

ДИАГНОСТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ОЧАГОВ ПОЖАРА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СИНХРОННОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Беззапонная Оксана Владимировна, Глухих Павел Александрович,
Елфимова Марина Владимировна, Макаркин Сергей Викторович
Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлен обзор накопленной информации и анализ результатов исследований для разрешения проблемы диагностики вторичных очагов пожара, формируемых при плавлении, растекании и капании горящих масс термопластичных полимерных материалов. Анализ информации, имеющейся на сегодняшний день, позволил выделить основные задачи, которые необходимо решить для диагностики вторичных очагов пожара, а также определить этапы выявления вторичных очагов пожара.

Рассмотрена методология подхода для диагностики вторичных очагов пожара с использованием метода синхронного термического анализа. Установлено, что указанным методом представляется возможным диагностировать термопластичные полимеры как кристаллической, так и аморфной природы, определить значения температур самовоспламенения, а также определить кинетические параметры для оценки возможности возгорания горючих материалов при контакте с горящими массами термопластов.

Также установлено, что ключевыми этапами диагностики формирования вторичных очагов пожара являются: сопоставление места нахождения пожарной нагрузки в виде термопластов и очаговых зон, обнаруженных в ходе осмотра места пожара; проверка выполнения условия самовоспламенения горючих материалов в сформировавшихся условиях пожара и возможность их возгорания с учетом кинетических параметров термоокислительной деструкции материалов горючей нагрузки при контакте с горящими массами термопластов. Полученные результаты будут использованы при разработке методики диагностики вторичных очагов пожара для производства пожарно-технической экспертизы.

Ключевые слова: диагностика термопластичных полимерных материалов, температура плавления, температура стеклования, термоокислительная деструкция термопластов, кинетические параметры, пожарно-техническая экспертиза.

Для цитирования: Диагностика формирования вторичных очагов пожара при исследовании полимерных материалов методом синхронного термического анализа / О. В. Беззапонная [и др.] // Техносферная безопасность. 2025. № 1 (46). С. 67–77.

DIAGNOSTICS OF FORMATION OF SECONDARY FIRE SOURCES IN THE STUDY OF POLYMERIC MATERIALS BY THE METHOD OF SYNCHRONOUS THERMAL ANALYSIS

Oksana V. Bezzaponnaya, Pavel A. Glukhikh, Marina V. Elfimova, Sergey V. Makarkin
Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The article presents an overview of the accumulated information and an analysis of the results of research to resolve the problem of diagnostics of secondary fire sources formed during melting, spreading and dripping of burning masses of thermoplastic polymeric materials. Analysis of the information available today allowed us to identify the main tasks that need to be solved for diagnostics of secondary fire sources, as well as to determine the stages of identifying secondary fire sources.

The methodology of the approach for diagnosing secondary fire sources using the method of synchronous thermal analysis is considered. It is established that the specified method is possible to diagnose thermoplastic polymers of both crystalline and amorphous nature, determine the values of autoignition temperatures, and also determine the kinetic parameters for assessing the possibility of ignition of combustible materials upon contact with burning masses of thermoplastics.

It is also established that the key stages of diagnostics of secondary fire sources formation are: comparison of the location of the fire load in the form of thermoplastics and focal zones detected during the inspection of the fire site; verification of the fulfillment of the condition of autoignition of combustible materials in the formed fire conditions and the possibility of their ignition taking into account the kinetic parameters of thermal-oxidative destruction of combustible load materials upon contact with burning masses of thermoplastics. The obtained results will be used in the development of a method for diagnosing secondary fire sources for the production of fire-technical expertise.

Keywords: diagnostics of thermoplastic polymeric materials, melting point, glass transition temperature, thermal-oxidative destruction of thermoplastics, kinetic parameters, fire-technical expertise

For Citation: Diagnostics of secondary fire centers formation during the study of polymeric materials by the method of synchronous thermal analysis / O. V. Bezzaponnaya et al. // Technospheric safety. 2025. № 1 (46). pp. 67–77.

Введение

Определение местонахождения очага пожара — важнейшая задача, решаемая экспертами при производстве судебной пожарно-технической экспертизы (далее — СПТЭ). Известно, что в ходе пожара могут формироваться и вторичные очаги пожара (далее — ВОП), обусловленные сосредоточением горючих материалов, более благоприятными условиями горения в изучаемой области, протеканием процессов передачи теплоты, попаданием искр и тлеющих углей на воспламеняющиеся материалы вне зоны горения,

стекания горячей жидкости или расплавленных полимерных материалов, а также особенностями тушения пожара. В таких случаях от эксперта требуется решение сложной задачи по диагностике ВОП. Диагностика формирования ВОП является комплексной процедурой, включающей в себя несколько этапов проведения.

Особого внимания заслуживает рассмотрение особенностей формирования ВОП при растекании и капании горящих масс термопластичных полимерных материалов, поскольку в настоящее время в отделке помещений и их дизайне, в предметах интерьера

и быта все большее применение находят термопластичные полимерные материалы, характеризующиеся высокой пожарной опасностью. Все эти факты свидетельствует об актуальности исследований для решения задачи диагностики ВОП при производстве СПТЭ по причине перехода в текучее и вязкотекучее состояния термопластичных полимерных материалов. Примером распространения горения по причине капания расплавленных масс термопласта с формированием ВОП является пожар в ТРЦ «Зимняя вишня» в Кемерове, случившийся в марте 2018 г.

Исследование поведения полимеров при воздействии высоких температур с использованием современных и высокоточных инструментальных методов, в частности синхронного термического анализа (далее — СТА), является определяющим при диагностике формирования ВОП. Цель настоящей работы — анализ этапов проведения диагностики ВОП, в т. ч. с использованием метода СТА.

Анализ задач и этапов диагностики вторичных очагов пожара

В настоящее время накоплен уже значительный теоретический и практический материал по результатам экспериментальных исследований полимерных материалов методами термического анализа, в т. ч. : для оценки термической стабильности полимеров [1]; для определения температур фазовых переходов [2–3]; при оценке пожароопасных свойств полимеров [4–6]. Большое количество работ посвящено применению результатов экспериментальных исследований для решения как экспертных задач СПТЭ [7–12], так и для диагностики очагов пожара [13–16]

в частности. Значительный вклад в развитие представлений о закономерностях формирования очагов пожара, а также диагностике их формирования внесли работы И. Д. Чешко и представителей его научной школы [5, 7–9, 11, 13, 15]. Однако исследований, рассматривающих вопросы диагностики или дифференциации первичных и вторичных очагов пожара, практически нет, что указывает на высокую степень сложности решения поставленной задачи и актуальность исследований в этой области.

Первым этапом диагностики ВОП является осмотр места пожара. При анализе версий о причастности горящих термопластичных полимеров к формированию зон, обладающих признаками очага пожара, требуется обратить внимание на следующие моменты, которые необходимо учитывать при определении причин возгорания.

1. Наличие агломератов термопластичных полимеров в зоне первоначального возникновения горения. Такая ситуация возможна в ряде случаев. Во-первых, изделия из термопластов могли находиться в зоне очага пожара в качестве строительных или отделочных материалов, элементов вещной обстановки и электроприборов и т. д. Во-вторых, в качестве элементов источников зажигания. В-третьих, как элементы тары или упаковки для традиционных инициаторов горения, например ЛВЖ/ГЖ (рис. 1).
2. Наличие в зонах, характеризующихся наличием признаков очага пожара, а также наличие в непосредственной близости от этих зон, а в особенности над ними, остатков (агломератов) термопластичных полимеров.

В ходе осмотра места пожара необходимо уделять особое внимание поиску инфор-



Рис. 1. Термические повреждения салона автомобиля с застывшим расплавом полимера на переднем пассажирском сиденье

Fig. 1. Thermal damage to the car interior with frozen polymer melt found on the front passenger seat

мации о наличии над очаговыми зонами отделочных или строительных материалов из термопластичных полимеров (натяжные или декоративные накладные потолки, тепло- и звукоизоляция потолочных перекрытий и кровельных конструкций), а также потолочных светильников и иных устройств, для изготовления элементов которых могли использоваться такие материалы.

Важной частью диагностики ВОП является сопоставление обнаруженных очаговых зон с распределением пожарной нагрузки в помещении при учете поведения отделочных и строительных материалов в формируемых температурных условиях пожара. Осмотр места происшествия и сбор информации о распределении пожарной нагрузки в помещении являются ключевыми составляющими первого этапа диагностики ВОП и залогом успешного решения сложной диагностической задачи и формирования максимально обоснованных категоричных выводов по вопросам, поставленным на разрешение пожарно-технического эксперта.

Существенное значение для диагностики ВОП при плавлении термопластичных полимеров имеет идентификация термопластов в очаговой зоне. Проблеме идентификации полимерных материалов посвящен ряд работ [10–12]. Факт наличия термопластичных полимеров среди материалов пожарной нагрузки, способных при плавлении и капании горящих масс формировать ВОП, целесообразно устанавливать по результатам термического анализа с использованием критериев, позволяющих дифференцировать термопласты и реактопласты.

Анализ литературы свидетельствует о том, что для решения идентификационных и диагностических задач СПТЭ актуальны разработки баз физико-химических характеристик полимерных материалов, полученных современными инструментальными методами, в частности СТА.

Основным инструментом для диагностики и идентификации полимерных материалов является база данных, содержащая как термограммы, так и показатели

значимых физико-химических характеристик термолитиза полимеров. Такая база должна содержать информацию о температурах плавления (стеклования) полимерных материалов, интервале температур, в котором они находятся в расплавленном или вязкотекучем состоянии. Метод дифференциальной сканирующей калориметрии (далее — ДСК) позволяет диагностировать плавление полимеров, которое является фазовым переходом первого рода, а также процесс стеклования аморфных полимеров, сопровождающийся изменением теплоемкости на ДСК-кривой. На рис. 2 приведены термограммы термопластов полукристаллической (а) и аморфной природы (б).

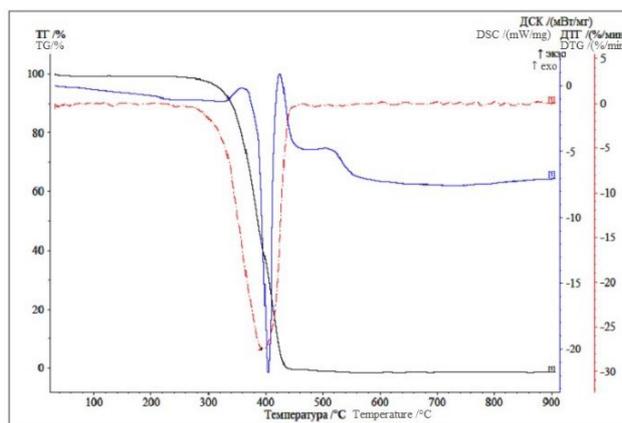
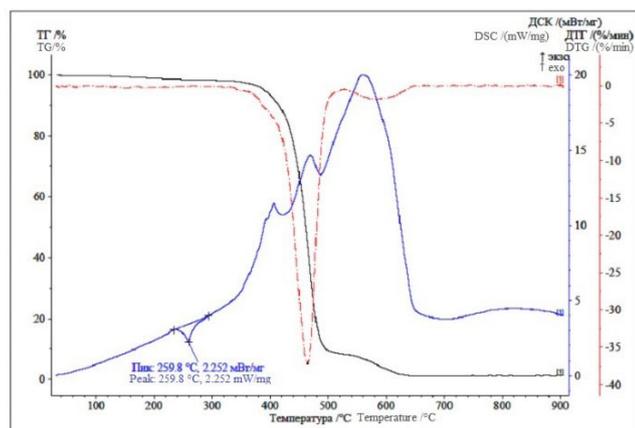


Рис. 2. Термограммы кристаллического полимера (а — полиэтилентерефталат) и аморфного полимера (б — полиметилметакрилат)

Fig. 2. Thermograms of crystalline polymer (a — polyethylene terephthalate) and amorphous polymer (b — polymethyl methacrylate)

тического интереса для экспертов, решающих диагностические задачи СПТЭ в реальных условиях пожара. Для получения достоверных результатов и выводов эксперту нужны сведения о материалах, полученные в обстоятельствах, максимально приближенных к реальным условиям пожара (в среде воздуха и при высоких скоростях нагрева).

Поскольку аморфные полимеры не имеют пика плавления (рис. 2 б), то дифференцировать их от реактопластов затруднительно, особенно в случае слабого сигнала изменения теплоемкости на ДСК-кривой аморфного полимера при реологическом переходе его из стеклообразного в эластическое состояние, что свидетельствует о целесообразности проведения дополнительных исследований для разработки способов дифференцирования аморфных термопластов и реактопластов.

Следует отметить, что существующие справочные данные по полимерам [17] содержат информацию, полученную в инертной среде и при малых скоростях нагрева (5 °С/мин или 10 °С/мин), что не имеет прак-

Кроме того, справочные данные по термодеструкции полимерных материалов из разных источников зачастую разительно отличаются друг от друга ввиду разных условий проведения испытаний и применения разного оборудования, что затрудняет и замедляет работу экспертов. Таким образом, разработка базы данных полимерных материалов, включаю-

щей в себя исчерпывающую информацию, полученную в условиях, приближенных к условиям реального пожара, является актуальной задачей, от решения которой зависит выполнение этапа диагностики термопластов в очаговой зоне или над ней с использованием метода СТА.

После сопоставления очаговых зон с распределением пожарной нагрузки необходимо провести расчеты (численный эксперимент) по оценке возможности (прогноза) возгорания рассматриваемого материала пожарной нагрузки. Оценка обозначенной возможности (прогноз) сводится к проверке условия возникновения пожара при решении уравнений теплопроводности и диффузии для элементарного объема горючего материала. При оценке возможности возгорания материала с формированием ВОП необходимо учитывать два способа: возгорание от контакта горящих масс с воспламеняемым материалом за счет использования кинетических параметров его термоокислительной деструкции (далее — ТОД) и самовозгорания материала в температурных условиях развившегося пожара в результате процессов конвекции, теплопроводности и лучистого обмена.

Возгорание может происходить от контакта с нагретым телом (фрикционные искры, раскаленная спираль, капли расплавленного металла или термопласта, тлеющие угли и др.). В работе [18] возможность воспламенения материала от раскаленной фрикционной частицы проверяется выполнением условия возникновения горения по результатам расчета диаметра раскаленной частицы металла и времени ее воздействия на материал. Возгорание от капяющих масс расплавленного полимера может происходить только в том случае, если объем го-

рящей массы не является критично малой величиной, если температура горения полимерного материала достаточна для зажигания горючего материала и если достаточно времени для контакта горящей массы с горючим материалом.

Для определения возможности воспламенения материала необходимо знать кинетические параметры (порядок реакции, энергию активации, предэкспоненциальный множитель) процесса ТОД горючей нагрузки, в частности полимерных материалов. Кинетические параметры процесса ТОД материала могут быть получены по результатам СТА. В настоящее время разработано и широко применяется множество методов расчета кинетических параметров с использованием экспериментальных данных динамической термогравиметрии. Подробное рассмотрение классификации методов их расчета приведено в работе [19]. Для расчета кинетических параметров используются данные как нескольких термогравиметрических кривых (ТГ-кривых), снятых при разных скоростях нагрева, так и данные одной ТГ-кривой, что значительно сокращает продолжительность этого процесса. Обработка данных, полученных в неизотермических условиях, может быть проведена различными методами, например Флинна–Уолла–Озавы (ASTM E698), Киссинджера, Фридмана, Озавы–Флинна–Уолла (изоконверсионный).

Эффективность производства СПТЭ диктует необходимость применения методических подходов для решения диагностических задач, сочетающих в себе точность и простоту вычисления конечного результата. При этом для получения достоверных результатов условия проведения испытаний исследуемых материалов должны быть максимально приближены к условиям тем-

пературного режима пожара, поскольку макрокинетика и механизм протекания термодеструкции полимеров зависит от скорости нагрева. В связи с этим выбор адекватного метода расчета кинетических параметров ТОД полимеров методом ТГ-анализа в условиях проведения испытаний, максимально приближенных к реальным условиям пожара, является актуальной и важной задачей.

Анализ результатов исследований [12, 20], в которых рассматривается оценка кинетических параметров процесса ТОД полимеров, показал, что наиболее простым в использовании и достаточно точным методом для решения прикладных задач является метод, предложенный Бройдо, в котором кинетические параметры определяются с использованием результатов динамической термогравиметрии при одной скорости нагрева. Этот метод с тех пор получил свое развитие и применяется для оценки срока службы полимеров.

Таким образом, диагностика формирования ВОП является комплексной задачей, решение которой требует большого объема исходных данных, полученных как при осмотре места пожара, так и в ходе испытаний полимерных материалов методом СТА.

Выводы

Анализ работ по изучению вопроса формирования ВОП показал, что очаг по-

жара может быть квалифицирован как вторичный при выполнении следующих условий:

- установление факта наличия пожарной термопластичной полимерной нагрузки в очаговой зоне или над ней с использованием метода СТА и базы данных термоаналитических характеристик и термограмм полимерных материалов;
- установление возможности возгорания материалов пожарной нагрузки от капаящих и растекающихся горящих масс термопластов в температурных условиях развившегося пожара с использованием расчетного метода и данных, полученных с помощью СТА, в обстоятельствах, максимально приближенных к реальным условиям пожара.

Для проверки этих условий эксперту необходим методический аппарат (алгоритм действий), а также справочные данные по физико-химическим характеристикам полимерных материалов (температура плавления, температура стеклования, температура ТОД), база данных (термограмм) для диагностики полимеров с места пожара, кинетические параметры и тепловой эффект ТОД полимеров для оценки возможности возгорания, значения показателей пожарной опасности полимеров (температура самовоспламенения) — все указанное требует проведения большого объема исследований и разработки методологии диагностики формирования ВОП.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Structural design and synthesis of naphthalene-containing phthalonitrile polymer with excellent processability and high temperature properties / Z. Jia et al. // Journal of Polymer Science. 2023. Vol. 61, № 19. pp. 2229–2302. DOI: <https://doi.org/10.1002/pol.20230295>.

2. Thermal analysis of polymers: fundamentals and applications / edited by Joseph D. Menczel, R. Bruce Prime. Hoboken : Wiley, 2008. 688 p.
3. Ehrenstein, G. W., Riedel, G., Trawiel, P. Thermal Analysis of Plastics — Theory and Practice. Munich : Carl Hanser Verlag, 2004. 400 p. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:138988997> (date of application: 29.01.2024).
4. Беззапонная О. В. Определение температуры самовоспламенения веществ и материалов методом синхронного термического анализа // Технологии техносферной безопасности. 2024. № 2 (104). С. 177–187.
5. О роли горящих полимеров в возникновении и развитии пожара // Расследование пожаров : сб. ст. / А. Ю. Мокряк [и др.] / под общ. ред. И. Д. Чешко. СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019. Т. 6. С. 119–124. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40834955> (дата обращения: 05.06.2024).
6. Исследование пожароопасных свойств полимерных материалов методом синхронного термического анализа / О. В. Беззапонная [и др.] // Техносферная безопасность. 2023. № 4 (41). С. 13–23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50105539> (дата обращения: 14.03.2024.).
7. Чешко, И. Д., Принцева, М. Ю., Лобанова, О. В. Инструментальные методы в современной пожарно-технической экспертизе // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2020. № 4. С. 29–41. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44430192> (дата обращения: 15.02.2024.).
8. Принцева М. Ю., Чешко И. Д. Применение термического анализа в экспертных исследованиях по делам о пожарах // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций : сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. Железногорск : Сибирская пожарно-спасательная академия, 2019. С. 260–270.
9. Применение термического анализа при исследовании и экспертизе пожаров : методическое пособие / Е. Д. Андреева [и др.]. М. : ВНИИПО, 2013. 60 с.
10. Беззапонная, О. В., Хабибова, К. И. Применение метода термического анализа при идентификации термопластов и реактопластов в рамках пожарно-технической экспертизы // Техносферная безопасность. 2022. № 1 (34). С. 85–91. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48167930> (дата обращения: 12.02.2023).
11. Принцева М. Ю., Лобова С. Ф. Применение термического анализа для расчета кинетических параметров термодеструкции полимеров при выполнении реконструкции пожара // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 30-й годовщине МЧС России. Иваново, 2020. С. 95–99.
12. Беззапонная О. В., Глухих П. А., Макаркин С. В. Идентификация термопластичных полимеров методом синхронного термического анализа // Пожаровзрывобезопасность. 2024. Т. 33, № 1. С. 24–35.
13. Применение инструментальных методов и технических средств в экспертизе пожаров : сб. метод. рек. / под ред. И. Д. Чешко, А. Н. Соколовой. СПб. : СПбФ ВНИИПО МЧС России, 2008. 279 с.
14. Характеристики типичного очага пожара в помещении / А. О. Жданова [и др.] // Инженерно-физический журнал. 2023. Т. 96, № 1. С. 145–151.

15. Тумановский А. А., Субботин А. А., Чешко И. Д. Применение расчетных методов при определении очага пожара : учеб.-метод. пособие. СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2018. 84 с.
16. Лобаев, И. А., Плешаков, В. В., Джуган, В. Р. Ретроспективный анализ исследований по установлению очага пожара // Технологии техносферной безопасности. 2021. № 3 (93). С. 61–72. DOI: <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.3.93.61-72>.
17. Wunderlich B. Thermal Analysis of Polymeric Materials (ATHAS data bank) // Springer. Berlin. 2005. pp. 777–800.
18. Методические основы установления причастности фрикционных искр угловых шлифовальных машин к возникновению пожара: методические рекомендации / А. В. Попов [и др.] / под ред. проф. И. Д. Чешко. СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019. 51 с.
19. Simple Direct Method to Obtain Kinetic Parameters for Polymer Thermal Decomposition / D. Lázaro et al. // Appl. Sci. 2021. № 11. P. 11300. DOI: <https://doi.org/10.3390/app112311300>.
20. Беззапонная О. В., Глухих П. А., Макаркин С. В. Исследование особенностей термоокислительной деструкции эластичного пенополиуретана для решения диагностических задач пожарно-технической экспертизы // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 4 (72). С. 155–163.

REFERENCES

1. Structural design and synthesis of naphthalene-containing phthalonitrile polymer with excellent processability and high temperature properties / Z. Jia et al. // Journal of Polymer Science. 2023. Vol. 61, № 19. pp. 2229–2302. DOI: <https://doi.org/10.1002/pol.20230295>.
2. Thermal analysis of polymers: fundamentals and applications / ed. by Joseph D. Menczel, R. Bruce Prime. Hoboken : Wiley, 2008. 688 p.
3. Ehrenstein, G. W., Riedel, G., Trawiel, P. Thermal Analysis of Plastics — Theory and Practice. Munich : Carl Hanser Verlag, 2004. 400 p. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:138988997> (date of application: 29.01.2024).
4. Bezzaponnaya O. V. Determination of the self-ignition temperature of substances and materials by the method of synchronous thermal analysis // Technosphere safety technologies. 2024. № 2 (104). pp. 177–187.
5. On the role of burning polymers in the occurrence and development of fire // Fire Investigation : a collection of articles / A. Y. Mokryak et al. / ed. by I. D. Cheshko. D. Cheshko. SPb. : St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2019. T. 6. pp. 119–124. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40834955> (date of application: 05.06.2024).
6. Investigation of fire hazard properties of polymeric materials by the method of synchronous thermal analysis / O. V. Bezzaponnaya et al. // Technospheric safety. 2023. № 4 (41). pp. 13–23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50105539> (date of application: 14.03.2024.).

7. Cheshko, I. D., Printseva, M. Y., Lobanova, O. V. Instrumental methods in modern fire and technical expertise // Supervisory activity and forensic expertise in the security system. 2020. № 4. pp. 29–41. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44430192> (date of application: 15.02.2024.).
8. Printseva M. Y., Cheshko I. D. Application of thermal analysis in expert studies on fire cases // Actual problems of fire safety and protection from emergency situations : a collection of articles on the materials of the All-Russian scientific and practical conference Zheleznogorsk : Siberian Fire and Rescue Academy, 2019. pp. 260–270.
9. Application of thermal analysis in the study and examination of fires : methodological manual / E. D. Andreeva et al. M. : VNIPO, 2013. 60 p.
10. Bezzaponnaya, O. V., Habibova, K. I. Application of thermal analysis method in the identification of thermoplastics and reactoplastics within the framework of fire technical expertise // Technospheric safety. 2022. № 1 (34). pp. 85–91. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48167930> (date of application: 12.02.2023).
11. Printseva M. Yu., Lobova S. F. Application of thermal analysis to calculate kinetic parameters of polymer thermodegradation when performing fire reconstruction // Modern fire-safe materials and technologies : proceedings of the IV Intern. scientific-practical conf. dedicated to the 30th anniversary of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Ivanovo, 2020. pp. 95–99.
12. Bezzaponnaya O. V., Glukhikh P. A., Makarkin S. V. Identification of thermoplastic polymers by the method of synchronized thermal analysis // Pozharovzryvvozdrozasnost. 2024. T. 33, № 1. pp. 24–35.
13. Application of instrumental methods and technical means in the examination of fires : a collection of methodical references. / ed. by I. D. Cheshko, A. N. Sokolova. D. Cheshko, A. N. Sokolova. SPb. : SPbF VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2008. 279 p.
14. Characteristics of a typical fire center in a room / A. O. Zhdanova et al. // Engineering and Physical Journal. 2023. T. 96, № 1. pp. 145–151.
15. Tumanovsky A. A., Subbotin A. A., Cheshko I. D. Application of calculation methods in determining the fire center : textbook. SPb. : St. Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018. 84 p.
16. Lobaev, I. A. Pleshakov, V. V., Dzhugan, V. R. Retrospective analysis of research on the establishment of the fire origin // Technospheric safety technologies. 2021. № 3 (93). pp. 61–72. DOI: <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.3.93.61-72>.
17. Wunderlich B. Thermal Analysis of Polymeric Materials (ATHAS data bank) // Springer. Berlin. 2005. pp. 777–800.
18. Methodical bases for establishing the involvement of friction sparks of angle grinders in fire: methodical recommendations / A. V. Popov et al. / ed. by Prof. I. D. Cheshko. SPb. : St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2019. 51 p.
19. Simple Direct Method to Obtain Kinetic Parameters for Polymer Thermal Decomposition / D. Lázaro et al. // Appl. Sci. 2021. № 11. P. 11300. DOI: <https://doi.org/10.3390/app112311300>.
20. Bezzaponnaya O. V., Glukhikh P. A., Makarkin S. V. Study of the features of thermo-oxidative degradation of elastic polyurethane foam. V. Research of features of thermo-oxidative degradation of elastic polyurethane foam for solving diagnostic tasks of fire technical expertise // Problems of risk management in technosphere. 2024. № 4 (72). pp. 155–163.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Беззапонная Оксана Владимировна, канд. техн. наук, доц., Почетный работник науки и высоких технологий РФ, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); ORCID: 0000-0001-6566-448X; WOS Research ID: R-8727-2019; Scopus Author ID: 6504618195; ID РИНЦ: 119257; e-mail: bezzaponnay@mail.ru

Глухих Павел Александрович, старший преподаватель кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); Author ID: 814811; ORCID: 0009-0000-9084-8328; e-mail: pasa.86@mail.ru

Елфимова Марина Владимировна, канд. техн. наук, доц., заместитель начальника по научной работе Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); AuthorID: 818459; ORCID: 0000-0003-3835-9003; e-mail: elfimar@mail.ru

Макаркин Сергей Викторович, канд. юрид. наук, доц., начальник кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); Author ID: 374148; ORCID: 0009-0001-8268-5677; e-mail: serge.makarkin@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oksana V. Bezzaponnaya, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Honorary Worker of Science and High Technologies of the Russian Federation, Professor of the Department of Criminalistics and Engineering and Technical Expertise of Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); ORCID: 0000-0001-6566-448X; WOS Research ID: R-8727-2019; Scopus Author ID: 6504618195; RINC ID: 119257; e-mail: bezzaponnay@mail.ru

Pavel A. Glukhikh, Senior Lecturer, Department of Criminalistics and Engineering and Technical Expertise of Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); Author ID: 814811; ORCID: 0009-0000-9084-8328; e-mail: pasa.86@mail.ru

Marina V. Elfimova, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Deputy Head of Research of Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); Author ID: 818459; e-mail: elfimar@mail.ru

Sergey V. Makarkin, Cand. Sci. (legal), Associate Professor, Head of the Department of Criminalistics and Engineering and Technical Expertise of Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); Author ID: 374148; ORCID: 0009-0001-8268-5677; e-mail: serge.makarkin@yandex.ru