

Научная статья

УДК 614.841.2.001.2; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-140-148

ИОННОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ В ЭКСПЕРТИЗЕ ПОЖАРОВ

✉ Принцева Мария Юрьевна;

Теплякова Татьяна Дмитриевна.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ printseva75@mail.ru

Аннотация. Огнезащита конструкций, а также повышение огнестойкости металлических конструкций является важной задачей при снижении потерь от пожаров. Одним из распространенных способом повышения огнестойкости конструкции является нанесение на нее вспучивающегося огнезащитного покрытия. В настоящее время в экспертной практике стали чаще ставиться вопросы об установлении наличия или отсутствия огнезащиты на конструкциях. Рассмотрена возможность применения метода ионной хроматографии с целью определения присутствия огнезащитных компонентов в покрытии и установления состава огнезащитного покрытия. Исследование проводилось на трех огнезащитных вспучивающихся покрытиях с разными связующими. Для исследования были выбраны два способа пробоподготовки: исследование непосредственно водных растворов вспучивающихся покрытий и исследование водных растворов газов, выделяющихся при термической деструкции покрытий. Приведены хроматограммы водных растворов исследуемых покрытий, указывающие на присутствие ионов, образующихся при гидролизе огнезащитных компонентов. Результаты исследования показали, что оба способа имеют как достоинства, так и недостатки и могут применяться при подготовке к анализу методом ионной хроматографии для исследования огнезащитных вспучивающихся покрытий.

Ключевые слова: ионная хроматография, огнезащита, вспучивающиеся покрытия, металлические конструкции, пожарно-техническая экспертиза

Для цитирования: Принцева М.Ю., Теплякова Т.Д. Ионнохроматографическое исследование огнезащитных вспучивающихся покрытий в экспертизе пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 2 (70). С. 140–148. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-140-148.

Scientific article

IONNOCHROMATOGRAPHIC EXAMINATION OF FIRE RETARDANT COATINGS IN FIRE EXAMINATION

✉ Printseva Maria Yu.;

Teplyakova Tatiana D.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ printseva75@mail.ru

Abstract. Fire protection of structures, as well as increasing the fire resistance of metal structures is an important task in reducing losses from fires. One common way to improve the fire resistance of a structure is to apply an intumescent flame retardant coating to the structure. Currently, expert practice has more often raised questions about establishing the presence or absence of fire protection on structures. The article considers the possibility of using the method of ion chromatography in order to determine the presence of fire-retardant components

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2024

in the coating and determine the composition of the fire-retardant coating. The study was conducted on three flame retardant intumescent coatings with different binders. Two sample preparation methods were selected for the study: the study of directly aqueous solutions of intumescent coatings and the study of aqueous solutions of gases released during thermal destruction of coatings. Chromatograms of aqueous solutions of the tested coatings are given, indicating the presence of ions of fire-retardant components formed during hydrolysis. The results of the study showed that both methods have both advantages and disadvantages and can be used in preparation for analysis by ion chromatography to study flame retardant intumescent coatings.

Keywords: ion chromatography, fire protection, intumescent coatings, metal structures, fire and technical expertise

For citation: Printseva M.Yu., Teplyakova T.D. Ionochromatographic examination of fire retardant coatings in fire examination // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 2 (70). P. 140–148. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-140-148.

Введение

Огнезащитные вспучивающие покрытия (ОВП) – это покрытия, которые обеспечивают огнестойкость и приводят к снижению пожарной опасности конструкции. Многие конструкции сгорают при пожаре, многие не переносят огня и высоких температур, которые достигаются на пожаре. По официальной статистике МЧС России, в нашей стране каждый год происходит около 400 тыс. пожаров [1]. Пожары приводят к гибели людей, причиняют вред здоровью и приносят большой материальный ущерб, что требует проведения мероприятий для уменьшения возникновения и развития пожара. Одним из способов является нанесение ОВП на конструкции [2–6]. В настоящее время в экспертной практике стали чаще ставиться вопросы об установлении наличия или отсутствия огнезащиты на конструкциях.

Для обнаружения и исследования огнезащитных вспучивающихся составов в судебно-экспертной практике применяются методы термического анализа, инфракрасной спектроскопии, рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии [7–10]. Метод термического анализа также используются и как метод диагностики и идентификации нанесенного ОВП сертифицированному огнезащитному составу по температурам их термических эффектов [11].

В состав большинства ОВП входят три основных группы огнезащитных компонентов [2, 3]:

- коксообразователи (чаще всего это многоатомные спирты, такие как: пентаэритрит, триэтиленгликоль и др.);
- катализаторы (неорганические и органические кислоты, такие как: фосфорная и борная кислота, полифосфат аммония, соли фосфорной и борной кислоты и др.);
- вспенивающие агенты (органические амины или амиды (мочевина, дициандиамид и др.), некоторые неорганические соли, способные при термическом разложении выделять значительное количество негорючих газов, например, карбонаты щелочных металлов и аммонийные соли).

Многие огнезащитные компоненты, входящие в состав ОВП (например, аммонийные соли, карбонаты щелочных металлов, неорганические кислоты и т.д.), относятся к водорастворимым соединениям, а значит, могут быть обнаружены методом ионной хроматографии или капиллярного электрофореза.

Ионная хроматография относится к одному из видов жидкостной хроматографии и включает в себя ионообменное разделение ионов и кондуктометрическое определение концентрации разделенных ионов. Метод позволяет определять как неорганические, так и органические ионы и относится к одному из самых чувствительных, селективных и воспроизводимых методов обнаружения ионов [12–14]. Ионная хроматография используется в большинстве случаев для исследования водных растворов. Пробоподготовка для проведения ионохроматографического анализа не составляет сложности и включает в основном

фильтрацию и разбавление растворов. Метод ионной хроматографии получил распространение в судебно-экспертной практике при обнаружении и исследовании огнезащитных составов для древесины, а также для исследования пирофорных составов [15, 16].

Кроме огнезащитных компонентов в состав ОВП входят полимерные связующие (пленкообразователи), на основе которых формируется композиция в целом. Пленкообразователи представляют собой высокомолекулярные соединения, обладающие склонностью к карбонизации и образованию кокса при высоких температурах. Для огнезащиты применяют ОВП на основе акриловых полимеров и сополимеров, меламино- и карбамидадегидных смол, эпоксидных смол, поливинилацетата, полиуретанов, сополимеров винилхлорида и др. ОВП на основе перечисленных пленкообразователей представляют собой растворы в органических растворителях или в водных дисперсиях. В работе исследовались ОВП на разных связующих (органорастворимых и водноразбавляемых).

Целью работы было проведение исследований по выявлению возможности использования высокочувствительного метода ионной хроматографии в экспертных исследованиях для обнаружения огнезащитных компонентов в различных по составу ОВП.

Методы исследования

Для исследования были выбраны ОВП на основе водной акриловой дисперсии (ОВП1), акрилового сополимера на органическом растворителе (ОВП2) и эпоксидной смолы на органическом растворителе (ОВП3).

Предполагалось, что ОВП на основе органических растворителей будут плохо растворимы в воде, поэтому исследование проводилось в два этапа. На первом этапе ОВП1-3 измельчались, растворялись в деионизованной воде и фильтровались, а на втором этапе исследовались водные растворы газовых фаз, образующихся при термоокислительной деструкции ОВП.

Для приготовления водных растворов использовался 1 г мелкоизмельченного ОВП, который разбавлялся в 100 мл деионизованной воды, перемешивался и фильтровался сначала через фильтры «черная лента» и «синяя лента», а затем для очистки от органических компонентов неионной природы применялась установка для твердофазной экстракции. Очистка от органических компонентов является обязательным этапом для исследования ОВП, так как компоненты ОВП существенно сокращают срок службы предколонки и аналитических колонок.

Для получения водных растворов газовых фаз, образующихся при термоокислительной деструкции исследуемых ОВП1-3, применялся метод термического анализа. Абсорбцию газов производили при помощи поглотительного прибора Зайцева, который присоединялся при помощи силиконового шланга к газовыпускному клапану прибора термического анализа NETZSCH STA 449 F3 Jupiter (Германия). Термоокислительная деструкция проводилась при температуре от 30 до 900 °С и скорости нагрева 20 °С/мин, в атмосфере воздуха, в керамических тиглях.

Для определения ионного состава водных растворов исследуемых ОВП использовался ионный хроматограф «Стайер» с кондуктометрическим детектором CD-510 в комплекте с колонками для определения катионов и анионов. Для обнаружения анионов применялась защитная колонка «STARION A300» и аналитическая колонка «STARION A300» 100x4,6 мм, состав элюента: раствор натрия углекислого концентрации 1,8 ммоль/л и натрия углекислого кислого концентрации 1,7 ммоль/л. Для подавления фоновой электропроводности использовался подавитель: 2,5 мл концентрированной серной кислоты на 1 000 мл раствора. Для обнаружения катионов I группы применялась аналитическая колонка «AQUILINE C1 P» 150x4,6 мм, состав элюента: раствор азотной кислоты концентрации 0,004 моль/л. Разделение и детектирование анионов проводилось при температуре термостатирования 30 °С со скоростью элюирования 1,5 мл/мин, объем петли 100 мкл. Для приготовления растворов использовалась деионизованная вода.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1, 2 и в табл. 1 приведен ионный состав водных растворов исследуемых ОВП1 и ОВП2, а также ионный состав лакокрасочного покрытия на акриловой основе. Исследования ОВП3 на эпоксидной основе не проводилось, так как данное покрытие не являлось водорастворимым.

Как видно, в водных растворах ОВП1 присутствуют в значительном количестве ионы аммония (146,99 мг/л) и фосфат-ионы (53,883 мг/л). Кроме того, в экстракте присутствуют хлорид- и бромид-ионы, а также незначительное количество (не более 5 мг/л) катионов натрия, калия и сульфат-ионы. Присутствие в экстракте значительного количества фосфат-иона и иона аммония говорит о присутствии огнезащитных компонентов в исследуемом покрытии, таких как: азотсодержащие и азотфосфорсодержащие соединения, которые при растворении в воде гидролизуются с образованием фосфат-ионов и иона аммония. Наличие хлорид- и бромид-ионов также может указывать на присутствие огнезащитных компонентов в ОВП, в частности, галогенсодержащих антипиренов.

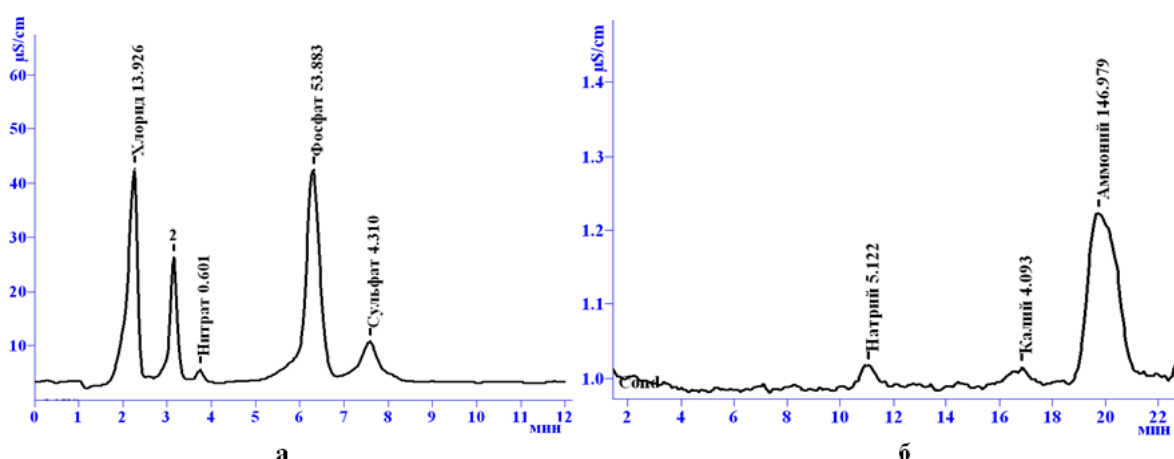


Рис. 1. Хроматограмма водного раствора ОВП1: а – анионный состав; б – катионный состав

В растворе ОВП2 в значительном количестве присутствует бромид-ион (37,162 мг/л) и ион аммония (66,168 мг/л) и в незначительном количестве – ионы калия, натрия, хлорид-, сульфат- и фосфат-ионы. Наличие ионов аммония, фосфат и бромид-ионов может говорить о присутствии галогенсодержащих, азотсодержащих и азотфосфорсодержащих огнезащитных компонентов в ОВП2.

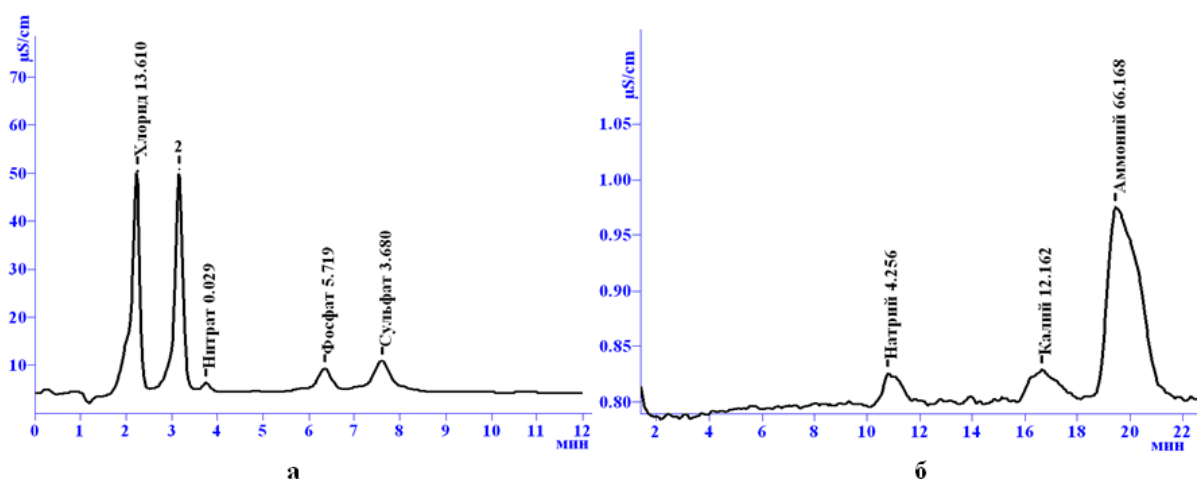


Рис. 2. Хроматограмма водного раствора ОВП2: а – анионный состав; б – катионный состав

При исследовании лакокрасочного покрытия на акриловом связующем без огнезащитных компонентов (проба сравнения) в экстракте были обнаружены следовые количества (до 1,5 мг/л) иона натрия и фосфат-иона, а также в незначительном количестве (до 5 мг/л) – ион аммония и хлорид-ион.

Таблица 1

Ионный состав водных растворов ОВП1, ОВП2 и лакокрасочного покрытия на акриловом связующем

Покрытие	Концентрация катионов, мг/л			Концентрация анионов, мг/л			
	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Br ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
ОВП1	5,122	4,093	146,979	13,926	17,177	4,310	53,883
ОВП2	4,256	12,162	66,168	13,61	37,162	3,680	5,719
Акриловое связующее	–	0,222	3,831	3,321	–	–	1,308

Так как исследование методом ионной хроматографии покрытий на разных видах связующих ограничено ввиду плохой растворимости, например, покрытий на эпоксидном связующем, то в качестве альтернативного способа пробоподготовки в работе была рассмотрена абсорбция газов, выделяющихся при термической деструкции ОВП на разной основе и с разным видом связующего.

На рис. 3, 4 и в табл. 2 представлен ионный состав водных растворов газов, выделяющихся при термической деструкции исследуемых ОВП1-3 и лакокрасочных покрытий на основе акрилового и эпоксидного связующего без огнезащитных компонентов (пробы сравнения).

Из рис. 3–5 видно, что ионный состав ОВП1,2 включает в себя значительное количество иона аммония и бромид-ион, что, как указывалось выше, подтверждает присутствие огнезащитных компонентов в составе. Кроме того, как и в водных растворах ОВП1 в растворах газов, выделяющихся при деструкции данного покрытия, присутствует незначительное количество хлорид- и сульфат-ионов. Однако фосфат-ионы, присутствующие в водных растворах ОВП1,2 (рис. 1, табл. 1), отсутствуют в водных растворах газов, так как многие фосфаты не являются летучими веществами.

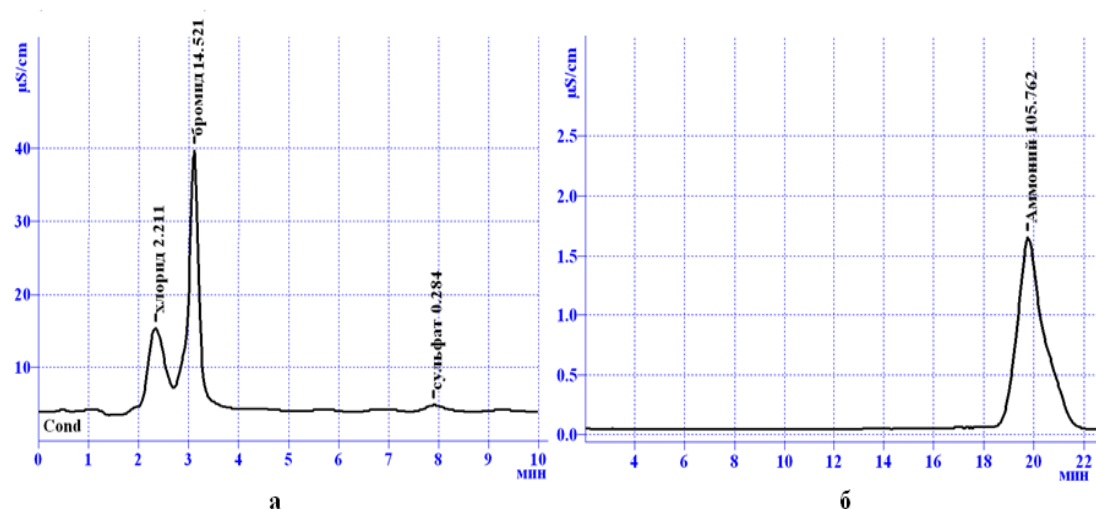


Рис. 3. Хроматограмма водных растворов газов, выделяющихся при термодеструкции ОВП1: а – анионный состав; б – катионный состав

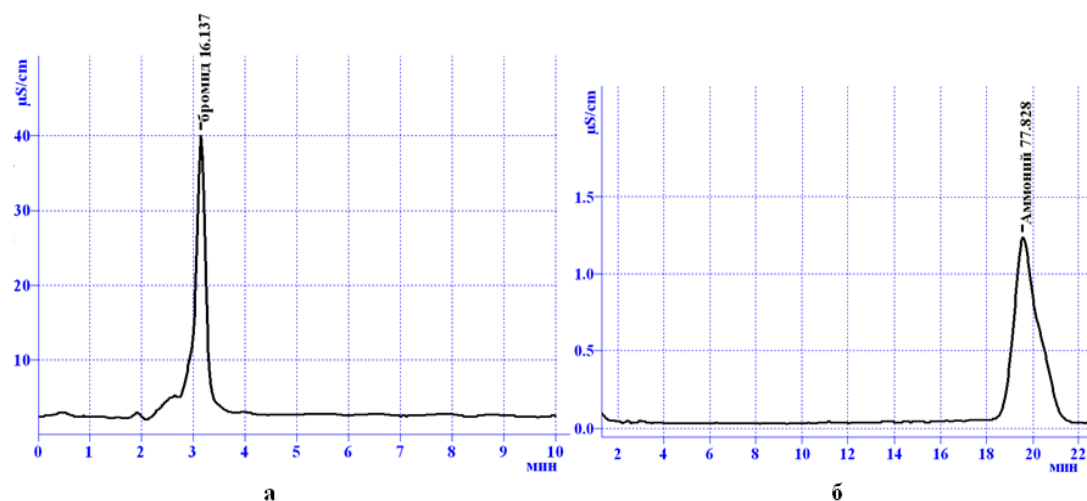


Рис. 4. Хроматограмма водных растворов газов, выделяющихся при термодеструкции ОВП2:
 а – анионный состав; б – катионный состав

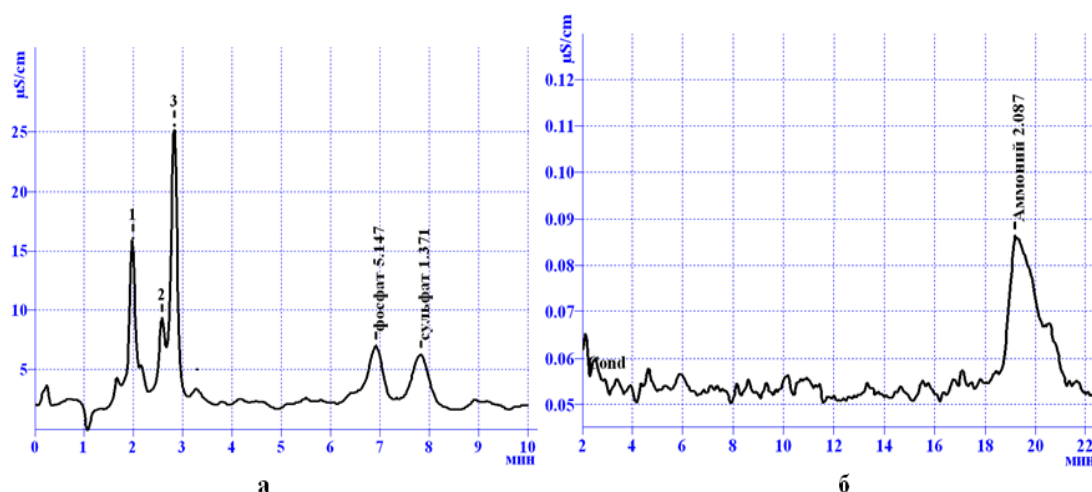


Рис. 5. Хроматограмма водных растворов газов, выделяющихся при термодеструкции ОВП3:
 а – анионный состав; б – катионный состав

Таким образом, можно предположить, что при исследовании методом ионной хроматографии ОВП с фосфорсодержащими и борсодержащими огнезащитными компонентами в составе при проведении такого способа пробоподготовки в большинстве своем фосфаты и бораты в растворе будут отсутствовать.

При ионохроматографическом исследовании водных растворов газов, выделяющихся при термодеструкции ОВП3, были обнаружены сульфат- и фосфат-ионы, что подтверждает присутствие серо- и фосфорсодержащих огнезащитных компонентов в исследуемом покрытии. В пробе сравнения (лакокрасочное покрытие на основе эпоксидного связующего) данные ионы отсутствовали. Незначительное количество обнаруженных ионов аммония и бромид-ионов, также, как и три неидентифицируемых иона, относятся к соединениям, выделяющимся при разложении самого эпоксидного связующего (табл. 2).

Таблица 2

Ионный состав водных растворов газов, выделяющихся при термической деструкции ОВП1-3 и лакокрасочных покрытий на акриловом и эпоксидном связующем

Покрытие	Концентрация катионов, мг/л			Концентрация анионов, мг/л				Неидентифицируемые пики, мин
	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Br ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	
ОВП1	–	–	105,762	2,211	14,521	0,284	–	
ОВП2	–	–	77,828	–	16,137	–	–	
ОВП3	–	–	2,087	–	0,466	1,371	5,147	1,95; 2,56; 2,81
Эпоксидная смола	–	–	4,656	–	0,53	–	–	1,95; 2,56; 2,81
Акриловое связующее	–	0,191	5,888	5,116		0,218	–	2,65

Заключение

Таким образом, в работе показано, что метод ионной хроматографии может применяться для обнаружения и анализа ОВП в экспертизе пожаров. Для исследования данным методом возможно использование двух способов пробоподготовки:

1. Исследование непосредственно водных растворов ОВП.
2. Исследование водных растворов газов, выделяющихся при термической деструкции ОВП.

Первый способ более простой, но ограничен по использованию тем, что в данном случае могут применяться ОВП, хотя бы частично растворимые в воде. При использовании второго способа пробоподготовки могут применяться любые ОВП, но компоненты на основе фосфора и бора, входящие в огнезащитные составы, могут не обнаруживаться методом ионной хроматографии ввиду плохой летучести. Как видно, оба эти способа имеют как достоинства, так и недостатки и могут применяться при подготовке к анализу методом ионной хроматографии. Однако для повышения информативности ионохроматографического метода при исследовании ОВП желательно применение двух способов пробоподготовки.

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информ.-аналит. сб. / В.С. Гончаренко [и др.]. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.
2. Павлович А.В., Дринберг А.С., Машляковский Л.Н. Огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия. М.: Изд-во «ЛКМ-пресс», 2018. 488 с.
3. Павлович А.В., Дринберг А.С. Состав и свойства огнезащитных вспучивающихся лакокрасочных покрытий. М.: ЛКМ-пресс, 2020. 400 с.
4. Andrea Lucherini, Cristian Malu. Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review // Journal of Constructional Steel Research. 2019. Vol. 162. P. 105712.
5. Benign design of intumescent fire protection coatings for steel structures containing biomass humic acid as carbon source / Jiaqing Zhang [et al.] // Construction and Building Materials. 2023. Vol. 403. P. 134001.
6. Improvement of methodology for assessing fire-protective efficiency of intumescent coatings applied on metal constructions / A. Ustinov [et al.] // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 320. P. 02009.

7. Применение термического анализа при исследовании и экспертизе пожаров: метод. рекомендации / Е.Д. Андреева [и др.]. М.: ВНИИПО МЧС России, 2013. 59 с.
8. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Лобатова О.В. Экспертное исследование огнезащитных вспучивающихся покрытий для металлоконструкций методом инфракрасной спектроскопии // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 2 (58). С. 104–109.
9. Исследование огнезащитных вспучивающихся покрытий при их эксплуатации методами рентгенофазового, термического анализ и ИК-спектроскопии / М.Ю. Умрихина [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2020. Т. 86. № 3. С. 25–31.
10. Исследование старения огнезащитных вспучивающихся покрытий методами СЭМ, XRD и ИК-спектроскопии / М.Ю. Умрихина [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29. № 5. С. 60–70.
11. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. М.: Стандартинформ, 2019. 19 с.
12. Шпигун О.А., Золотов Ю.А. Ионная хроматография и ее применение в анализе вод. М: Изд-во МГУ, 1990. С. 198.
13. Крылов В.А., Сергеев Г.М., Елипашева Е.В. Введение в хроматографические методы анализа: электр. учеб.-метод. комплекс. Н. Новгород: Нижегородский гос. ун-т, 2010. 91 с.
14. Pavel Nesterenko, Colin Poole, Yan Sun. Ion-Exchange Chromatography and Related Techniques. 644 p. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780443153693/ion-exchange-chromatography-and-related-techniques#book-description> (дата обращения: 23.01.2024).
15. Обнаружение и исследование зажигательных составов, применяемых при поджогах: метод. пособие / И.Д. Чешко [и др.]. М.: ВНИИПО МЧС России, 2012. 90 с.
16. Принцева М.Ю., Клаптюк И.В., Чешко И.Д. Экспертное исследование антипирированной древесины и ее обгоревших остатков: метод. рекомендации. СПб.: С.-Петербур. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 92 с.

References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2022 godu: inform.-analit. sb. / V.S. Goncharenko [i dr.]. Balashiha: VNIPO MCHS Rossii, 2023. 80 s.
2. Pavlovich A.V., Drinberg A.S., Mashlyakovskij L.N. Ognezashchitnye vspuchivayushchiesya lakokrasochnye pokrytiya. M.: Izd-vo «LKM-press», 2018. 488 s.
3. Pavlovich A.V., Drinberg A.S. Sostav i svojstva ognezashchitnyh vspuchivayushchihsya lakokrasochnyh pokrytij. M.: LKM-press, 2020. 400 s.
4. Andrea Lucherini, Cristian Malu. Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review // Journal of Constructional Steel Research. 2019. Vol. 162. P. 105712.
5. Benign design of intumescent fire protection coatings for steel structures containing biomass humic acid as carbon source / Jiaqing Zhang [et al.] // Construction and Building Materials. 2023. Vol. 403. P. 134001.
6. Improvement of methodology for assessing fire-protective efficiency of intumescent coatings applied on metal constructions / A. Ustinov [et al.] // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 320. P. 02009.
7. Primenenie termicheskogo analiza pri issledovanii i ekspertize pozharov: metod. rekomendacii / E.D. Andreeva [i dr.]. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2013. 59 s.
8. Cheshko I.D., Princeva M.Yu., Lobatova O.V. Ekspertnoe issledovanie ognezashchitnyh vspuchivayushchihsya pokrytij dlya metallokonstrukcij metodom infrakrasnoj spektroskopii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 2 (58). S. 104–109.
9. Issledovanie ognezashchitnyh vspuchivayushchihsya pokrytij pri ih ekspluatcii metodami rentgenofazovogo, termicheskogo analizov i IK-spektroskopii / M.Yu. Umrihina [i dr.] // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. 2020. T. 86. № 3. S. 25–31.

10. Issledovanie stareniya ognezashchitnyh vspuchivayushchihsya pokrytij metodami SEM, XRD i IK-spektroskopii / M.Yu. Umrihina [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2020. T. 29. № 5. S. 60–70.

11. GOST R 53293–2009. Pozharnaya opasnost' veshchestv i materialov. Materialy, veshchestva i sredstva ognezashchity. Identifikaciya metodami termicheskogo analiza. M.: Standartinform, 2019. 19 s.

12. Shpigun O.A., Zolotov Yu.A. Ionnyaya hromatografiya i ee primeneniye v analize vod. M: Izd-vo MGU, 1990. S. 198.

13. Krylov V.A., Sergeev G.M., Elipasheva E.V. Vvedeniye v hromatograficheskie metody analiza: elektr. ucheb.-metod. kompleks. N. Novgorod: Nizhegorodskij gos. un-t, 2010. 91 s.

14. Pavel Nesterenko, Colin Poole, Yan Sun. Ion-Exchange Chromatography and Related Techniques. 644 p. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780443153693/ion-exchange-chromatography-and-related-techniques#book-description> (data obrashcheniya: 23.01.2024).

15. Obnaruzheniye i issledovanie zazhigatel'nyh sostavov, primenyaemyh pri podzhogah: metod. posobie / I.D. Cheshko [i dr.]. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2012. 90 s.

16. Princeva M.Yu., Klapyuk I.V., Cheshko I.D. Ekspertnoye issledovanie antipirovannoj drevesiny i ee obgorevshih ostatkov: metod. rekomendacii. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. 92 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 06.02.2024; одобрена после рецензирования: 11.04.2024; принята к публикации: 18.04.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 06.02.2024; approved after review: 11.04.2024; accepted for publication: 18.04.2024

Информация об авторах:

Принцева Мария Юрьевна, заместитель начальника отдела исследовательского центра экспертизы пожаров научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: printseva75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1925-2334>, SPIN-код: 8517-0475

Теплякова Татьяна Дмитриевна, старший научный сотрудник исследовательского центра экспертизы пожаров научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ttd2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8951-3504>, SPIN-код: 1169-4348

Information about the authors:

Printseva Maria Yu., deputy head of the department of the research center for fire expertise of the scientific research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: printseva75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1925-2334>, SPIN: 8517-0475

Tepliyakova Tatyana D., senior researcher at the research center for fire expertise of the scientific research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: ttd2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8951-3504>, SPIN: 1169-4348