

---

---

# ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

---

---

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ СОВРЕМЕННОЙ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

### 1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

**И.Д. Чешко, доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки Российской Федерации;  
М.Ю. Принцева, кандидат технических наук.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены возможности использования методов молекулярной спектроскопии в пожарно-технической экспертизе. Приведены примеры применения молекулярной спектроскопии для исследования объектов различной природы и решения частных экспертных задач.

*Ключевые слова:* молекулярная спектроскопия, инфракрасная спектроскопия, УФ-спектроскопия, флуоресцентная спектроскопия, пожарно-техническая экспертиза, объекты исследования

Молекулярная спектроскопия – один из наиболее востребованных в аналитической химии инструментальных методов. В судебной экспертизе он широко используется в классе экспертиз, который обычно называют «криминалистическая экспертиза материалов, веществ и изделий» (КЭМВИ).

Молекулярная спектроскопия при проведении данного класса судебных экспертиз (как, впрочем, и широкого круга задач вне экспертной деятельности) позволяет определять количественный и качественный молекулярный состав веществ, функциональный состав (наличие тех или иных функциональных групп) у органических веществ и материалов, устанавливать типы связей в различных веществах.

Молекулярные спектры снимаются в инфракрасной (ИКС), а также в ультрафиолетовой (УФС) и видимой областях спектра.

Методы ИК- и УФ- спектроскопии к 70–80 гг. прошлого века активно применялись в КЭМВИ при исследовании лакокрасочных покрытий, волокон и тканей, искусственных и природных полимерных материалов. В первую очередь исследовались органические вещества и материалы, в меньшей мере – неорганические [1–3].

Лишь в отдельных случаях в рамках КЭМВИ исследовались материалы после теплового воздействия и термической деструкции, испаренные, выгоревшие, подвергшиеся в ходе пожара необратимым химическим и физическим превращениям. Этим, в частности, был обусловлен интерес к развитию инструментальных методов и методик, адаптированных под новые объекты и новые, чисто «пожарные» задачи, такие, например, как количественная оценка степени термических поражений материалов различной природы.

До 80-х гг. прошлого столетия инструментальные методы в пожарно-технической экспертизе применялись крайне ограничено. Относится это и к молекулярной спектроскопии во всех её разновидностях.

Разработка методик, ориентированных на исследование побывавших на пожаре объектов, и оснащение экспертных лабораторий пожарной охраны соответствующей приборной техникой позволили сделать молекулярную спектроскопию инструментом

в решении ряда частных экспертных задач пожарно-технической экспертизы, основные из которых рассмотрены ниже.

#### ***Исследование древесных углей***

Инфракрасная спектроскопия при исследовании древесных углей позволяла получить определенную информацию об условиях их образования. Прежде всего – температуры пиролиза. В работе [4] по химии и технологии пиролиза древесных материалов отмечалось, что до 200 °С изменений в ИК-спектрах древесины практически не происходит. В интервале 300–500 °С снижается интенсивность полос гидроксильных групп при 3800–3200 см<sup>-1</sup>. Падает интенсивность полос поглощения метильных и метиленовых групп (2900–2700 см<sup>-1</sup>), полос C-H колебаний при 1460–1420 см<sup>-1</sup>, полос колебаний простых эфирных и фенольных связей (1200–1000 см<sup>-1</sup>). Полоса 1600 см<sup>-1</sup>, обусловленная колебаниями -C=C- связей в бензольных кольцах и алифатических цепях, имеет высокую интенсивность до 500 °С, но к 600 °С полностью исчезает. При 600–700 °С для спектров характерно почти полное отсутствие полос поглощения, что является следствием образования жесткого углеродистого скелета (благодаря которому уголь, кстати, приобретает способность проводить ток).

В работе [5] были предложены количественные критерии, позволяющие оценивать степень термического поражения древесины по спектрам древесных углей – в качестве таковых использовались соотношения оптических плотностей отдельных характеристических полос ИК-спектров углей – D1100/D 1800; D1240/D1800; D1600/D1800.

#### ***Полимерные материалы***

Для обугленных остатков полимеров качественная оценка степени термического поражения возможна непосредственно по внешнему виду спектра – наличию в нем соответствующих полос и их интенсивности. Было показано, что, например, у поливинилхлорида с увеличением температуры пиролиза последовательно уменьшаются и исчезают полосы метильно-метиленовых групп (2940, 2870, 1430 см<sup>-1</sup>), полосы карбоксильных групп пластификатора (1740 см<sup>-1</sup>). Но заметно вырастает полоса ароматических компонентов при 1600–1650 см<sup>-1</sup> [5].

#### ***Текстильные волокна и ткани***

Попытки использовать метод ИКС предпринимались для установления природы обгоревших волокон [6]. Было показано, что ИК-спектроскопия позволяет классифицировать остатки текстильных материалов по типу волокон, но при условии, что температура нагрева материала не превышала некоей граничной температуры. Такие температуры были установлены для восьми основных видов однородных по волокнистому составу текстильных материалов. Так, например, вискоза сохраняет отличия от хлопка до 200 °С. Выше 300 °С у хлопка и целлюлозы исчезают характеристические полосы поглощения при 3400 и 1050–1100 см<sup>-1</sup>, позволяющие выделить их среди прочих текстильных материалов.

Шерстяные и шелковые ткани невозможно отличить друг от друга по ИК-спектрам, но их общая белковая природа устанавливается по наличию в спектре полос 1640 см<sup>-1</sup> (C=O валентные), 1210 см<sup>-1</sup> и 1500 см<sup>-1</sup> (валентные колебания C-N и деформационные колебания N-H). Эти полосы сохраняются до 250 °С. Капрон и триацетат сохраняют основные полосы спектров и, соответственно, возможности классификации до 300 °С; лавсан – до 400 °С.

#### ***Резина***

ИК-спектроскопия применяется и для классификации резины по типу использованного для ее изготовления каучука [7]. Неизвестно, правда, насколько она применима для термически разрушенных резин.

#### ***Лакокрасочные покрытия***

Изучение в ходе пожара изменений спектральных характеристик лакокрасочных покрытий (ЛКП) позволяет получить информацию об относительно низкотемпературных зонах нагрева конструкций и изделий – от 100–150 до 500 °С.

Термическое воздействие на ЛКП приводит к постепенному разложению и выгоранию органической части покрытия. Протекает оно в два этапа. Примерно до 400 °С происходит обугливание (карбонизация) органической части покрытия. При температуре

выше 400–450 °С карбонизованный остаток органической части начинает выгорать и при достаточной температуре и длительности теплового воздействия процесс может завершиться полным его выгоранием. Процесс термического разложения приводит к изменению функционального состава органической части ЛКП, которое хорошо фиксируется методом ИК-спектроскопии [8].

Характеристические полосы основных типов ЛКП приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристические полосы поглощения в ИК-спектрах различных типов ЛКП

Пленкообразующие	Характеристические полосы, см <sup>-1</sup>
Алкидные смолы (ПФ, ГФ)	1740–1720 и 1290–1260
Акрилуретановые смолы (АУ, АКАН)	1740–1720, 1690, 1530, 1290–1260, 1490, 1440, 750, 700
Алкидно-акриловые смолы	1740–1720, 1260–1290, 740, 710; увеличение интенсивности: 1470–1450, 1190–1150
Эпоксидные смолы	1490, 1260, 1030, 915, 860
Нитроцеллюлоза	1670–1650, 850
Поливинилхлорид	1430, 1250, 1200, 970
Поливинилацетат	1740, 1240, 1120 и 1020
Олифа натуральная (МА)	3000–2800, 1740–1720 и 1460–1380

При нагревании в ходе пожара ЛКП подвергаются термоокислительной деструкции, что отражается и на виде спектров. Данные о наличии основных характеристических полос с ИК-спектрах ЛКП после их нагрева до определенной температуры приведены в табл. 2.

В работе [8] были предложены количественные критерии, позволяющие оценивать степень термического поражения ЛКП. Такими критериями являются соотношения оптических плотностей отдельных характеристических полос ИК-спектров ЛКП, которые приведены в табл. 3.

Таблица 2. Данные о наличии полос в ИК-спектрах покрытий после нагрева (длительность нагрева 60 мин)

ЛКП	Полоса, см <sup>-1</sup>	Температура нагрева, °С									
		Исх.	200	250	300	350	400	500	600	700	800
НЦ	2940	+	+	+	+	+	сл.	сл.	–	–	–
	2860	+	+	+	+	+	сл.	сл.	–	–	–
	1740	+	+	+	+	+	сл.	сл.	–	–	–
	1650	+	пл.	пл.	пл.	пл.	пл.	–	–	–	–
	1280	+	сл.	сл.	сл.	–	–	–	–	–	–
ПФ	2940	+	+	+	+	+	сл.	–	–	–	–
	2860	+	+	+	+	+	сл.	–	–	–	–
	1740	+	+	+	+	сл.	сл.	–	–	–	–
	1780	+	+	+	+	сл.	сл.	–	–	–	–
МА	2940	+	+	+	+	+	+	сл.	–	–	–
	2860	+	+	+	+	+	+	сл.	–	–	–
	1740	+	+	+	+	+	сл.	–	–	–	–
	1430	+	+	+	+	+	сл.	–	–	–	–
ВД–ВА	1740	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–
	1240	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–
	1020	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	1440	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	875	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

ВД-АК	1740	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	1240	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	1020	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	1440	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	875	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
П-ПЛ	2870	+	+	+	+	+	сл.	-	-	-	-
	1730	+	+	+	+	+	сл.	-	-	-	-
	1270	+	+	+	+	+	сл.	-	-	-	-
	730	+	+	+	+	+	сл.	-	-	-	-
ЭП-ПЛ	2940	+	+	+	+	+	сл.	-	-	-	-
	1725	+	+	+	+	+	сл.	-	-	-	-
	1270	+	+	+	+	+	сл.	-	-	-	-
	730	+	+	+	+	+	сл.	-	-	-	-
Грунт-эмаль	2925	+	+	+	+	сл.	-	-	-	-	-
	1725	+	+	+	+	сл.	-	-	-	-	-
	1020	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	460	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание: «+» – полоса есть, «-» – полоса отсутствует; пл. – полоса в виде «плеча» на фоне другой полосы поглощения; сл. – полоса слабая по интенсивности

Таблица 3. Спектральные критерии оценки степени термического поражения ЛКП на месте пожара

Вид покрытия	Спектральный критерий
ВД-ВА	$S_1 = D_{1740}/D_{460}$ или $S_2 = D_{1240}/D_{460}$
ВД-АК	$S_1 = D_{1740}/D_{600}$ ; $S_2 = D_{1240}/D_{600}$ или $S = D_{1020}/D_{600}$
НЦ	$S_1 = D_{1740}/D_{1600}$ или $S_2 = D_{1280}/D_{1600}$
ПФ	$S = D_{1735}/D_{2939}$
Грунт-эмаль Palitra	$S = D_{1735}/D_{2939}$

### Неорганические строительные материалы

ИК-спектроскопия оказалась востребованной для оценки степени термических поражений неорганических строительных материалов, изготовленных безобжиговым методом на основе цемента, извести, гипса в качестве связующих [4, 8]. Были предложены так называемые спектральные критерии (аналогично рассмотренным выше лакокрасочным покрытиям), представляющие собой соотношения оптических плотностей характеристических полос в спектрах указанных материалов. Величина критериев последовательно возрастала или снижалась с увеличением температуры и длительности нагрева материала и, таким образом, объективно отражала последствия термических превращений материала в условиях пожара (рис. 1).

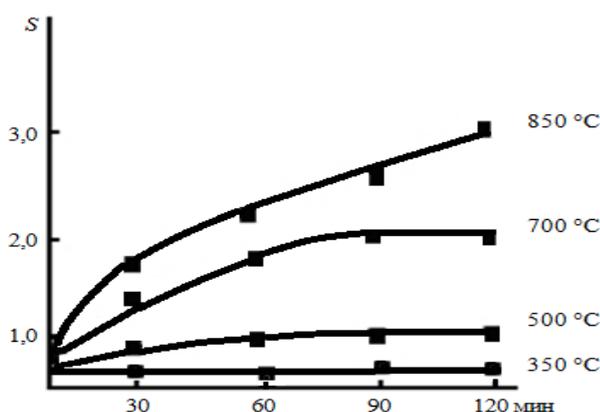


Рис. 1. Зависимость спектрального критерия  $S_7 = D_{520}/D_{460}$  от температуры нагрева для материалов на основе цементного камня [5]

Полученные данные можно было использовать при построении зон термических поражений материалов и конструкций при пожаре – таким образом, появлялась объективная основа для решения ключевого вопроса судебной пожарно-технической экспертизы (СПТЭ) – установления очага пожара.

У материалов на основе гипса ИК-спектроскопия позволила четко проследить переход гипсового связующего из дигидрата в полугидрат и далее в различные формы ангидрита сульфата кальция (рис. 2). Это дает возможность определять температуру нагрева в тех или иных зонах пожара, то есть получать информацию, необходимую для поисков очага пожара, а в отдельных случаях – и установления его причины.

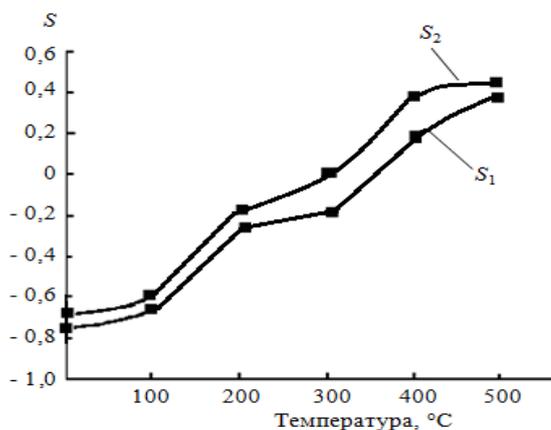


Рис. 2. Зависимость спектральных критериев от температуры для материалов на основе гипса:  
 $S_1 = (D_{612} + D_{596} - D_{604})/D_{1150} - D_{3610}/D_{3560}$ ;  $S_2 = (D_{676} - D_{670})/D_{1150} - D_{3610}/D_{3560}$

### *Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости*

Обнаружение и исследование легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (ЛВЖ и ГЖ) – весьма актуальная задача при расследовании пожаров, поскольку эти жидкости часто применяются для совершения поджогов. При этом ИК- и УФ- спектроскопии использовались (а ИКС продолжает использоваться) как вспомогательные методы, дополняющие основные (газо-жидкостную хроматографию, хромато-масс-спектрометрию, флуоресцентную спектроскопию).

### **ИК- спектроскопия**

С помощью ИК-спектроскопии возможно решение диагностических и идентификационных задач при исследовании остатков ЛВЖ и ГЖ [8].

Диагностические и идентификационные задачи часто возникают в связи с обнаружением на месте пожара следов ЛВЖ и ГЖ и включают в себя анализ химического состава обнаруженных ЛВЖ и ГЖ, а также сравнение их с конкретными аналогами для установления их идентичности. Например, остатков жидкости в пробе грунта и в канистре, изъятой с места пожара.

Идентификация может проводиться так называемым «методом отпечатков пальцев» – наложением ИК-спектров друг на друга и их сравнением по наличию отдельных полос и их интенсивностей. В случае полного совпадения спектров можно констатировать идентичность двух жидкостей по спектральным характеристикам.

По чувствительности метод ИК-спектроскопии существенно уступает методам газожидкостной хроматографии (ГЖХ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС). Поэтому метод ИКС обычно используют, когда жидкость обнаружена хотя бы в капельных количествах, например, в брошенных на месте пожара емкостях и может быть оттуда слита или смыта со стенок небольшим количеством растворителя.

ИК-спектры жидкостей рекомендуется снимать с применением приставки МНПВО [9]. В случае малого количества вещества можно снимать ИК-спектры раствора этого вещества в каком-либо растворителе, учитывая, что полосы поглощения растворителя могут перекрывать полосы поглощения исследуемого вещества. Поэтому следует выбирать растворитель, имеющий минимальное количество полос поглощения в исследуемом спектральном диапазоне. Рекомендуется, в частности, применять четыреххлористый углерод, хлороформ, хлористый метилен. Иногда приходится снимать спектры в нескольких растворителях, чтобы выявить полосы поглощения изучаемого вещества.

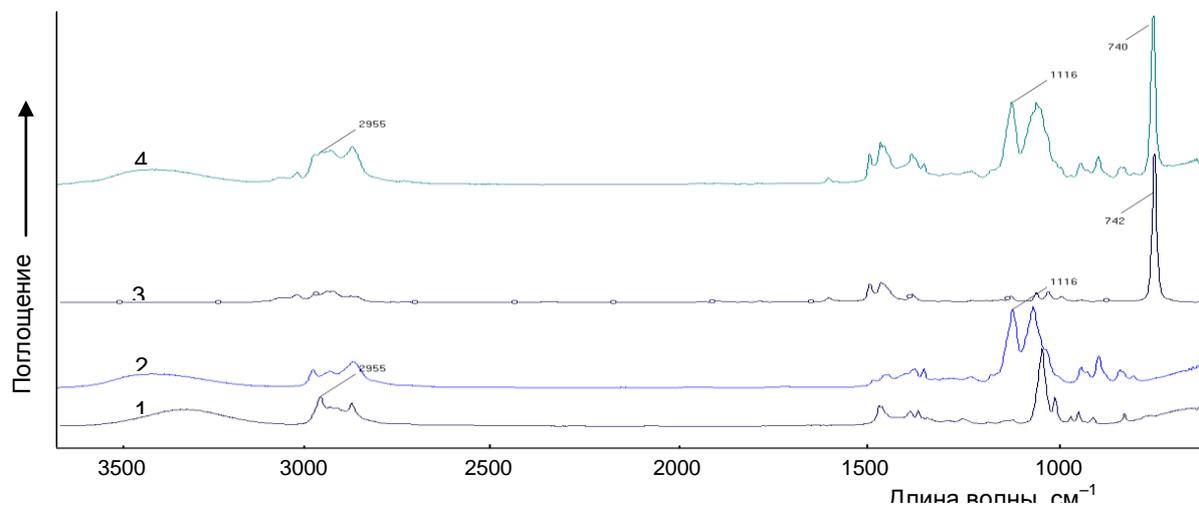


Рис. 3. ИК-спектры растворителя 649 и составляющих его компонентов (Фурье-спектрометр ФСМ-1201): 1 – изобутиловый спирт; 2 – этилцеллозольв; 3 – о-ксилол; 4 – растворитель 649

Важной особенностью ИК-спектров является свойство *аддитивности*, в силу которого спектр смеси нескольких веществ представляет собой наложение спектров, входящих в смесь компонентов. В качестве примера свойства аддитивности ИК-спектров на рис. 3 представлены ИК-спектры смесового растворителя 649, содержащего о-ксилол, изобутиловый спирт, этилцеллозольв и спектры индивидуальных компонентов, входящих в состав этого растворителя.

ИК-спектр растворителя 649 содержит полосы поглощения, характерные для спектров составляющих его компонентов.

ИК-спектры смесовых растворителей сохраняют индивидуальные особенности примерно до 50–60 % степени выгорания. При более высоких степенях выгорания вид спектров меняется за счет преимущественного испарения и выгорания более летучих компонентов.

В табл. 4 приведены комбинации полос поглощения и соответствующих им колебаний для различных инициаторов горения [9].

### УФ-спектроскопия

Спектроскопию в УФ-области предлагалось использовать при обнаружении и исследовании нефтепродуктов, которые применялись злоумышленниками как средство поджога. В УФ-спектрах ароматических углеводородов и содержащих их нефтепродуктов, а также алкенов, имеющих сопряженные двойные связи, в интервале 240–280 нм присутствует так называемая «полоса бензольного поглощения». Её наличие указывает на присутствие в пробе ароматических углеводородов, которые, как известно, содержатся в товарных бензинах, бензинах-растворителях (толуол, бензол, ксилолы, примесные количества полиядерных углеводородов). Однако по чувствительности при обнаружении светлых нефтепродуктов данный метод не выдержал конкуренции с флуоресцентной

спектроскопией, газожидкостной хроматографией и даже ИКС. Вызвано это, по всей вероятности, выгоранием лёгких ароматических компонентов (толуола, бензола, ксилолов), вносящих основной вклад в поглощение в области «бензольной полосы» [5].

Таблица 4. Характеристические полосы поглощения для различных групп атомов, входящих в состав различных интенсификаторов горения

Интервал волновых чисел, см <sup>-1</sup>	Нефтепродукты				Смесевые растворители и индивидуальные вещества						
	Бензины	ДТ	Керосины/ уайт-спирит	Нефрасы (парафиновые)	Алканы (гексан и пр.)	Алифатические спирты	Бензол, толуол, ксилол	Кетоны (ацетон)	Сложные эфиры (этилацетат)	Р-646 – Р-650	Р-4
3600-3300	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
3100-3000	редко плечо	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+
2960-2820	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1750-1700	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
1620-1640	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
Ближе к 1600	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Ближе к 1500	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+
1470-1360	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1470-1360	+	+	+	+	+	(плохо разреш.)	+	+	(две полосы)	+	+
1270-1250	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
1220 -1000	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+
1150-1100	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
1130-1110	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
1080-1060	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
800-680	+	-	слаб.	слаб.	-	-	+	-	-	+	+
750-720	-	очень слаб.	слаб.	слаб.	+	-	-	+	+	слаб.	-
700-600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### Флуоресцентная спектроскопия

Способность нефти и нефтепродуктов люминесцировать известна давно. Она обусловлена в первую очередь наличием в них ароматических углеводородов. Возможность применения флуоресцентной спектроскопии в криминалистическом исследовании нефтепродуктов впервые (по крайней мере, в СССР) была показана в работе В.В. Бибикова с соавторами [10]. Исследовались масла нефтяного происхождения. Источником света была лампа накаливания, спектры люминесценции (эмиссионные спектры) фиксировали спектрографом ИСП-51. По мнению авторов, по спектрам флуоресценции смазочных материалов можно устанавливать их принадлежность к нефтепродуктам (НП), а также тип смазки.

Задача обнаружения НП как средств поджога тогда не ставилась, хотя у данного метода, получившего интенсивное развитие в последние годы, в сфере исследования

и экспертизы пожаров был предшественник в виде полевого прибора – ультрафиолетового осветителя. Считалось, что он обнаруживает нефтепродукты по характерному их свечению, вызванному явлением люминесценции. Однако со временем от этого метода отказались по причине так называемого «гашения люминесценции» – физического явления, не позволяющего обнаруживать нефтепродукты даже в виде небольших лужиц на многих объектах-носителях.

Первая отечественная методика по обнаружению и исследованию следов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в вещественных доказательствах, изымаемых с места пожара, разработана во ВНИИПО в 1985 г. [11]. В дальнейшем исследования в этом направлении были продолжены в СПбФ ФГУ ВНИИПО и СПбУ ГПС МЧС России [12–15].

Методика, применяемая в настоящее время в экспертной практике судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы, разработана в ИЦЭП ФГУ ВНИИПО [13].

Была выбрана оптимальная длина волны возбуждения – 255 нм, при которой люминесцируют моноароматические углеводороды (МАУ), бициклические ароматические углеводороды (БАУ), трициклические ароматические углеводороды (ТАУ) и другие полиароматические углеводороды (ПАУ), обнаруживаемые в нативных и выгоревших ЛВЖ и ГЖ.

Большинство светлых нефтепродуктов в заданных условиях анализа ( $\lambda_{\text{возб}} - 255 \text{ нм}$ ) имеют два максимума в области МАУ (270–300 нм) (кроме нефтяного сольвента, дизельных топлив и масел) и максимум в области БАУ (300–330 нм). Максимум в области БАУ отсутствует у смесевых растворителей. Продукты тяжелых фракций нефти (моторные масла, автомобильные смазки, мазут и др.) содержат кроме МАУ и БАУ ароматические углеводороды с числом колец более двух, поэтому в спектрах появляются пики в области (340–370 нм) [16].

При выгорании нефтепродуктов и содержащих ароматические углеводороды растворителей ненефтяной природы в их спектрах флуоресценции появляются новые максимумы в области ПАУ (370–430 нм). Максимумы в области БАУ (300–330 нм) обычно сохраняются, а максимумы в области МАУ (270–300 нм) постепенно исчезают (рис. 4).

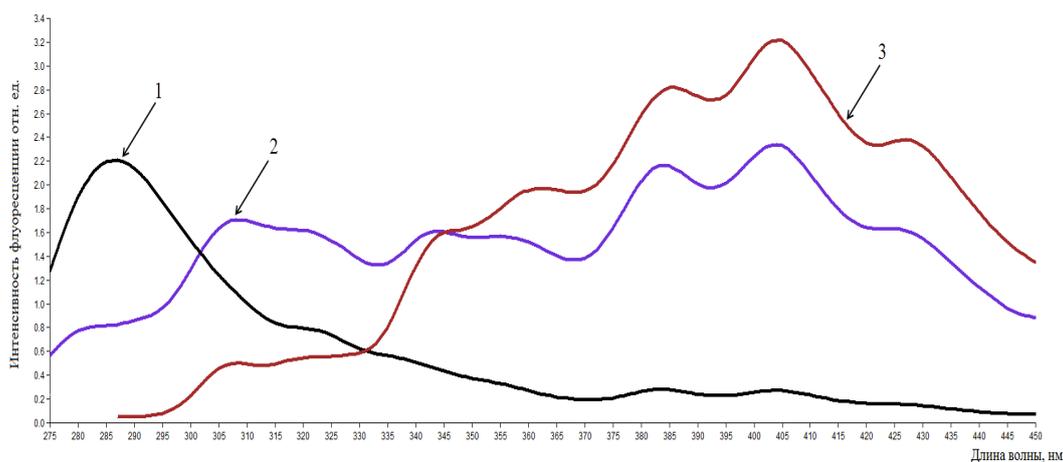


Рис. 4. Спектры флуоресценции бензина неэтилированного Премиум Евро-95 вид III, ГОСТ Р 51866-2002: 1–нативный бензин; 2 – степень выгорания 50 масс. %; 3 – степень выгорания 99 масс. %

О наличии в пробе *нативных нефтепродуктов* свидетельствует присутствие в спектре флуоресценции максимумов в области:

- 270–300 нм, 300–330 нм – автомобильные бензины, керосины, нефтяные растворители;
- 300–330 нм – дизельное топливо, нефтяные сольвенты;
- 300–330 нм, 340–370 нм – (тяжелые нефтяные фракции – масла, смазки и т.д.).

О наличие в пробе *выгоревших нефтепродуктов или иных жидкостей, содержащих ароматические углеводороды*, свидетельствует присутствие в спектре флуоресценции максимумов в области 300–330 нм, 340–370 нм, 370–390 нм, 390–410 нм, 410–430 нм.

Присутствие единичного узкого максимума в области 270–300 нм свидетельствует о наличие в пробе моноароматических углеводородов (толуол, ксилол и т.д.) или содержащих их смесевых растворителей.

Сегодня молекулярная спектроскопия – одна из экспертных специализаций судебной пожарно-технической экспертизы и метод, точнее – группа методов, которые активно применяются в исследовании и экспертизе пожаров. Учитывая аналитические возможности, разнообразия решаемых частных экспертных задач и исследуемых объектов, а также имеющуюся в экспертных лабораториях приборную базу, у молекулярной спектроскопии – неплохие перспективы развития сферы использования.

### **Литература**

1. Беляева Л.Д. Криминалистическое исследование лакокрасочных материалов и покрытий: метод. пособие. М.: ВНИИСЭ, 1977. 400 с.
2. Бибилов В.В., Хрусталева В.Н. Особенности идентификационного исследования методами молекулярной спектроскопии и оптической микроскопии: метод. письмо № 62. М.: ВНИИ МВД СССР, 1983. 35 с.
3. Седова Т.А. Применение спектроскопии внутреннего отражения в судебной экспертизе. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 108 с.
4. Кислицин А.Н. Пиролиз древесины: химизм, кинетика, продукты, новые процессы. М.: Лесная пром., 1990. 231 с.
5. Чешко И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). СПб.: СПбИПБ МВД России, 1997. 560 с.
6. Тимофеева В.И., Федянина Н.В. Установление природы волокнообразующих полимеров текстильных материалов, подвергнутых процессу термоокислительной деструкции методом ИК-спектроскопии // Экспертная техника. 1988. Вып. 106. С. 81–95.
7. Постевка К.В. Криминалистическое исследование резины и изделий из нее: метод. письмо для экспертов. М.: ВНИИСЭ, 1985. 40 с.
8. Андреева Е.Д., Чешко И.Д. Применение ИК-спектроскопии при исследовании объектов, изъятых с места пожара: метод. пособие. М.: ВНИИПО, 2010. 91 с.
9. Диагностика идентификации горючих жидкостей при исследовании объектов пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие / М.Ю. Принцева [и др.]. СПб.: С.-Петербур. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 148 с.
10. Бибилов В.В., Кузьмин Н.М. Экспертное исследование смазочных материалов. М.: ВНИИ МВД СССР, 1977. 136 с.
11. Обнаружение и исследование остатков легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в вещественных доказательствах, изымаемых с места пожара / Р.Х. Кутуев [и др.]. М.: ВНИИПО, 1985. 49 с.
12. Техническое обеспечение расследования поджогов, совершенных с применением инициаторов горения: учеб.-метод. пособие / И.Д. Чешко [и др.]. М.: ВНИИПО, 2002. 120 с.
13. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах: метод. пособие. М.: ВНИИПО, 2010 90 с.
14. Принцева М.Ю., Клаптюк И.В., Чешко И.Д. Применение метода флуоресцентной спектроскопии для обнаружения и установления состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, используемых при поджогах // Пожарная безопасность. 2010. № 2. С. 94–99.
15. Галишев М.А. Многоцелевые экспертные технологии по прогнозированию и мониторингу чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: С.-Петербур. ун-т ГПС МЧС России. 2004. 300 с.
16. Паркер С. Фотолюминесценция растворов. М.: Мир, 1975. 510 с.