the help of thermal analysis methods (differential-thermal and thermogravimetric) of the experimental sample with the following composition: epoxy resin ED-20 – 58.82 mass %, ammonium polyphosphate – 17.65 mass %, chrysotile asbestos - 11.76 mass %, dry potassium glass – 5.88 mass %, hardener polyethylene polyamine (PEPA) – 5.88 mass % has been carried out. The effect of flame-retardant composition components on the process of coke formation, degree of combustibility and smoke emission has been determined. The results of physical and chemical studies of the flame-retardant composite material are given. Ways of further flame-retardant composition improvement are determined.

Keywords: flammability reduction, intumescent materials, flame retardant blowing coating, foam coke layer, epoxy resin, mineral binder.

Получено 08.12.2023

Образец цитирования

Разработка органоминеральной огнезащитной композиции на основе жидкого стекла и эпоксидной смолы / А. И. Попугаев, Г. И. Яковлев, А. Ф. Гордина, Д. Р. Хазеев, Т. А. Плеханова // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2024. Т. 27, № 1. С. 36–43. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-36-43

For Citation

Popugaev A.I., Yakovlev G.I., Gordina A.F., Khazeev D.R., Plekhanova T.A. (2024) [Development of Organic-Mineral Fireproofing Composition Based on Liquid Glass and Epoxy Resin]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 36-43 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-36-43