

Научная статья

УДК 543.421/.424 0; 667.6

doi: 10.34987/2712-9233.2025.79.76.007

Возможность применения метода инфракрасной спектроскопии для оценки огнезащитных свойств интумесцентных покрытий

¹Юлия Николаевна Бельшина

¹Ирина Викторовна Клаптюк

¹Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Автор ответственный за переписку: Юлия Николаевна Бельшина belshina.y@igps.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение инфракрасной (ИК) спектроскопии для оценки изменений химического состава огнезащитных вспучивающихся покрытий (ОВП) на эпоксидной основе под воздействием климатических факторов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки объективных методов диагностики эксплуатационных характеристик ОВП, особенно в условиях, когда стандартные испытания по ГОСТ Р 53295-2009 неприменимы к уже нанесённым покрытиям. Метод ИК-спектроскопии позволяет выявлять изменения в структуре связующего и функциональных добавок, таких как полифосфат аммония и аминные отвердители. Показано, что после года естественного старения происходит снижение интенсивности полос поглощения, соответствующих N–H и эпоксидным группам, что коррелирует с почти двукратным падением огнезащитной эффективности. Визуальные изменения при этом отсутствуют. Полученные данные подтверждают потенциал ИК-спектроскопии как инструмента для мониторинга деградации ОВП и прогнозирования их защитных свойств, что открывает перспективы для внедрения метода в практику пожарно-технических экспертиз.

Ключевые слова: ИК-спектроскопия, интумесцентные покрытия, огнезащитная эффективность, пожарно-техническая экспертиза

Для цитирования: Бельшина Ю.Н., Клаптюк И.В. Возможность применения метода инфракрасной спектроскопии для оценки огнезащитных свойств интумесцентных покрытий // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2025. № 3 (19). С. 41-44. <https://doi.org/10.34987/2712-9233.2025.79.76.007>

The possibility of using infrared spectroscopy to evaluate the flame-retardant properties of intumescent coatings

¹Irina V. Klapyuk

¹Yulia N. Belshina

¹Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia

Corresponding author: Belshina Yulia N., belshina.y@igps.ru

Abstract. This paper examines the application of infrared (IR) spectroscopy to assess chemical composition changes in epoxy-based intumescent fire-protective coatings (IFPCs) under the influence of climatic factors. The relevance of this study stems from the need to develop objective methods for diagnosing

the operational properties of IFPCs, especially in cases where standard testing according to GOST R 53295-2009 is not applicable to already applied coatings. IR spectroscopy enables the detection of structural changes in binders and functional additives such as ammonium polyphosphate and amine hardeners. It is demonstrated that after one year of natural aging, a decrease in absorption band intensities corresponding to N–H and epoxy groups occurs, which correlates with an almost twofold reduction in fire-protective effectiveness. No visible changes were observed during this period. The results confirm the potential of IR spectroscopy as a tool for monitoring IFPC degradation and predicting their protective performance, thereby opening prospects for its integration into fire-technical forensic practice.

Keywords: IR spectroscopy, intumescent coatings, fire-retardant efficiency, fire-technical expertise

For citation: Belshina Yu. N., Klapyuk I. V. The possibility of using infrared spectroscopy to evaluate the flame-retardant properties of intumescent coatings // Actual problems of safety in the Technosphere 2025. № 3 (19). С. 41-44. [https://doi.org/ 10.34987/2712-9233.2025.79.76.007](https://doi.org/10.34987/2712-9233.2025.79.76.007)

Одним из актуальных вопросов современной пожарно-технической экспертизы является совершенствование технико-криминалистического обеспечения проводимых исследований путем внедрения и активного использования различных методов аналитической химии, в первую очередь инструментальных, для получения объективной информации о свойствах и составе элементов вещной обстановки на пожаре. Развитие современного приборостроения, как известно направлено на повышение качества и скорости получения результата с одновременным сокращением трудо- и финансовых затрат на проведение исследований. Это открывает новые возможности использования аналитических методов, уже применяемых при реализации экспертных методик. Одним из методов аналитической химии, прочно вошедших в экспертную практику, является метод ИК-спектроскопии.

В настоящее время исследование огнезащитных вспучивающихся покрытий (ОВП) металлических конструкций является одной из приоритетных задач пожарно-технической экспертизы, реализуемых в судебно-экспертных учреждениях МЧС России [1, 3]. При изучении пассивной огнезащиты данного типа перед исследователями обычно ставятся вопросы, связанные с ее эффективностью, о которой судят либо посредством проведения испытаний в нормированных условиях, устанавливаемых соответствующими ГОСТами, либо опосредованно через анализ свойств покрытия, определяемых инструментальными методами. Принято считать, что наиболее объективную оценку эффективности интумесцентных покрытий обеспечивают методы испытаний в соответствии с ГОСТ Р 53295-2009, которые не могут применяться для оценки динамики изменений уже нанесенных покрытий, а именно такая задача представляется наиболее востребованной. Данное обстоятельство определяет актуальность разработки методик, основанных на применении инструментальных методов исследования физико-химических свойств покрытий [1].

Изучение свойств покрытия может проводиться непосредственно на объекте с помощью портативного оборудования или в лабораторных условиях. В настоящее время, к сожалению, чаще всего при исследовании покрытия на объекте защиты ограничиваются изучением его визуальных характеристик и толщины, данные свойства позволяют лишь условно судить о соблюдении технологии нанесения покрытия и сохранении его эксплуатационных характеристик. В тоже время применение ИК-спектроскопии позволяет через анализ химического состава и изучении динамики его изменения под влиянием различных внешних факторов делать выводы о свойствах ОВП. С помощью данного метода можно относительно быстро проводить анализ проб, кроме того, он подходит в том числе для оценки стабильности химического состава компонентов покрытий.

Говоря о диагностике свойств огнезащитных покрытий в первую очередь конечно, идет речь об эксплуатационных свойствах, определяющих их защитную эффективность. Для интумесцентных покрытий она характеризуется свойствами как специфическими для данного типа покрытий, такими как способностью вспучиваться при внешнем нагреве с образованием слоя пенококса, достаточного для экранирования металлической подложки, так и универсальными для всех типов покрытий, такими как адгезия покрытия к поверхности и стойкость к внешним воздействиям. И те, и другие напрямую зависят от химического состава покрытий и стабильности его в процессе эксплуатации.

Целью данной работы стало исследование изменений состава огнезащитных ЛКП, подвергнутых различным внешним воздействиям, методом ИК-спектроскопии и установление корреляций между

фиксируемыми изменениями и показателями их эффективности, оцениваемыми с помощью проведения испытаний по ГОСТ Р 53295-2009.

В качестве объекта исследования в работе было рассмотрено двухкомпонентное ОВП на эпоксидной основе, предназначенное для наружного применения. Для последующего установления корреляции между результатами лабораторных исследований методом ИК-спектроскопии и испытаний на огнезащитную эффективность, подготовку образцов покрытия проводили в соответствии с ГОСТ Р 53295-2009. С целью моделирования внешнего воздействия на образцы климатических факторов проводилось его естественное старение (окрашенные пластины размещали на улице) под непосредственным воздействием различных факторов окружающей среды (УФ-излучение, температура, влага и пр.).

Исходное ОВП и образцы, полученные в результате естественного старения в течение года, были исследованы методом ИК-спектроскопии. В качестве способа пробоподготовки для проведения последующего спектрального анализа использовали метод таблетирования с бромидом калия (KBr). Спектры исследуемых проб снимали на ИК Фурье - спектрометре ФСМ 1201 в диапазоне 4000 – 400 см^{-1} .

На ИК-спектре исходного ОВП (рис. 1, спектр 1) наблюдаются характерные полосы поглощения, относящиеся к пленкообразователю: 2960-2840 см^{-1} и 1460 и 1378 см^{-1} (валентные и деформационные колебания алифатических группировок $-\text{CH}_2$ и $-\text{CH}_3$), 1186 см^{-1} и 1130-1000 см^{-1} (простые эфирные связи $-\text{C}-\text{O}-$), 885, 914, 1235 см^{-1} (валентные колебания $-\text{C}-\text{O}-$ эпоксидной группы). На также на спектре наблюдаются характеристические полосы поглощения 3260 см^{-1} и 3410 см^{-1} , относящиеся к валентным колебаниям группы $-\text{N}-\text{H}$. Как известно, в качестве отвердителя для эпоксидных смол обычно используют полиамины (полоса 3410 см^{-1}). Кроме того, в качестве огнезащитной добавки в ОВП данного типа часто используется полифосфат аммония, который, содержит аммонийную группу [1-3], также проявляющуюся в данной области спектра (полоса 3260 см^{-1}). В диапазоне спектра 1580-1510 см^{-1} наблюдаются полосы поглощения, относящиеся к смешанным деформационным колебаниям $\text{N}-\text{H}$ и валентным колебаниям $\text{C}-\text{N}$, данные полосы поглощения можно отнести к отвердителю на основе аминов. Также на спектре присутствуют полосы поглощения в области 1730 см^{-1} , относящиеся к валентным колебаниям карбонильной группы $-\text{C}=\text{O}$. На присутствие в ОВП полифосфата аммония также указывают полосы поглощения в диапазонах 1460-1450 см^{-1} (деформационные колебания NH_4^+), 1250-1255 см^{-1} (колебания относительно связи $\text{P}=\text{O}$), 1090-1010 см^{-1} (колебания относительно связи $\text{P}-\text{O}$). Колебания фосфатной группировки также проявляются на спектре в виде плеча 1110 см^{-1} и полосы 1035 см^{-1} .

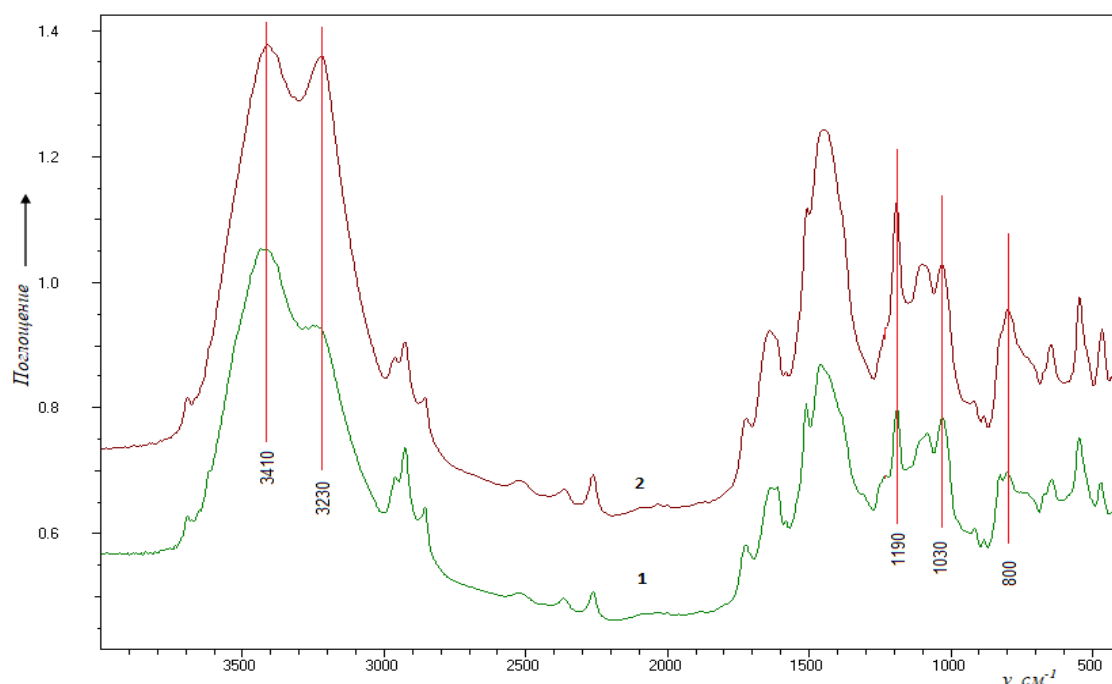


Рис.1. ИК-спектры ОВП на эпоксидной основе: 1 – исходное ОВП; 2 – ОВП через 1 год естественного старения

Анализ спектров показывает, что образец в процессе старения претерпевает изменения в области характерной для валентных колебаний связи -N-H (рис. 1, спектр 2). Изменяется отношение интенсивностей полос 3230 см^{-1} и 3410 см^{-1} от 0,97-0,99 до 0,77-0,79, что может говорить о частичном разрушении аммонийных групп в составе покрытия. Также происходит уменьшение интенсивности полос поглощения $1190, 830, 463\text{ см}^{-1}$, связанные с колебаниями эпоксидного кольца. Эти факты говорят об изменениях в химической структуре как пленкообразователя (связующего), связанных с его старением, так и о изменении состава функциональных добавок.

Визуальных изменений характеристик ОВП в ходе естественного старения не наблюдалось. Проведенные испытания по ГОСТ Р 53295-2009 показали, что состаренное в течение 1 года покрытие характеризуется заметным изменением огнезащитной эффективности, по результатам проведенных испытаний она снижается почти в два раза. Именно разрушением компонентов, содержащих аммонийные группы и обеспечивающих образование пенококса, можно объяснить данное ухудшение характеристик ОВП. Проведенные ранее ускоренные испытания на стойкость к воздействию климатических факторов по ГОСТ 9.401-2018 показали сохранение эксплуатационных характеристик покрытия в течение 25 лет. Таким образом, метод ИК-спектроскопии позволяет выявлять в составе покрытия изменения, коррелирующие в его огнезащитной эффективности. С помощью данного метода можно проводить динамику критических изменений в составе покрытия, негативно сказывающихся на их эксплуатационных характеристиках.

Подводя итог, можно констатировать, что применение ИК-спектроскопии позволяет выявить изменения, происходящие в ОВП в процессе старения, которые могут приводить к снижению их огнезащитной эффективности. Для использования полученных результатов в экспертной практике необходимо дальнейшее установление корреляций между данными об изменении химического состава основных компонентов ОВП, фиксируемыми на ИК-спектре, и результатами испытания огнезащитной эффективности покрытий.

Список источников

1. Исследование огнезащитных вспучивающихся покрытий при их эксплуатации методами рентгенофазового, термического анализов и ИК-спектроскопии / М.Ю. Умрихина, Т.О. Шорохова, С.В. Уткин, Л.А. Пьянкова, Л.Ю. Краснова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2020. Т. 86. №3. С.25–31. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42574218> (дата обращения 10.04.2025).
2. Павлович А.В., Дринберг А.С., Машляковский Л.Н. Огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия. М.: ООО Издательство «ЛКМ-пресс», 2018. 488 с.
3. 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. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46260696> (дата обращения 10.04.2025).

Статья поступила в редакция 28.05.2025, одобрена после рецензирования 01.07.2025, принята к публикации 21.09.2025.

The article was submitted 28.05.2025, approved after reviewing 01.07.2025, accepted for publication 21.09.2025.