

Научная статья

УДК 614.842

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.63.017

Современные спектральные методы анализа, применяемые при исследовании товарных нефтепродуктов в целях пожарно-технической экспертизы

Надежда Александровна Кравченко

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия,
<https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

Автор ответственный за переписку: Надежда Александровна Кравченко, nak_ipi@mail.ru

Аннотация. В данной работе было проведено рассмотрение некоторых спектральных методов анализа как современных инструментов при проведении пожарно-технической экспертизы. Предметом анализа пожарно-технической экспертизы, как правило, выступают товарные нефтепродукты. При этом возможности исследуемых методов позволяют осуществлять не только общепринятую идентификацию индивидуальных веществ, но и качественный, а также количественный анализ различных многокомпонентных смесей. В статье проведен анализ основных качественных характеристик оборудования, имеющегося на вооружении ФГБУ СЭУ ИПЛ, применяемого при исследовании товарных нефтепродуктов в целях пожарно-технической экспертизы.

Ключевые слова: методы пожарно-технической экспертизы, причины пожаров, поджог, инфракрасная спектроскопия, идентификация веществ

Для цитирования: Кравченко Н.А. Современные спектральные методы анализа, применяемые при исследовании товарных нефтепродуктов в целях пожарно-технической экспертизы // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2 (25). С. 148-156.

Original article

FIRE SITE SURVEY FEATURES TO OBTAIN INFORMATION NEEDED TO ADDRESS REGULATORY SPECIALIZATION ISSUES

N.A. Kravchenko

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia,
<https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

Corresponding author: Kravchenko N.A., nak_ipi@mail.ru

Abstract. The paper considers modern spectral analysis methods as tools for performing fire-technical expertise. The subject of analysis, as a rule, are commercial petroleum products. At the same time, the capabilities of the methods allow not only the traditional identification of individual substances, but also the qualitative and quantitative analysis of multicomponent mixtures. The analysis of the main characteristics of the equipment available in the FSBI SEU IPL, used in the study of commercial petroleum products for the purpose of fire technical expertise, is carried out.

Keywords: methods of fire-technical expertise, causes of fires, arson, infrared spectroscopy, identification of substances

For citation: Kravchenko N.A. Modern spectral methods of analysis used in the study of commodity petroleum products for the purpose of fire and technical expertise // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2022. №. 2 (25). С. 148-156.

Пожар – это событие, возможность наступления которого всегда является высокой. При соблюдении должных мер противопожарной безопасности удастся значительно снизить вероятность наступления возгорания. В случае же когда пожара избежать все-таки не удалось, то встает вопрос о том, где находится его очаг, кто будет заниматься его установлением, как пожар развивался в пространстве и времени, и самое главное, что послужило источником загорания, применялось ли какое-либо горючее вещество? Как раз данные основные вопросы и относятся к ведению пожарно-технической экспертизы.

В настоящее время экспертизы по делам о пожарах относятся к наиболее сложным видам криминалистического исследования. В настоящее время в предмет исследования пожарно-технической экспертизы входит любой объект, расположенный в пределах зоны поражения огнем, информация об условиях и, что особенно важно, причинно-следственных связях, вызвавших пожар, развитии пожара, о том, как проходило тушение, какие последствия вызваны возгоранием.

Так или иначе, анализ места пожара способен дать квалифицированному специалисту (эксперту) большое количество важной информации, которая обеспечит обнаружение остатков различных сгоревших веществ, позволит определить характеристики огневых разрушений конструкций и материалов, выявить их свойства и состав. Даже самые небольшие следы будут в состоянии помочь квалифицированному специалисту (эксперту) в установлении причины и места возгорания.

Современный специалист (эксперт) должен обладать познаниями о процессах, происходящих на пожаре, о взаимодействии структуры и изменении свойств обугленных остатков с условиями горения. Также, исследующему пожар специалисту (эксперту), понадобятся представления о возможных методах анализа термически пораженных веществах и материалов, о характере информации, которая может быть при этом получена, и конечно, как следует эту информацию трактовать.

По статистике за 2021 год в нашей стране уже произошло 31665 пожаров [1]. 2316 из них произошли по причине умышленного поджога, вследствие взрыва – установлено 17 пожаров, в силу самовоспламенения горючих веществ и материалов – 65.

Зачастую причинами пожаров являются неосторожное обращение граждан с огнем, умышленные поджоги, человеческий фактор (оставленные без присмотра электроприборы, печи отопления, курение в необорудованных противопожарной сигнализацией помещениях и прочее), природные факторы (попадание молнии). Для того, чтобы обнаружить причину возгорания пожарно – техническому эксперту необходимо провести определенный комплекс исследований с применением различного современного сложно-технического оборудования и реактивов [2].

Традиционно инициаторами горения для поджога и розжига могут выступать различные нефтепродукты или специальные смеси. По своей сути, нефтепродуктами являются любые вещества, которые были получены посредством производственной переработки нефтяного сырья. Но все же, на практике наиболее широкое распространение получили так называемые товарные нефтепродукты. Именно они представляют собой смесь определенного состава из нескольких индивидуальных веществ с характерными только для данного товарного нефтепродукта свойствами.

Зачастую, при организации умышленных поджогов, злоумышленники применяют самые доступные горючие смеси, например, известный «коктейль Молотова». Самым распространенным вариантом такого «коктейля» считается смесь из таких товарных нефтепродуктов как бензин и моторное масло в различных соотношениях. Бензин –

легковоспламеняющееся вещество, и машинное масло добавляется для повышения вязкости смеси, чтобы бензин очень быстро растекался по поверхности и долго горел. В настоящее время практически любому человеку не составит особого труда достать так называемый «коктейль Молотова». Достаточно слить ее из бензопилы или газонокосилки с двухтактным двигателем внутреннего сгорания, в которых в качестве топлива применяется смесь моторного масла и бензина.

Поэтому возникает необходимость определения, что представляет собой данная смесь, и применяли ли именно ее на каком либо пожаре.

При исследовании основных следов поджогов основные задачи специалиста (эксперт) при проведении пожарно-технической экспертизы заключается в следующем:

- определение вещества, применяемого для поджога,
- идентификация горючего вещества,
- сбор и формирование доказательной базы по делу о поджоге [6].

Лабораторные методы позволяют установить состав, разновидность, групповую принадлежность и другие характеристики обнаруженного вещества. К лабораторным методам анализа, которые применяются в современных испытательных пожарных лабораториях, относятся: газовая хроматография; флуоресцентная спектроскопия и инфракрасная спектроскопия.

Наиболее распространенными в практике проведения пожарно-технической экспертизы способов отнесения вещества к тому или иному классу, то есть его идентификации, являются спектральные методы анализа. Основными сильными сторонами спектральных методов анализа в целях проведения пожарно-технической экспертизы являются: высокая информативность методов, невысокие требования к качеству образца, его массе; возможность применения для исследования образцом небольшой массы и любого агрегатного состояния; действие излучения не наносит вред образцам во время проведения экспертизы [3].

Таким образом, благодаря ряду достоинств, спектральные методы анализа – это, на сегодняшний день, наиболее оптимальные методы, которыми эксперт может воспользоваться при исследовании товарных нефтепродуктов в целях пожарно-технической экспертизы.

Вопрос применения современных спектральных методов анализа при исследовании товарных нефтепродуктов в целях пожарно-технической экспертизы хорошо разработан в отечественной и зарубежной литературе.

Среди российских ученых можно отметить работы Галишева М.А., Бельшиной Ю.Н., Дементьева Ф.А. [2], Чешко И.Д. [7], Плотникова В. Г. [6], Тарасевич Б.Н. [4], Шубина А.А., Лагунова А.Н., Богданова А.А., Гапоненко А.А. [8] и др. Также вопросам применения современных спектральных методов анализа при исследовании товарных нефтепродуктов посвящены научные труды таких зарубежных авторов как Гурвиндер Сингх Бумбрах и Раджиндер Кумар Зарин (Университет Эмити, Узбекистан), Ракеш Шарма (Национальный юридический университет имени Раджива Ганди, Индия) [9], Карлос Мартин-Альберка и Кармен Гарсия-Руис (Университет Алькалы, Испания) [10], Дж. Грэм Рэнкин, Николас Петрако (Университет Маршалла, США) [11] и др.

В таких развитых странах, как США, Великобритании, Франция, Япония, Канада большое внимание уделяется работе испытательных пожарных лабораторий, оснащенных весьма современным аналитическим оборудованием. Хорошо развита и так называемая полевая криминалистика, т.е. криминалистические средства и методы, приспособленные для применения в ходе осмотра места пожара и других действий, проводимых в сложных, а зачастую и неблагоприятных условиях. Испытательные пожарные лаборатории США, Германии, Великобритании, Франции, Японии располагают специально оборудованными автомобилями и вертолетами, широко используют в работе компьютерную и лазерную технику, активно применяют современное спектральное оборудование при исследовании нефтепродуктов в целях пожарно-технической экспертизы.

Оснащение и организация деятельности российских пожарно-испытательных лабораторий не уступает, а часто даже превосходит своих зарубежных коллег.

Так Федеральное государственное бюджетное учреждение «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Омской области» (ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Омской области) является пожарно-техническим учреждением Государственной противопожарной службы, осуществляющим деятельность по организации и производству судебных экспертиз, исследований, профессиональной подготовке и специализации экспертов, а также научно-техническую деятельность, направленную на получение и применение новых знаний, необходимых для достижения поставленных целей. ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Омской области создано в целях обеспечения исполнения полномочий должностных лиц органов государственного пожарного надзора федеральной противопожарной службы, а также повышения эффективности деятельности при расследовании преступлений и правонарушений, связанных с пожарами.

Очень часто специалистами ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Омской области по назначению органами предварительного следствия по факту произошедших пожаров проводится пожарно-техническая экспертиза. Современные различные технические средства и методы, которыми располагает испытательная пожарная лаборатория, имеют возможность установить последовательность событий во время пожара, выявляя его очаг, причину, источник возгорания, какие зажигательные смеси при этом применялись [5].

Таблица 1. Сравнительные характеристики инфракрасных спектрометров [12]

Модель ИК спектрометров	ФСМ 1201 (1202)	Avatar 330	Spectrum One	Tenzor 27	FTIR-8400
Фирма-производитель	МОНИТОРИНГ, Россия	Termo Nicolet, США	Perkin Elmer, США	Bruker, Германия	Shimadzu, Япония
Спектральное разрешение, см-1	400-7800	350-7400	350-7800	370-7800	350-7800
Спектральное разрешение, см-1	1,0 (0,5)	1	0,5	1	1
Отношение сигнал/шум (разрешение 4 см-1, время регистрации 1 мин.)	20000	16000	> 24000	Нет сведений	> 20000
Тип детектора	LiTaO ₃	DTGS	DTGS	DTGS	DTGS
Гарантийный период, мес.	18	12	12	12	12
Примерная стоимость поставки (DDP, Москва), долл. США	13900	32000	47600	55000	29000

Анализ данных таблицы 1 показывает, что ИК Фурье-спектрометр ФСМ 1201 по некоторым параметрам превосходит зарубежные аналоги. Во-первых, ценой. Цена на ИК Фурье-спектрометр ФСМ 1201 в несколько раз ниже, чем цена на зарубежные спектрометры. Зарубежные аналоги и так неоправданно дорогие, так они еще становятся все дороже и дороже. ИК Фурье-спектрометры ФСМ 1201 сравнимы по точности и надежности с зарубежными. Поэтому показатель «цена/качество» у нас в разы лучше. Во-вторых, доступностью обслуживания и консультаций. Пользователи могут в любой момент обратиться за помощью непосредственно к разработчику.

В настоящее время на вооружении ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Омской области, кроме прочего современного оборудования, находится инфракрасный Фурье-спектрометр ФСМ 1201 и спектрофлуориметр «Флюорат-02-ПАНОРАМА».

Инфракрасный Фурье-спектрометр ФСМ 1201 предназначен для проведения регистрации и исследования оптических спектров в инфракрасной области. При помощи Фурье-спектрометр специалисты (эксперты) ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Омской области выявляют присутствие различных неуглеводородных компонентов, входящих в состав исследуемых легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, а также провести их диагностику в соответствии с полосами поглощения соответствующих функциональных групп. В случае, если указанные полосы поглощения отсутствуют, это указывает на то, что в исследуемой смеси присутствуют только углеводородные компоненты, что позволяет отнести анализируемый образец к товарным нефтепродуктам.



Рис. 1. ИК Фурье-спектрометр ФСМ 1201

«Работа ИК Фурье-спектрометра ФСМ 1201, основана на принципе возбуждения атомов и атомных групп, которое вызывает их колебания. Спектры, соответствующие колебательным переходам, наблюдаются в инфракрасной области (1013–1014 Гц). Колебательные спектры обладают довольно высокой специфичностью и широко применяются для идентификации различных веществ. Каждому же веществу присущ свойственный только ему одному соответствующий набор полос, и не существует в природе двух веществ, имеющие одинаковые колебательные спектры» [5]. Для подавляющего количества соединений пределы обнаружения при инфракрасной спектроскопии не превосходят концентрации 0,05 мкг/мл.

Как указывают Шубин А.А., Лагунов А.Н., Богданов А.А., А.А. и Гапоненко А.А., «рассмотрение ИК-спектра вещества, на предмет его идентификации и структурного анализа, проводится путем сопоставления с библиотечными спектрами и/или сравнения со справочными данными, широко представленными в литературе» [8]. Так, удовлетворительная, а также, однозначная идентификация по спектру возможна лишь только для чистого индивидуального вещества.

Кроме этого возникает сложность рассмотрения схожих по природе веществ. Для примера на рисунке 2 представлено сопоставления ИК-спектров нескольких типов распространенных товарных нефтепродуктов, в частности: АИ-100-К5, ТС-1, ДТ-З-К5, бензин «Галоша», распространенный растворитель В-646, растворитель Р-4 и сольвент. Спектральные профили всех сопоставляемых образцов похожи. Это обусловлено тем, что все эти образцы относятся к углеводородам, т.е. имеют набор одинаковых связей [8].

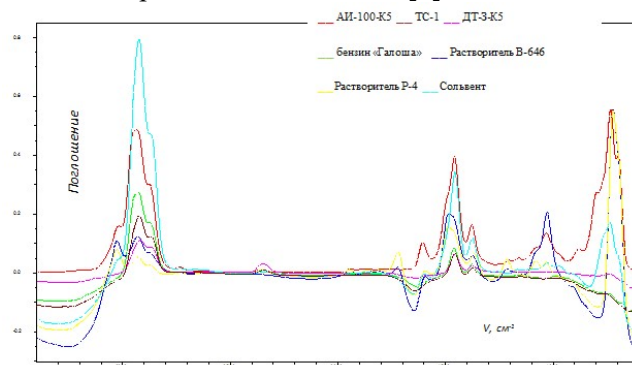


Рис. 2. Сопоставление ИК-спектров поглощения некоторых типов топлив

Все же, не смотря на схожесть спектральных профилей для бензинов разной марки, тем не менее, можно выделить, свойственные каждой марке, свои особенности (Рис. 4, 5). На рис. 4 наглядно представлено сопоставление ИК-спектров поглощения бензинов разной марки: АИ-92-К5, АИ-92-К5, АИ-98-К5 и АИ-100-К5. Рисунок 5 показывает наглядно сопоставление ИК-спектров поглощения бензинов разной марки (АИ-92-К5, АИ-92-К5, АИ-98-К5 и АИ-100-К5) в диапазонах 2600 – 3400 см⁻¹(А) и 600 – 1700 см⁻¹(Б).

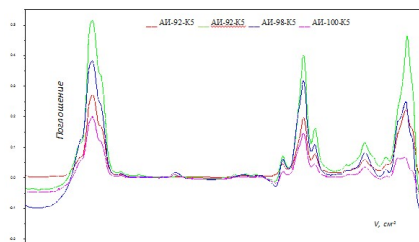


Рис. 4. Сопоставление ИК-спектров поглощения бензинов разной марки

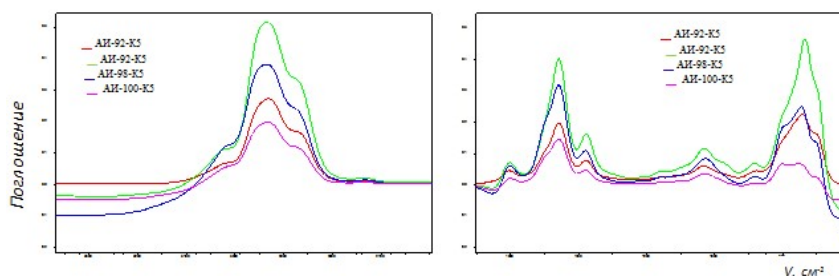


Рис. 5. Сопоставление ИК-спектров поглощения бензинов разной марки в диапазонах $2600 - 3400 \text{ см}^{-1}$ (А) и $600 - 1700 \text{ см}^{-1}$ (Б)

В данном случае можно наблюдать перераспределение интенсивности разных полос поглощения – это зависит от разных марок бензина. В отдельных случаях можно отметить проявление новых полос. Обнаружение данных особенностей и отнесение их к тому или иному образцу помогает создавать систему идентификации веществ [8].

При проведении пожарно-технической экспертизы для обнаружения остатков инициаторов горения, изымаемых с места пожара, в практике ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Омской области очень часто применяется Спектрофлюориметр «Флюорат-02-Панорама» (рис. 6).



Рис. 6. Спектрофлюориметр «Флюорат-02-ПАНОРАМА»

Спектрофлюориметр «Флюорат-02-ПАНОРАМА» предназначен для исследования легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Данный спектрофлюориметр имеет техническую возможность получить спектры возбуждения люминесценции и спектры люминесценции анализируемых образцов веществ. Спектрофлюориметр «Флюорат-02-ПАНОРАМА» имеет собственную базу данных, которая постоянно пополняется и позволяет специалистам (экспертам) ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Омской области проводить идентификацию не сгоревших легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, а также исследовать и идентифицировать остатки их сгорания.

«Спектрофлюориметр «Флюорат-02-ПАНОРАМА» (производство ГК «Люмэкс») практически не имеет аналогов. Научно-производственная фирма аналитического приборостроения «ЛЮМЭКС», созданная в 1991 году, является ведущим многопрофильным предприятием в России, выпускающим широкий спектр аналитических приборов. «ЛЮМЭКС» с 1999 года продает свою продукцию на международном рынке — в странах Европейского сообщества, Китае, Северной Америке. Продукция фирмы пользуется заслуженным спросом

(в мире работает около 7500 приборов) благодаря уникальному сочетанию их многофункциональности и доступной цены, а также широкому спектру сервисных услуг» [5].

Достоинства прибора: многофункциональность; широкий выбор дополнительных приставок для измерений вне кюветного отделения; светосильные монохроматоры в каналах возбуждения и регистрации люминесценции; реализованы режимы спектральных и хроматографических измерений, измерений кинетики затухания люминесценции, хеми- и биолюминесценции; использование в качестве спектрофлуориметрического детектора для ВЭЖХ с программируемой перестройкой длины волны во время процесса хроматографического разделения и с процедурой идентификации пика по его спектру; возможность сканирования по каждому из монохроматоров как независимо, так и в режимах синхронного, асинхронного и двумерного спектрального сканирования.

На рис. 7 для сравнения приведены спектры флуоресценции различных нефтепродуктов и растворителей.

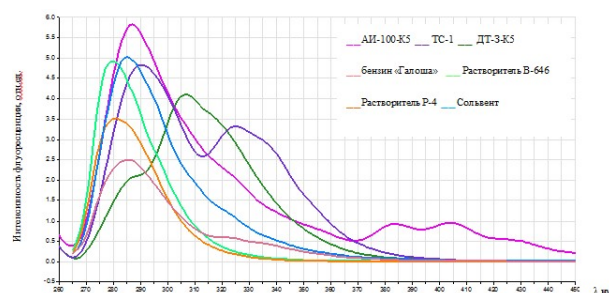


Рис. 7. Сравнение спектров флуоресценции различных нефтепродуктов и растворителей ненефтяной природы

Из сравнения спектров флуоресценции различных нефтепродуктов и растворителей ненефтяной природы видно, что наличие максимумов и их положения отличаются, при этом наблюдается схожесть в образцах, а именно, наличие моноароматических углеводородов в области 270-300 нм.

Значительным недостатком люминесцентной спектроскопии выступает тот факт, что флуоресценция довольно небольшому количеству товарных нефтепродуктов. Способностью флуоресцировать из составных компонентов нефтепродуктов обладает лишь часть углеводородов. При проведении анализа различных бензинов, с разным октановым числом, произведенными на разных заводах изготовителях, был сделан вывод о том, что бензины, полученные методами прямой перегонки, не обладают способностью к флуоресценции. В частности у авиационных бензинов, как и у различных марок растворителей, флуоресценция отсутствует совсем. Так не обладают способностью флуоресцировать керосины, применяемые для работы воздушно-реактивных двигателей, лишь небольшой максимум флуоресценции имеют различные осветительные керосины. Для подавляющего количества соединений пределы обнаружения при люминесцентной спектроскопии не превосходят 10-3 мкг/мл [2].

Таким образом, нами рассмотрены современные спектральные методы анализа, в частности, ИК-спектроскопия и флуоресцентная спектроскопия, как наиболее востребованные в пожарно-технической экспертизе при исследовании товарных нефтепродуктов.

По данным проведенной работы можно утверждать, что в каждом из методов есть свои недостатки и свои достоинства. Исходя из этого, для более качественного определения инициаторов горения необходимо в совокупности использовать данные методы для экспертизы нефтепродуктов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей с мест пожара.

В заключение можно отметить, что сочетание эффективных и достаточно быстрых современных спектральных методов анализа, доступного оборудования и методики обработки спектральных данных позволяет осуществлять быстрый, достаточно дешевый и достоверный анализ, при исследовании товарных нефтепродуктов в целях пожарно-технической экспертизы.

Список источников

1. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 2021 г. / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/>
2. Галишев М.А., Бельшина Ю.Н., Дементьев Ф.А. и др. Пожарно-техническая экспертиза: учебное пособие// Под общей ред. О.М. Латышева. - СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2013. – 108с.
3. Преч Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных// М.Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 438с.
4. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. - Москва: МГУ. - 2012. – 54 с.
5. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Омской области». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fire-expert.omsk.ru/>
6. Чешко И. Д., Плотников В. Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. В 2-х книгах. СПбФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Кн. 2 – Санкт-Петербург: 2012. – 364 с.
7. Чешко И.Д. Обнаружение и исследование зажигательных составов применяемых при поджогах: методическое пособие. М.:ВНИИПО, 2012. - 90 с.
8. Шубин, А.А. Методы газовой хроматографии и ИК-спектроскопии как инструменты пожарно-технической экспертизы / Шубин А.А., Лагунов А.Н., Богданов А.А., А.А. Гапоненко А.А. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2017, №3.- С.22-27.
9. Gurvinder Singh Bumrah, Rajinder Kumar Sarin, Rajiv Gandhi «Analysis of Petroleum Products in Fire Debris Residues by Gas Chromatography: A Literature Review» / June 2017Arab Journal of Forensic Sciences and Forensic Medicine 1(5): 512-534
10. Carlos Martín-Alberca, Fernando Ortega-Ojeda, Carmen García-Ruiz «Analytical tools for the analysis of fire debris. A review: 2008-2015» / May 2016Analytica Chimica Acta 928
11. J. Graham Rankin, Ph.D., Nicholas Petraco «Interpretation of Ignitable Liquid Residues in Fire Debris Analysis: Effects of Competitive Adsorption, Development of an Expert System and Assessment of the False Positive/Incorrect Assignment Rate / September 2014
12. ИК Фурье-спектрометры ФСМ. АО «Спектроскопические системы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spectrosystems.ru/>

List of sources

1. Analysis of the situation with fires and their consequences on the territory of the Russian Federation for 2021 / Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia). □Electronic resource□. – Access mode: <https://www.mchs.gov.ru/>
2. Galishev M.A., Belshina Yu.N., Dementiev F.A. et al. Fire-technical expertise: textbook// Under the general editorship of O.M. Latyshev. - St. Petersburg: Saint Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2013. – 108s.
3. Prech E. Determination of the structure of organic compounds. Tables of spectral data// M.Mir; BINOM. Laboratory of Knowledge, 2006. – 438с.
4. Tarasevich B.N. IR spectra of the main classes of organic compounds. Reference materials. - Moscow: Moscow State University. - 2012. – 54 p.
5. Federal State Budgetary Institution "Forensic expert institution of the Federal Fire Service "Test Fire Laboratory" in the Omsk region". Electronic resource. – Access mode: <http://fire-expert.omsk.ru/>

6. Cheshko I. D., Plotnikov V. G. Analysis of expert versions of fire occurrence. In 2 books. SPbF FSBI VNIPO EMERCOM of Russia, Book 2 – St. Petersburg : 2012. – 364 p.
7. Cheshko I.D. Detection and investigation of incendiary compounds used in arson: methodical manual. M.: VNIPO, 2012. - 90 p.
8. Shubin, A.A. Methods of gas chromatography and IR spectroscopy as tools of fire-technical expertise / Shubin A.A., Lagunov A.N., Bogdanov A.A., A.A. Gaponenko A.A. // Scientific and analytical journal "Siberian Fire and Rescue Bulletin", 2017, No. 3.-C.22-27.
9. Gurvinder Singh Bumrah, Rajinder Kumar Sarin, Rajiv Gandhi «Analysis of Petroleum Products in Fire Debris Residues by Gas Chromatography: A Literature Review» / June 2017 Arab Journal of Forensic Sciences and Forensic Medicine 1(5): 512-534
10. Carlos Martín-Alberca, Fernando Ortega-Ojeda, Carmen García-Ruiz «Analytical tools for the analysis of fire debris. A review: 2008-2015» / May 2016 Analytica Chimica Acta 928
11. J. Graham Rankin, Ph.D., Nicholas Petraco «Interpretation of Ignitable Liquid Residues in Fire Debris Analysis: Effects of Competitive Adsorption, Development of an Expert System and Assessment of the False Positive/Incorrect Assignment Rate / September 2014
12. IR Fourier spectrometers FSM. JSC "Spectroscopic Systems" Electronic resource. – Access mode: <http://www.spectrosystems.ru/>

Статья поступила в редакция 21.03.2022; одобрена после рецензирования 18.05.2022; принята к публикации 30.06.2022.

The article was submitted 21.03.2022, approved after reviewing 18.05.2022, accepted for publication 30.06.2022.