
ПОЖАРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 614.841.2.001.5; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-1-10

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ СОСТАВОВ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

✉ Принцева Мария Юрьевна;

Клаптюк Ирина Викторовна;

Теплякова Татьяна Дмитриевна.

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

✉ printseva75@mail.ru

Аннотация. Проведено исследование методом инфракрасной спектроскопии изменения химического состава в результате термической деструкции огнезащитных вспучивающихся покрытий на основе акрилового органорастворимого связующего, а также на основе винилового водорастворимого связующего. Установлены полосы поглощения, характерные для огнезащитных компонентов и связующих, входящих в исследуемые покрытия. Выбраны полосы поглощения, претерпевающие наиболее существенные изменения при температурах от 100 до 500 °С и рассчитаны оптические плотности выбранных полос. Используя отношение оптических плотностей выбранных полос поглощения, были рассчитаны спектральные критерии для каждой температуры, и построены градуировочные зависимости, позволяющие впоследствии использовать их для определения степени термических поражений исследуемых огнезащитных покрытий. Показано, что метод инфракрасной спектроскопии позволит решать вопросы, связанные с исследованием огнезащитных вспучивающихся покрытий и их остатков, образующихся в результате температурного воздействия на пожаре.

Ключевые слова: огнезащита, огнезащитные вспучивающиеся покрытия, интумесцентные покрытия, термическая деструкция, пожарно-техническая экспертиза, инфракрасная спектроскопия

Для цитирования: Принцева М.Ю., Клаптюк И.В., Теплякова Т.Д. Исследование процессов термической деструкции огнезащитных вспучивающихся составов методом инфракрасной спектроскопии // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 2. С. 1–10. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-1-10.

Scientific article

STUDY OF THERMAL DEGRADATION OF FIRE-RETARDANT INTUMESCENT COMPOSITIONS BY INFRARED SPECTROSCOPY

✉ Printseva Maria Yu.;

Klapyuk Irina V.;

Teplyakova Tatyana D.

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

✉ printseva75@mail.ru

Abstract. An infrared spectroscopy study of changes in chemical composition as a result of thermal destruction of flame-retardant bulging coatings based on an acrylic organo-soluble binder, as well as on a vinyl water-soluble binder, was carried out. Absorption bands characteristic of flame retardant components and binders included in the coatings under study have been established. The absorption bands undergoing the most significant changes at temperatures from 100 to 500 °C are selected and the optical densities of the selected bands are calculated. Using the ratio of the optical densities of the selected absorption bands, spectral criteria for each temperature were calculated and calibration dependences were constructed, which subsequently allowed them to be used to determine the degree of thermal damage to the studied flame retardant coatings. It is shown that the IR spectroscopy method will allow solving issues related to the study of flame-retardant bulging coatings and their residues formed as a result of temperature exposure in a fire.

Keywords: fireproofing, fireproof intumescent coatings, intumescent coatings, thermal destruction, fire-technical expertise, infrared spectroscopy

For citation: Printseva M.Yu., Klapyuk I.V., Teplyakova T.D. Study of thermal degradation of fire-retardant intumescent compositions by infrared spectroscopy // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 2. P. 1–10. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-1-10.

Введение

В настоящее время огнезащита строительных материалов вызывает активный интерес во всем мире в связи с увеличившимся количеством пожаров. Одним из способов огнезащиты металлоконструкций и древесины является применение огнезащитных вспучивающихся покрытий (ОВП) [1–3]. На строительном рынке существует большой выбор различных ОВП, отличающихся друг от друга составом огнезащитных компонентов и типом связующего в зависимости от предназначения покрытия.

На сегодняшний день компоненты, используемые для ОВП, подразделяют на три основные группы: коксообразователи, кислотные компоненты и вспенивающие агенты [4, 5]. В качестве коксообразователей применяют чаще всего многоатомные спирты (например, пентаэритрит, резорцин и др.) или органические гидроксисоединения (например, декстрин, крахмал и др.); в качестве кислотных компонентов применяют неорганические кислоты и вещества, выделяющие кислоту (например, фосфорная или борная кислота, полифосфат аммония, соли аммония и др.); в качестве вспенивающих агентов наиболее часто применяют различные органические амины и амиды (например, меламин, мочевины, гуанидин и др.).

Помимо огнезащитных компонентов, в состав ОВП входят пленкообразователи, пигменты, наполнители, консерванты, смачиватели, загустители, пластификаторы и другие добавки. По типу пленкообразователей ОВП принято делить на две группы – водо- и органорастворимые. Водорастворимые покрытия на основе водно-дисперсионных красок часто используются в закрытых и плохо проветриваемых помещениях, вследствие чего такие покрытия становятся восприимчивы к влажности. Органорастворимые покрытия не боятся

воды и увеличивают собственный предел огнестойкости металлоконструкции до 120 мин в условиях целлюлозного пожара. Их используют независимо от погоды, а материал легко наносится при любой влажности. В качестве связующего для ОВП могут использоваться практически все известные пленкообразователи. Наиболее распространёнными являются покрытия на акриловом и виниловом связующем. В связи с этим для исследования были выбраны два ОВП на основе акрилового органорастворимого связующего и на основе винилового водорастворимого связующего.

Огнезащитные вспучивающиеся материалы, также как и другие конструкционные материалы, часто являются объектом пожарно-технической экспертизы. В настоящее время все чаще в рамках пожарно-технической экспертизы на разрешение поступают вопросы, связанные с обнаружением ОВП на строительных конструкциях, установлением его состава, а также с определением соответствия нанесенного состава заявленному в технической документации. Данные вопросы по наличию ОВП могут относиться к строительным конструкциям как до пожара, так и после него. Поэтому обнаружение и исследование ОВП после термического воздействия является актуальной задачей, стоящей перед экспертами.

Для исследования огнезащитных покрытий в настоящее время применяются различные инструментальные методы исследования, такие как оптическая и сканирующая микроскопия, рентгенофазовый и термический анализ, а также метод инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопии) [6–11]. Однако эти исследования касаются в основном исходных или состаренных покрытий. Спектральные исследования по изучению химического состава ОВП, подверженных термическому воздействию ранее не проводились.

Целью данной статьи является исследование процессов термической деструкции огнезащитных вспучивающихся составов методом ИК-спектроскопии, а также выбор характеристических полос поглощения для установления количественных критериев степени термических поражений материалов. Полученные данные можно использовать для обнаружения ОВП, определения его состава и ориентировочной температуры нагрева конструкции при решении диагностических и идентификационных задач в пожарно-технической экспертизе.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны два образца ОВП: на основе акрилового органорастворимого связующего (ОВП1), на основе винилового водорастворимого связующего (ОВП2). Покрытия наносились на металлические пластины $120 \times 70 \times 5$ мм в соответствии с технической документацией на ОВП, затем высушивали в течение двух месяцев при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха не более 80 % без прямого попадания света для завершения процессов формирования и достижения эксплуатационных характеристик покрытия. Для исследования процессов термической деструкции и выбора характеристических полос поглощения с целью установления количественных критериев степени термических поражений образцы пластин с нанесенным ОВП помещали в предварительно разогретую до определенной температуры муфельную печь и выдерживали в течение 20 мин в диапазоне температур от 100 до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ с шагом $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ИК-спектры исследуемых покрытий снимали на ИК Фурье-спектрометре ФСМ 1201 в диапазоне $4\ 000\text{--}400\text{ см}^{-1}$, с разрешением 4 см^{-1} , в режиме пропускания с использованием метода таблетирования с бромидом калия.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 приведены ИК-спектры исследуемых ОВП. По набору характеристических полос поглощения данные покрытия схожи и содержат, вероятнее всего, один и тот

же состав огнезащитных компонентов, к которым относятся меламина, пентаэритрит и полифосфат аммония (табл. 1). Незначительные отличия на ИК-спектрах исследуемых ОВП относятся к полосам поглощения связующего. На ИК-спектре покрытия ОВП2 (водорастворимое покрытие на виниловом связующем) колебания связи С=О находятся при 1740 см^{-1} , а для ОВП1 (органо-растворимое покрытие на акриловом связующем) при 1730 см^{-1} . Кроме того, полосы поглощения в области $1130\text{--}1000\text{ см}^{-1}$, характерные для связи С-О в связующем для ОВП1, находятся при 1070 см^{-1} , а для ОВП2 при 1085 см^{-1} .

В табл. 1 приведены ИК полосы поглощения, характерные для ОВП на акриловом и виниловом связующем. Расшифровку спектров проводили в соответствии с работами [12, 13].

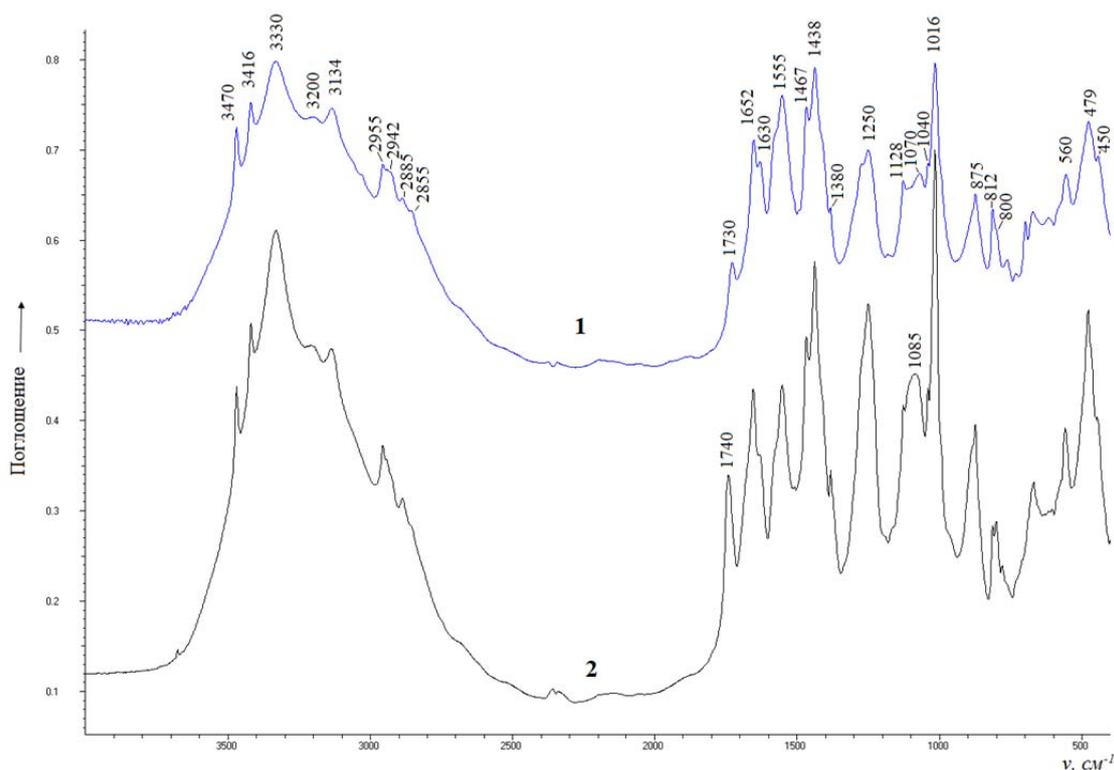


Рис. 1. ИК-спектры ОВП: 1 – ОВП1 (органо-растворимое на акриловом связующем); 2 – ОВП2 (водорастворимое на виниловом связующем)

Таблица 1

Характеристические частоты поглощения отдельных компонентов ОВП

Волновое число, см^{-1}	Тип колебания / функциональная группа	Компонент ОВП
3330	валентные колебания О-Н	пентаэритрит
3470 3416 3335	валентные колебания NH_2	меламин
3200–3030	валентные колебания NH_4^+	полифосфат аммония
2960–2850	валентные колебания С-Н	пленкообразователь (связующее)
2950 2885	валентные колебания С-Н	пентаэритрит
1740–1720	валентные колебания С=О	пленкообразователь (связующее)

Волновое число, см ⁻¹	Тип колебания / функциональная группа	Компонент ОВП
1655–1645 (~1652)	деформационные колебания N-H	меламин
1560–1550	деформационные колебания N-H и валентные колебания C-N	меламин
1480–1420 (~1438)	деформационные колебания NH ₄ ⁺	полифосфат аммония
1450–1430	деформационные колебания C-N	пленкообразователь (связующее)
1440	колебания группы -CO ₃ (в CaCO ₃)	если наполнитель (мел)
1460–1410, 1380	(дуплет) деформационные колебания C-N	пентаэритрит и пленкообразователь
1280–1250	колебания скелета C-C при третичном атоме углерода -C(CH ₃) ₃	пентаэритрит
	валентные колебания C-O	пленкообразователь (связующее)
1250–1255	валентные колебания P=O	полифосфат аммония
1130–1000	C-O-H (смешанные колебания: валентные колебания C-O и деформационные колебания O-H);	пентаэритрит
	валентные колебания -C-O	пленкообразователь (связующее)
1090–1010	валентные колебания -P-O	полифосфат аммония
875	колебания группы -CO ₃ (в CaCO ₃)	если наполнитель (мел)
810–800	деформационные колебания -C-NH ₂ ; внеплоскостные колебания C-N триазинового кольца	меламин
600–450	(триплет) колебания связей P-O, P-O-P	полифосфат аммония

В ходе термического воздействия ОВП претерпевают структурные изменения на молекулярном уровне. Эти изменения можно зафиксировать методом ИК-спектроскопии. Как видно из ИК-спектров, представленных на рис. 2, 3, при термическом воздействии до 200 °С существенных изменений в спектрах ОВП обоих типов не происходит.

При нагревании ОВП до 300 °С происходит разрушение меламина, что сопровождается исчезновением на ИК-спектре полос поглощения 1 652 см⁻¹, 1 630 см⁻¹ и 1 555 см⁻¹ (рис. 2, кривая 4). Также происходит разложение полифосфата аммония с выделением аммиака и образованием фосфорной кислоты. При этом на спектре наблюдается исчезновение полос поглощения 3 134 см⁻¹, 1 438 см⁻¹, 1 016 см⁻¹. Фосфорная кислота, в свою очередь, взаимодействует со спиртовыми группами пентаэритрита с образованием термоустойчивых фосфорных эфиров, в результате чего на ИК-спектре происходит увеличение интенсивности полосы поглощения в области 970–940 см⁻¹, а также снижение интенсивности полос поглощения в области 1 430–1 450 см⁻¹, 1 380 см⁻¹ и 1 130–1 000 см⁻¹, что связано с разложением пентаэритрита. Кроме того, на ИК-спектре наблюдается увеличение интенсивности поглощения в области 1 740–1 720 см⁻¹, отвечающее колебаниям группы (-C=O) в карбонилсодержащих соединениях, это происходит в результате термоокислительной деструкции пленкообразователя (связующего).

При температуре 400 °С образуется устойчивый пенококс и на ИК-спектре ОВП (рис. 2, кривая 5) видны значительные изменения: снижение интенсивности полос поглощения в области 1 740–1 720 см⁻¹, а также 1 450–1 430 см⁻¹ и 1 280–1 250 см⁻¹. Эти изменения говорят уже о начале выгорания органических соединений, образованных в ходе термоокислительной деструкции и содержащих в своей структуре C=O и -C-O связи, а также о распаде полимерной цепочки пленкообразователя (связующего) ОВП.

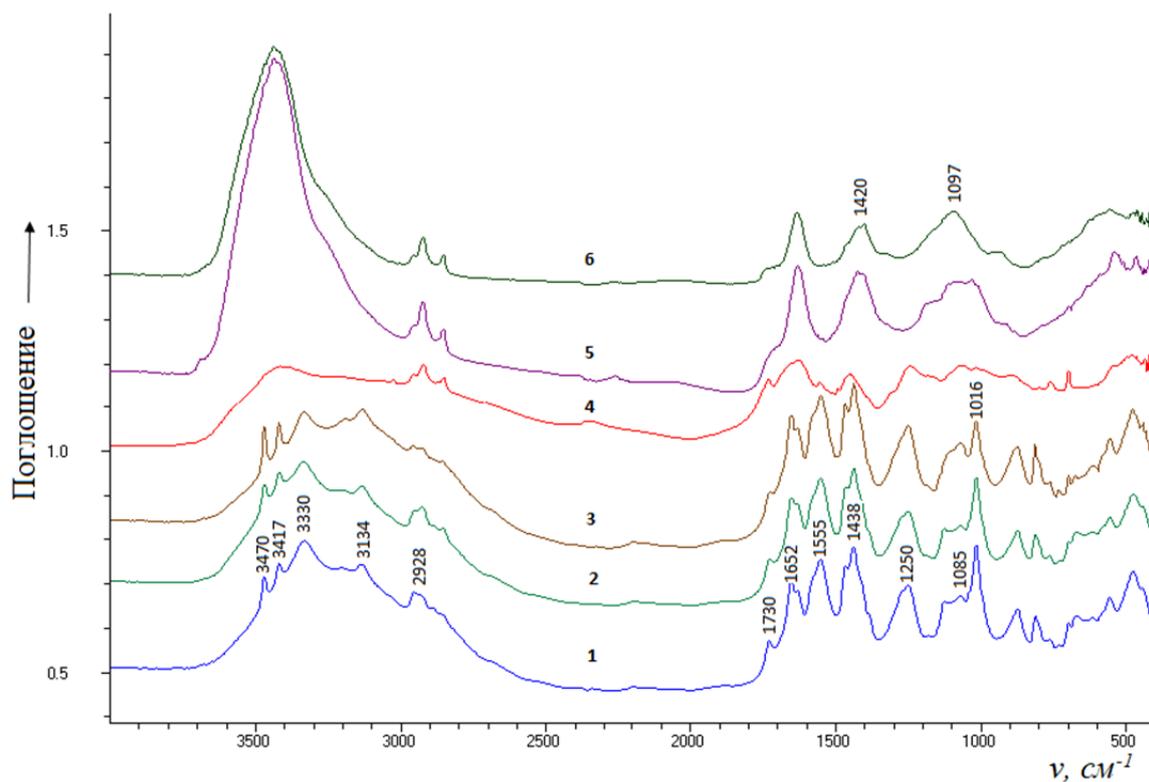


Рис. 2. ИК-спектры ОВП 1 при разном термическом воздействии:
 1 – исходное ОВП; 2 – температура нагрева ОВП 100 °С; 3 – температура нагрева ОВП 200 °С;
 4 – температура нагрева ОВП 300 °С; 5 – температура нагрева ОВП 400 °С;
 6 – температура нагрева ОВП 500 °С

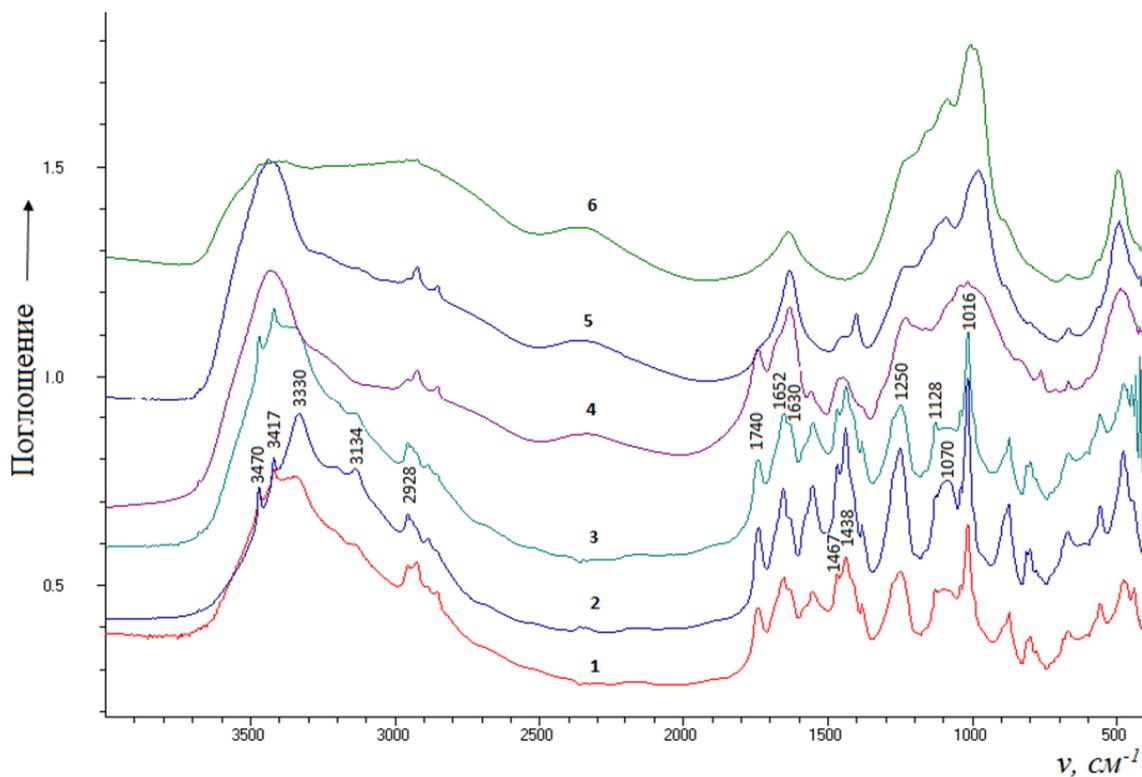


Рис. 3. ИК-спектры ОВП 2 при разном термическом воздействии:
 1 – исходное ОВП; 2 – температура нагрева ОВП 100 °С; 3 – температура нагрева ОВП 200 °С;
 4 – температура нагрева ОВП 300 °С; 5 – температура нагрева ОВП 400 °С;
 6 – температура нагрева ОВП 500 °С

При увеличении температуры до 500 °С (рис. 2, кривая 6) наблюдается выгорание образовавшегося пенококса. На ИК-спектре исчезают полосы поглощения в области 1 740–1 700 см⁻¹, 1 450–1430 см⁻¹, 1 280–1 250 см⁻¹. Остаются широкие малоразрешенные полосы поглощения в области 1 250–950 см⁻¹ и 600–500 см⁻¹, относящиеся к неорганическим компонентам ОВП (наполнитель, пигмент), а также продуктам разложения полифосфата аммония, содержащих фосфатные группы (они не летучие и остаются в зольном остатке).

Аналогичная картина наблюдается и для ОВП на виниловой основе (рис. 3).

Для установления количественных критериев степени термических поражений исследуемых покрытий были выбраны полосы поглощения, претерпевающие наиболее существенные изменения при температурах от 100 до 500 °С (увеличивающие и/или уменьшающие свою интенсивность с разной скоростью при нагревании) и рассчитаны оптические плотности D выбранных полос поглощения. Далее, используя отношение оптических плотностей полос поглощения, был рассчитан спектральные критерии для каждой температуры $S = D_x/D_y$ (табл. 2, 3) [14].

Для ОВП на акриловом связующем ОВП1 были выбраны полосы поглощения 1 380 см⁻¹ и 1 016 см⁻¹, так как интенсивность данных полос при нагревании уменьшается с разной скоростью. Спектральный критерий рассчитывался по формуле:

$$S = D_{1380}/D_{1016},$$

где D_{1380} – оптическая плотность полосы поглощения 1 380 см⁻¹; D_{1016} – оптическая плотность полосы поглощения 1 016 см⁻¹.

Таблица 2

Спектральные критерии для покрытия ОВП1

Температура, °С	25	100	200	300	400	500
$S = D_{1380}/D_{1016}$	0,56	0,57	0,66	0,70	1,70	3,4

По полученным данным была построена градуировочная кривая (рис. 4) для покрытия ОВП1.

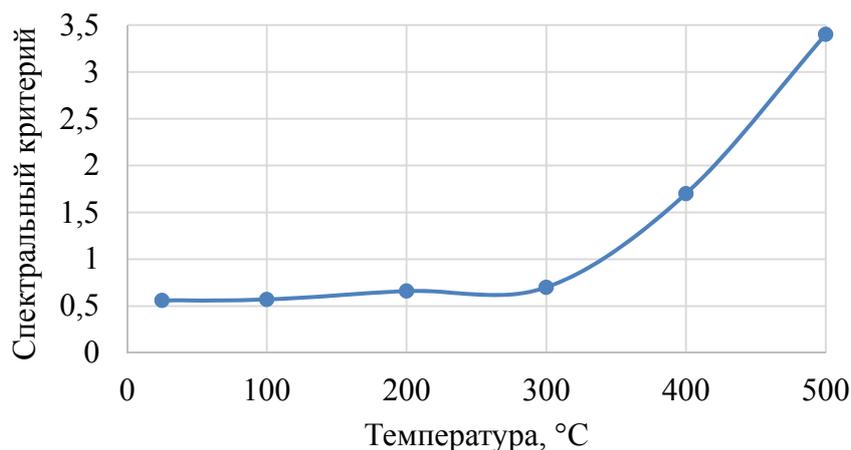


Рис. 4. Зависимость спектрального критерия $S = D_{1380}/D_{1016}$ от степени температурного воздействия для покрытия ОВП1

Для расчёта спектрального критерия покрытия ОВП2 были выбраны полосы поглощения 1 740 см⁻¹ и 1 085 см⁻¹, а критерий рассчитывался по формуле:

$$S=D_{1740}/D_{1085},$$

где D_{1740} – оптическая плотность полосы поглощения 1740 см^{-1} ; D_{1085} – оптическая плотность полосы поглощения 1085 см^{-1} .

Таблица 3

Спектральные критерии для покрытия ОВП2

Температура, °С	25	100	200	300	400	500
$S=D_{1740}/D_{1085}$	0,97	0,96	0,95	0,85	0,20	0,07

Градуировочная кривая, для дальнейшего определения степени термического поражения покрытия ОВП2, представлена на рис. 5.

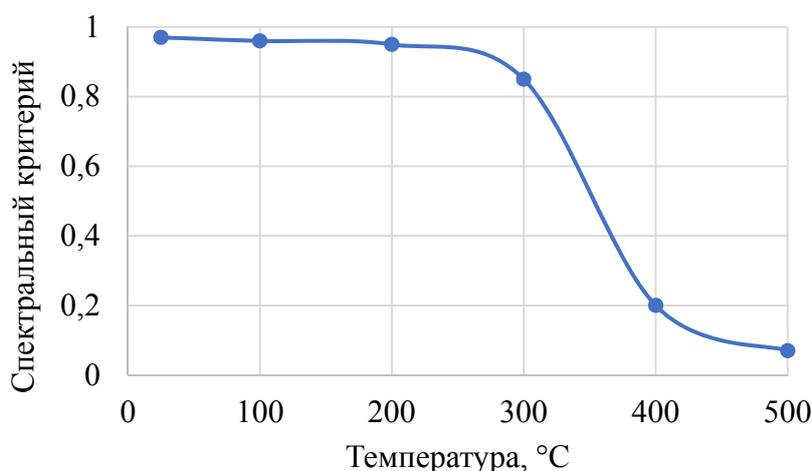


Рис. 5. Зависимость спектрального критерия $S=D_{1740}/D_{1085}$ от степени температурного воздействия для покрытия ОВП2

Из полученных зависимостей спектрального критерия от температуры нагрева (рис. 4, 5) видно, что заметные изменения в структуре исследуемых покрытий фиксируются при температуре 300 °С и выше.

Заключение

В ходе проведенного исследования было установлено, что метод ИК-спектроскопии может применяться для установления изменения химического состава ОВП в ходе теплового воздействия, а также определения степени их термического поражения.

По результатам исследований определен характерный набор полос поглощения, соответствующий определенным функциональным группам, характерным для огнезащитных компонентов и связующего. Также в ходе исследований были рассчитаны спектральные критерии, позволяющие провести количественную оценку степени термических поражений, исследуемых ОВП. По полученным данным были построены градуировочные кривые, которые в последствии могут быть использованы для определения степени термического поражения исследуемого покрытия, отобранного на пожаре.

Полученные данные по химическому составу и характеру изменений, происходящих в ходе термической деструкции, позволят более детально подойти к решению диагностических и идентификационных задач при производстве пожарно-технических экспертиз, связанных с исследованием ОВП и их остатков, образующихся в результате температурного воздействия на пожаре.

Список источников

1. Собурь С.В. Огнезащита материалов и конструкций. М.: ПожКнига, 2003. 232 с.
2. Багрова М.А. Современные методы огнезащиты стальных металлоконструкций // Наука и современность. 2011. № 10–1. С. 9–15.
3. Mariappan. T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review // Journal of Fire Sciences. 2016. Vol. 34 (2). P. 120–163.
4. Павлович А.В., Дринберг А.С., Машляковский Л.Н. Огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия. М.: ООО Изд-во «ЛКМ-пресс», 2018. 488 с.
5. Павлович А.В., Дринберг А.С. Состав и свойства огнезащитных вспучивающихся лакокрасочных покрытий. М.: ЛКМ-пресс, 2020. 400 с.
6. Исследование огнезащитных вспучивающихся покрытий при их эксплуатации методами рентгенофазового, термического анализов и ИК-спектроскопии / М.Ю. Умрихина [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2020. Т. 86. № 3. С. 25–31.
7. Исследование старения огнезащитных вспучивающихся покрытий методами СЭМ, XRD и ИК-спектроскопии / М.Ю. Умрихина [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29. № 5. С. 60–70.
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. Gonghua J., Xinrong X., Jiaqing Z. Pyrolysis characteristics and reaction mechanism of intumescent fire-retardant coating with thermogravimetry/Fourier transform infrared analysis // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2024. Vol. 177.
10. Intumescent paints: fire protective coatings for metallic substrates / S. Duquesne [et al.] // Surface and Coatings Technology. 2004. Vol. 180–181. P. 302–307.
11. Xiaochun H., Yuqing L., Wen L., Zhiqiang S. Synergistic interaction between inorganic layered materials and intumescent fire retardants for advanced fire protection // Carbon. 2022. Vol. 187. P. 290–301.
12. Кросс А. Введение в практическую инфракрасную спектроскопию. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 110 с.
13. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 590 с.
14. Андреева Е.Д., Чешко И.Д. Применение ИК-спектроскопии при исследовании объектов, изъятых с места пожара: метод. пособие. М.: ВНИИПО МЧС России, 2010. 91 с.

References

1. Sobur' S.V. Ogneshchita materialov i konstrukcij. M.: PozhKniga, 2003. 232 s.
2. Bagrova M.A. Sovremennye metody ogneshchity stal'nyh metallokonstrukcij // Nauka i sovremennost'. 2011. № 10–1. S. 9–15.
3. Mariappan. T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review // Journal of Fire Sciences. 2016. Vol. 34 (2). P. 120–163.
4. Pavlovich A.V., Drinberg A.S., Mashlyakovskij L.N. Ogneshchitnye vspuchivayushchiesya lakokrasochnye pokrytiya. M.: ООО Izd-vo «LKM-press», 2018. 488 s.
5. Pavlovich A.V., Drinberg A.S. Sostav i svojstva ogneshchitnyh vspuchivayushchihsya lakokrasochnyh pokrytij. M.: LKM-press, 2020. 400 s.
6. Issledovanie ogneshchitnyh 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.
7. Issledovanie stareniya ogneshchitnyh vspuchivayushchihsya pokrytij metodami SEM, XRD i IK-spektroskopii / M.Yu. Umrihina [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2020. T. 29. № 5. S. 60–70.

8. Cheshko I.D., Princeva M.Yu., Lobatova O.V. Ekspertnoe issledovanie ognenezashchitnyh vspuchivayushchihsya pokrytij dlya metallokonstrukcij metodom infrakrasnoj spektroskopii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 2 (58). S. 104–109.
9. Gonghua J., Xinrong X., Jiaqing Z. Pyrolysis characteristics and reaction mechanism of intumescent fire-retardant coating with thermogravimetry/Fourier transform infrared analysis // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2024. Vol. 177.
10. Intumescent paints: fire protective coatings for metallic substrates / S. Duquesne [et al.] // Surface and Coatings Technology. 2004. Vol. 180–181. P. 302–307.
11. Xiaochun H., Yuqing L., Wen L., Zhiqiang S. Synergistic interaction between inorganic layered materials and intumescent fire retardants for advanced fire protection // Carbon. 2022. Vol. 187. P. 290–301.
12. Kross A. Vvedenie v prakticheskuyu infrakrasnuyu spektroskopiyu. M.: Izd-vo inostran. lit., 1961. 110 s.
13. Bellami L. Infrakrasnye spektry slozhnyh molekul. M.: Izd-vo inostr. lit., 1963. 590 s.
14. Andreeva E.D., Cheshko I.D. Primenenie IK-spektroskopii pri issledovanii ob"ektov, iz"yatyh s mesta pozhara: metod. posobie. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2010. 91 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 25.04.2024; одобрена после рецензирования: 05.05.2024; принята к публикации: 06.05.2024

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 25.04.2024; approved after review: 05.05.2024; accepted for publication: 06.05.2024

Сведения 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

Клаптюк Ирина Викторовна, начальник 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, e-mail: irina.klaptyuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0815-0145>

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 authors:

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

Klaptyuk Irina V., head of department of the Research center for fire expertise, research institute for advanced studies and innovative technologies in the field of life safety Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: irina.klaptyuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0815-0145>

Tepliyakova Tatyana D., senior researcher at the Research center for fire expertise, research institute for advanced studies and innovative technologies in the field of life safety 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