

УДК 614.841

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.64.52.006

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ КОПОТИ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ПРОДУКТОВ, ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ПРИ ПОЖАРЕ.

*Сержинмаа А.А.<sup>1</sup>; Ширинкин П.В.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент; Коровченко А.В.<sup>2</sup>; Ахметшин И.Ф.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России*

<sup>2</sup> *СЭУ ФПС № 93 «ИПЛ» МЧС России*

**Аннотация.** В статье представлены статистические данные основных показателей обстановки с пожарами на территории Российской Федерации. Проанализированы токсичные продукты горения при пожаре и материалы из которых они выделяются, а также их отрицательное воздействие на организм человека. Результаты исследования отложений копоти при выгорании отделки интерьера и легко сменяемой обстановки (мебель, отделочные материалы) методом ИК Фурье спектроскопии.

Авторами приведены основные сведения о методе инфракрасной спектроскопии, как одного из эффективных методов при проведении пожарно-технической экспертизы. Проведен анализ отложений копоти распространённых полимерных материалов, которые используются при изготовлении мебели и отделочных материалов, и установлено, что метод ИК-спектроскопии позволяет обнаружить основные компоненты токсичных продуктов горения в отложениях копоти.

**Ключевые слова:** копоть, ИК-спектроскопия, поливинилхлорид, пенополиуретан, токсичные продукты горения.

## INVESTIGATION OF SOOT DEPOSITS BY IR SPECTROSCOPY TO DETECT THE RESIDUAL CONTENT OF TOXIC PRODUCTS RELEASED DURING A FIRE

*Serzhinmaa A.A.<sup>1</sup>, Shirinkin P.V.<sup>1</sup>, Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Korovchenko A.V.<sup>2</sup>, Ahmetshin I.F.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia*

<sup>2</sup> *Forensic expert organization Federal Fire Service № 93 «fire testing laboratory» of Emergencies of Russia*

**Abstract.** The article presents statistical data on the main indicators of the fire situation on the territory of the Russian Federation. Analyzed toxic products of combustion in a fire and the materials from which they are released, as well as their negative impact on the human body. The results of the study of soot deposits during the burnout of interior decoration and easily changeable furnishings (furniture, decoration materials) by the method of FTIR spectroscopy.

The authors provide basic information about the method of infrared spectroscopy, as one of the most effective methods for conducting fire-technical expertise. The analysis of soot deposits of common

polymeric materials that are used in the manufacture of furniture and finishing materials, and it was found that the method of IR spectroscopy allows you to detect the main components of toxic combustion products in soot deposits.

**Key words:** soot, IR spectroscopy, polyvinyl chloride, polyurethane foam, toxic combustion products

На сегодняшний день пожары остаются одними из основных чрезвычайных ситуаций, которые причиняют вред жизни и здоровью граждан, а также приводят к значительному материальному ущербу [1]. Согласно статистическим данным за последние 5 лет наблюдается резкий скачок увеличения пожаров в 2019 году. Все это обусловлено тем, что с 01.01.2019 года вступил в силу Приказ МЧС России от 08.10.2018 года № 431 «О внесении изменений в Порядок учета пожаров и их последствий, утвержденный приказом МЧС России от 21.11.2008 года» [2]. Но даже учитывая изменения в нормативных актах отмечается положительная динамика основных показателей обстановки с пожарами, так как количество пожаров, произошедших в 2020 году снизилось на 6,8% по сравнению с количеством пожаров за аналогичный период прошлого года. Также снизилось количество погибших при пожаре на 2,9%, а травмированных – на 11%. На рисунке 1 представлены сведения о пожарах и их последствиях за последние 5 лет на территории Российской Федерации [3].

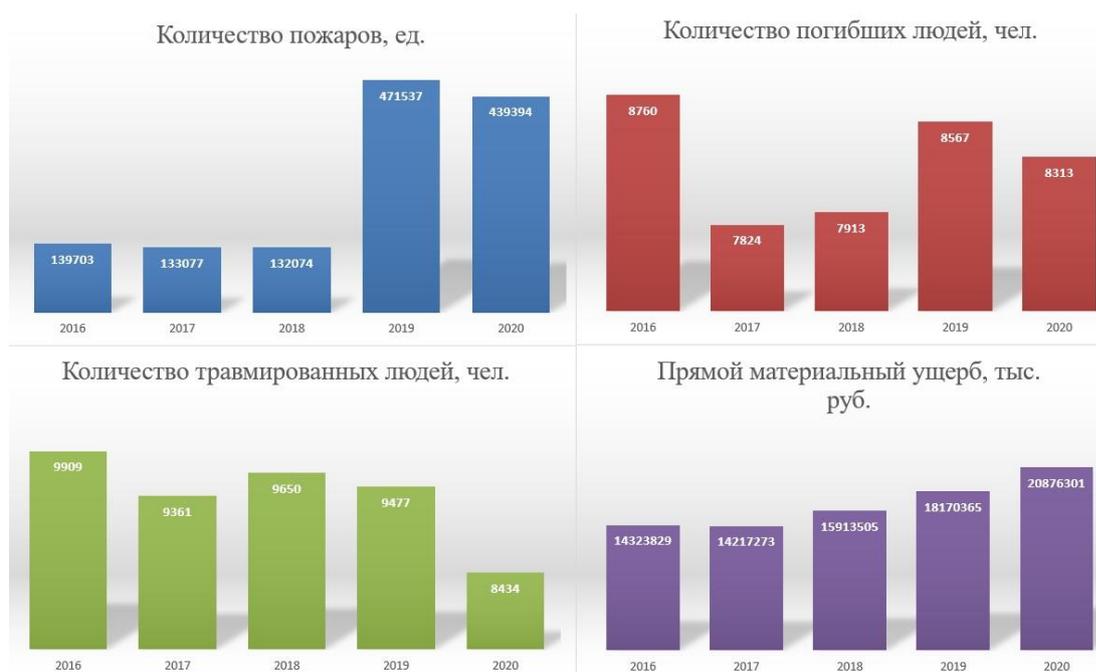


Рис. 1. Статистические данные о пожарах и их последствиях на территории Российской Федерации за 2016-2020 гг.

Анализ статистических данных показывает, что несмотря на снижение количества пожаров, число погибших при пожаре остается весьма высоким, и в основном отравление токсичными продуктами горения и воздействие высокой температуры приводят к гибели людей. Так за 2020 год по этим двум основным причинам погибло 6220 человек, при этом на отравление токсичными продуктами горения и термического разложения приходится 63% погибших от общего количества. Распределение количества погибших при пожарах людей в 2020 году в Российской Федерации представлено на рис. 2 [3].

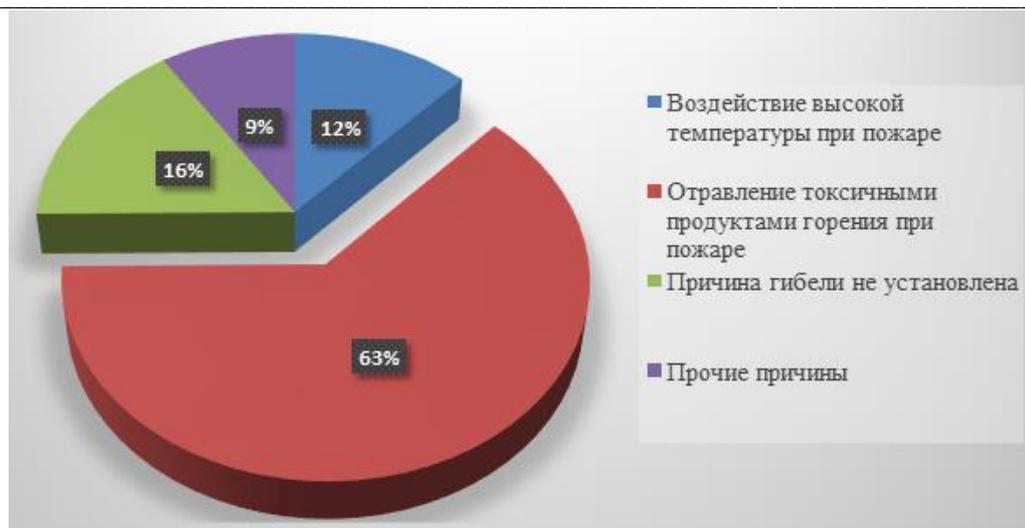


Рис. 2. Распределение основных причин гибели людей при пожарах за 2020 год на территории Российской Федерации

В настоящее время при строительстве зданий и сооружений, а также при отделке помещений используется широкий ассортимент материалов с различным составом, при горении которых происходит выделение токсичных продуктов горения, в том числе в составе смеси. В своих работах [4-5] профессор, д. тех. наук Пузач С.В., и его соавторы рассмотрели различные материалы, из которых при горении образуются токсичные вещества, а также и их воздействие на организм человека. Наиболее опасными токсичными продуктами горения, которые могут оказывать на организм человека отрицательное воздействие или привести к летальному исходу являются оксид и диоксид углерода, хлористый и цианистый водород. Например, при горении органических материалов искусственного и природного происхождения выделяется оксид углерода и при концентрации 0,2-1,0% от объема смерть человека наступает в течение 3-6 минут, а диоксид углерода, который является конечным продуктом окисления может привести к немедленной потере сознания и смерти при концентрации 12-20% от объема. Отделочно-строительные материалы, а также элементы мебели, изготовленные из ПВХ, древесины, ДСП, фанеры и бумаги при нагревании выделяют хлористый водород, а элементы, выполненные из шерсти и тканей – цианистый водород. Материалы, выделяющие токсичные хлористый и цианистый водород, составляют значительный объем пожарной нагрузки в помещениях.

Таким образом, пожарная нагрузка, представленная в виде элементов отделки интерьера и легко сменяемой обстановки (мебель, оргтехника, технологическое оборудование и др.) помещений и зданий является источником токсичных продуктов горения при пожарах. Для определения воздействия токсичных продуктов горения на людей при пожаре исследуются целый ряд образцов, изъятых с места пожара при его осмотре и изучаются сведения, предоставляемые эксперту по самому объекту. Но не всегда предоставляемые эксперту сведения и образцы позволяют определить реальную картину пожара из-за значительного повреждения или полного уничтожения объекта в ходе пожара, а также от действий личного состава пожарно-спасательных подразделений при тушении пожара. Это не должно становится проблемой для получения объективных данных о пожаре.

Как известно отложения копоти образуются при любом пожаре, и они крайне ограниченно используются в качестве объекта получения экспертно-значимой информации о пожаре. Так, исследования копоти [6,7,8], которые проводили Галишев М.А., Чешко И.Д., Сайтова К.А., в основном связаны с определением инициаторов горения, получением значимой информации о процессах возникновения и развития горения, а также установления типа исходной пожарной нагрузки.

Копоть, в свою очередь, является хорошим сорбентом и помимо вышеперечисленных сведений, может содержать в себе другую не менее важную информацию о пожаре. В настоящей статье предлагается использовать отложения копоти в качестве объекта исследования по определению токсичных продуктов, выделяющихся при горении элементов пожарной нагрузки, для расширения возможностей пожарно-технической экспертизы.

При исследовании отложений копоти используются различные инструментальные методы, такие как колориметрические, хроматографические и др. Одним из наиболее эффективных методов обнаружения остаточного содержания, каких-либо веществ в отложениях копоти является метод спектроскопии в инфракрасной области спектра. Инфракрасная спектроскопия является разделом молекулярной оптической спектроскопии, изучающей спектры электромагнитного излучения, поглощающиеся и отражающиеся в диапазоне длин волн от  $10^{-6}$  до  $10^{-3}$ , т.е. в инфракрасной области [9].

В настоящей работе, для снятия спектров образцов копоти, использовался ИК фурье-спектрометр ФСМ 2201. В основе фурье-спектрометра ФСМ 2201 – интерферометр Майкельсона с самокомпенсацией, не требующий динамической юстировки. Спектрометры оснащены системой продувки сухим воздухом или азотом для минимизации спектральных помех от паров воды и углекислого газа, а также имеют влагозащитное покрытие оптических окон и светоделителя [10].

В качестве объектов исследования были выбраны два вида наиболее часто используемых материала в жилых квартирах для отделки интерьера и легко сменяемой обстановки помещений (мебель): мебельный поролон (рис. 3а) и пластиковая стенная панель (рис. 3б). Как известно, поролон – это эластичный пенополиуретан, а отделочные пластиковые панели в основном изготавливаются из поливинилхлорида. Рассматриваются именно эти материалы, так как при горении поливинилхлорид выделяет один из наиболее токсичных веществ – хлористый водород, а пенополиуретан – цианистый водород. При воздействии хлористого водорода в течение нескольких минут с концентрацией  $2000-3000$  мг/м<sup>3</sup> приводит к летальному исходу, а при воздействии цианистого водорода с концентрацией  $240-360$  мг/м<sup>3</sup> смерть наступает в течение 5-10 минут.

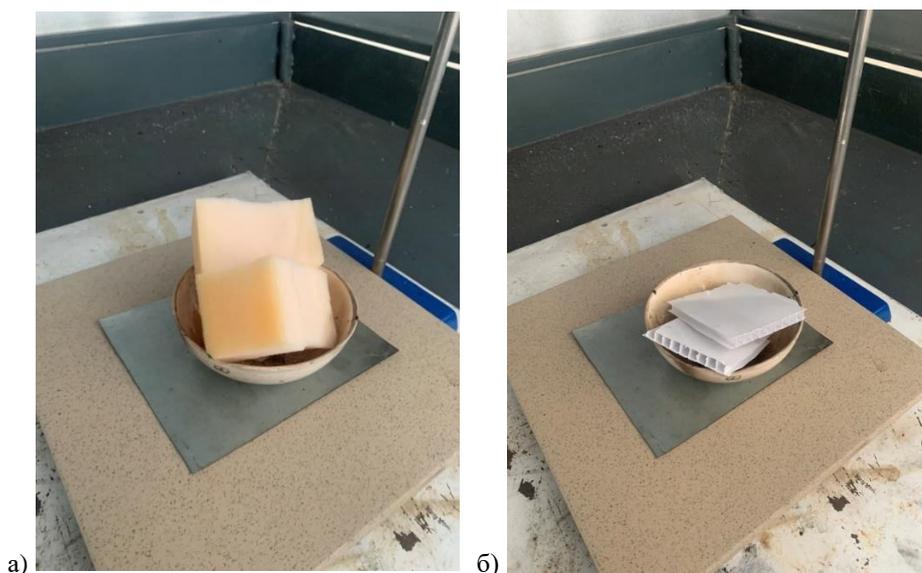


Рис. 3. Испытуемые образцы: а) мебельный поролон, изготовленный из пенополиуретана; б) стенная панель - из поливинилхлорида

Вышеуказанные полимерные материалы предварительно подготовили определенными размерами, для удобства их поджигания. После этого каждый образец поджигали

на лабораторной установке (рис. 4), представляющей собой лабораторный штатив, на который закреплена алюминиевая гофрированная труба, внутрь которой вставлено утолщенный лист стекла с размерами 120×160 мм. Лист также закреплен на штативе. Алюминиевая гофрированная труба применяется для максимального осаждения копоти на стекле. Под листом размещается сжигаемый материал.



Рис. 4. Лабораторная установка

Сформированные в результате горения образцы отложения копоти отбирались на агатовую ступку с помощью пинцета (рис. 5). В ступке предварительно растолчен бромид калия. Смесь тщательно перетиралась и высыпалась на пресс-форму. КВг таблетка прессовалась под давлением 9000 кг/см<sup>2</sup> и получилась относительно прозрачной и равномерной по окраске. Для того чтобы спектр таблетки укладывался в диапазон пропускания 4000-400 см<sup>-1</sup> оптимальная концентрация подбиралась опытным путем.



Рис. 5. Отбор проб копоти

Анализ ИК-спектра отложений копоти, после выгорания стеновой панели, изготовленной из поливинилхлорида (ПВХ) (рис. 6) показал наличие полосы в области  $680-700\text{ см}^{-1}$  и  $600-620\text{ см}^{-1}$ , относящиеся к колебаниям С-Cl- группы. Также в КВг таблетках выявлены области полос поглощения:  $2930-2980$  и  $1230-1280\text{ см}^{-1}$ , относящиеся к поглощению СН-группы,  $2900-2940$ ,  $2830-2880$ ,  $1410-1460$  и  $950-1000\text{ см}^{-1}$  соответствующие различным валентным колебаниям  $\text{CH}_2$ -группы,  $1300-1350\text{ см}^{-1}$  - сложному колебанию  $\text{CH}_2 + \text{CH}$  групп,  $1060-1110\text{ см}^{-1}$  - связанная с колебанием С-С-связи [11].

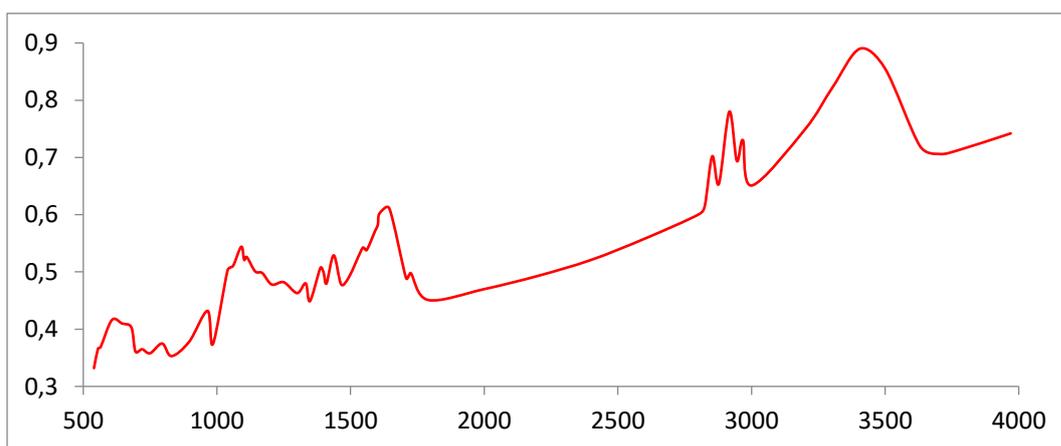


Рис. 6. Спектр копоти стеновой панели

Также при анализе ИК-спектра копоти пенополиуретана (рис. 7) представляющего собой мягкий поролон, установлено наличие полос при  $3300\text{ см}^{-1}$ , относящимися к валентным колебаниям группы NH, полос в области  $1700-1750\text{ см}^{-1}$  – «Амид I»,  $1500-1550\text{ см}^{-1}$  – «Амид II» [11].

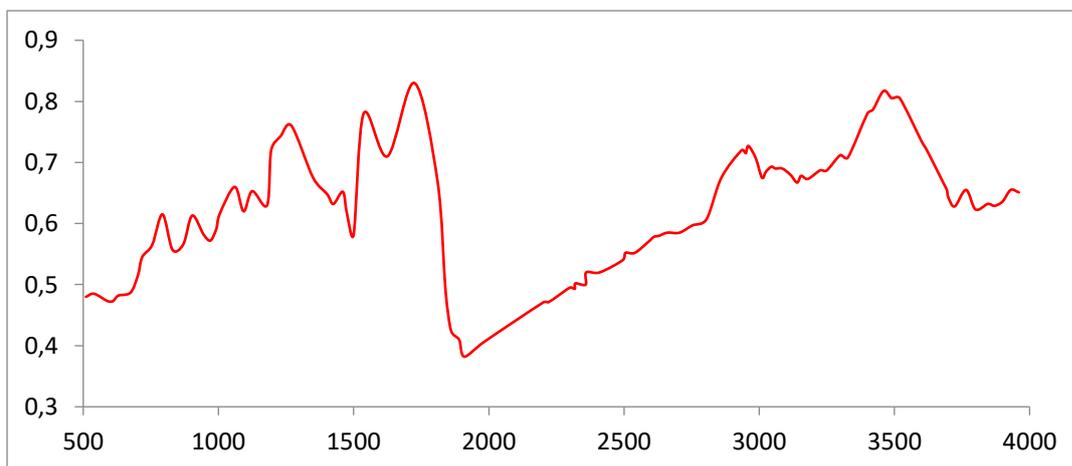


Рис. 7. Спектр копоти мебельного поролона

Таким образом, в результате проведенного анализа отложений копоти, полученных после выгорания материалов, с использованием инфракрасной спектроскопии, выявлено, что полученные ИК-спектры свидетельствуют о присутствии в образцах основных групп продуктов горения (таких, как NH-группа, С-Cl- группы, СН-группы,  $\text{CH}_2 + \text{CH}$  групп и С-С-связи), что не позволяет в точности определить, какие именно токсичные вещества и соединения выделялись при горении образцов. Для получения детальной информации

о качественном составе продуктов горения необходимо проведение дополнительного исследования, например, жидкостной хроматографии или флуоресцентной спектроскопии.

### Литература

1. Федеральный закон «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 № 69-ФЗ (с изменениями и дополнениями от 11 июня 2021 года).
2. Приказ МЧС России от 08.10.2018 года № 431 «О внесении изменений в Порядок учета пожаров и их последствий, утвержденный приказом МЧС России от 21.11.2008 года»
3. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: Статистический сборник. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2021, – 112 с.: 5 ил.
4. Пузач С.В. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах / С.В. Пузач, А.В. Смагин, О.С. Лебедченко, Е.С. Абакумов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007 – 222 с.
5. Пузач С.В. К определению показателя токсичности продуктов горения горючих веществ и материалов в помещении / С.В. Пузач, Доан Вьет Мань, В.Г. Пузач // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 4. – С. 4-13.
6. Галишев М.А., Медведев А.Ю., Бельшина Ю.Н. Исследование люминесцентных характеристик экстрактов отложений копоти для диагностики вида исходной пожарной нагрузки // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Сборник статей по материалам VII Всероссийской научно-практической конференции, 20 октября 2017 года, г. Железногорск - Изд-во: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 127 – 131.
7. Чешко И.Д., Соколова А.Н. Выявление очаговых признаков и путей распространения горения методом исследования слоев копоти на месте пожара: методические рекомендации. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008. – 49 с.
8. Саитова, К. А. Обнаружение инициаторов горения при исследовании копоти методом ИК-спектроскопии / К. А. Саитова, А. А. Шеков // Научный дайджест Восточно-Сибирского института МВД России. – 2019. – № 1(1). – С. 226-232. [Электронный ресурс] URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42349680&> (дата обращения: 16.08.2021).
9. Гапоненко, М.В. Исследование зольного остатка методом ИК-спектроскопии при отработке версии о поджоге / Гапоненко М.В., Долгушина Л.В. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2018, № 2.- С.19-23.- Режим доступа: [http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2018/v2/N9\\_19-23.pdf](http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2018/v2/N9_19-23.pdf), свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.
10. Описание ИК-Фурье спектрометра ИНФРАСПЕК ФСМ 2201: [Электронный ресурс] // URL: [https://www.nv-lab.ru/catalog\\_info.php?ID=4890&Full=1](https://www.nv-lab.ru/catalog_info.php?ID=4890&Full=1) (Дата обращения: 20.08.2021).
11. Зуев В.В. Применение ИК спектроскопии на предприятиях ТЭК: Учебно-методическое пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 61 с.