

УДК 614.841.41:614.849

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДЫМОВЫДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ

Чибисов Андрей Леонидович¹, Федоткин Дмитрий Вячеславович², Инчиков Андрей Павлович², Волкова Анна Владимировна²

¹ «Специальные Проекты и Системы», г. Москва, Российская Федерация

² ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема изучения таких вопросов выделения дымовых аэрозолей при горении металлов и их соединений, как нормирование определения коэффициента дымовыделения, зависимости дисперсного состава, оптических свойств, интенсивности выделения дымовых аэрозолей от условий горения или применения огнетушащих веществ, а также от особенностей горения металлов в расплавленном состоянии. Представлена экспериментальная установка для решения обозначенных научных задач. Отмечено отсутствие стандартной методики для определения коэффициента дымовыделения дисперсных металлов и их соединений для частиц с характерным размером менее 850 мкм. Описана исследовательская методика и представлены результаты предварительных исследований с применением источников монохроматического излучения 405 нм, 650 нм и 980 нм. Для условий проведения исследований, приближенных к стандартным, коэффициент дымовыделения стружки магниевового сплава МА2-1 составил $348 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ (в реальных условиях масштабного очага горения значение может измениться). Отмечено значительное влияние условий горения и возможности формирования достаточно мощного очага на полноту сгорания образца и, как следствие, на численное значение коэффициента дымообразования. На основе полученных результатов намечены дальнейшие пути развития методики и исследования возможности ее стандартизации.

Обсуждена возможность применения стандартной методики и испытательного оборудования по ГОСТ 12.1.044–2018 (в ред. Изменения № 1) для определения коэффициента дымообразования дисперсных металлов и их соединений.

Ключевые слова: горение металлов, дымовые аэрозоли, обнаружение, эвакуация

Для цитирования: Определение коэффициента дымовыделения дисперсных металлов и их соединений / А. Л. Чибисов [и др.] // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 13–23.

DETERMINATION OF THE SMOKE EMISSION COEFFICIENT OF DISPERSED METALS AND THEIR COMPOUNDS

Andrey L. Chibisov¹, Dmitry V. Fedotkin², Andrei P. Inchikov², Anna V. Volkova²

¹ Special Projects and Systems LLC, Moscow, Russian Federation

² VNIIPPO EMERCOM of Russia, Balashikha, Russian Federation

Abstract. The article considers the current problem of studying such issues of smoke aerosols emission during the combustion of metals and their compounds as standardization of smoke emission coefficient determination, dependence of disperse composition, optical properties, intensity of smoke aerosols emission on the conditions of combustion or application of extinguishing agents, as well as on the peculiarities of combustion of metals in the molten state. An experimental setup for solving the above-mentioned scientific problems is presented. The absence of a standard methodology for determining the smoke emission coefficient of dispersed metals and their compounds for particles with a characteristic size less than 850 microns is noted. The research methodology is described and the results of preliminary studies using monochromatic radiation sources of 405 nm, 650 nm and 980 nm are presented. For research conditions close to standard, the smoke emission coefficient of MA2-1 magnesium alloy chips was $348 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ (under real conditions of a large-scale combustion source, the value may change). A significant influence of combustion conditions and the possibility of forming a sufficiently powerful fire on the completeness of sample combustion and, as a consequence, on the numerical value of the smoke formation coefficient is noted. Based on the results obtained, further ways of developing the methodology and studying the possibility of its standardization are outlined. The possibility of using standard methodology and test equipment according to GOST 12.1.044–2018 (in the edition of Amendment № 1) for determination of smoke generation coefficient of dispersed metals and their compounds is discussed.

Keywords: metal combustion, smoke aerosols, detection, evacuation

For Citation: Determination of the smoke emission coefficient of dispersed metals and their compounds / A. L. Chibisov et al. // Technospheric safety. 2025. № 2 (47). pp. 13–23.

Введение

В настоящее время металлы, способные гореть в дисперсном (пыль, порошок, стружка) или расплавленном состоянии, а также металлоорганические и элементоорганические соединения активно применяются в различных сферах деятельности, например в изготовлении деталей из легких сплавов, органическом синтезе, в качестве теплоносителя для ядерных реакторов гражданского назначения на быстрых нейтронах. Широкое применение пожароопасных металлов и их соединений в промышленности обуславливает актуальность

и необходимость изучения их пожароопасных свойств, в т. ч. дымообразующую способность.

Механизмы выделения дымовых аэрозолей — конденсированных продуктов горения металлов и металлоорганических соединений — рассматривались различными исследователями, например [1–6], в т. ч. и авторами [7, 8]. При этом актуальность указанного направления исследований обуславливает необходимость внедрения научных разработок в практическую деятельность.

Процесс выделения аэрозолей при горении металлов представляет практический интерес в следующих аспектах.

- **Выделение аэрозолей как процесс дымовыделения, зависящий от механизма и условий горения металлов.**

Определение коэффициента дымообразования металлов необходимо для расчета показателей риска, времени блокирования путей эвакуации, уточнения тактики действий пожарно-спасательных подразделений. В настоящее время для горючих металлов в дисперсном состоянии (для частиц или стружки с характерным размером менее 850 мкм) или горящих при расплавлении оно нормативно не определено. Методика по ГОСТ 12.1.044–2018 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» (в ред. Изменения № 1, введенного в действие приказом Росстандарта от 13 августа 2024 г. № 1055-ст) [9] распространяется на дисперсные металлы с характерным размером частиц более 850 мкм, но на практике получение показателя, отражающего реальную пожарную опасность материала (металла или его соединения), вызывает серьезные сложности. Этот вопрос актуален, т. к. на производствах при расчете риска и времени блокирования путей эвакуации необходимо учитывать находящиеся в помещении горючие металлы и металлоорганические соединения, которые могут составлять основную пожарную нагрузку.

- **Размер аэрозольных частиц.** Средний размер частиц дымовых аэрозолей металлов и органических материалов отличается на порядок в зависимости от условий измерения, что может влиять на эффективность обнаруже-

ния дыма оптическими извещателями, т. к. дым с меньшим размером частиц аэрозоля более прозрачен для инфракрасного излучения некоторой длины волны [10]. Кроме того, средний размер частиц аэрозоля определяет возможность их витания и выноса за пределы здания и распространения на местности, что важно для определения перечня мер при загораниях радиоактивных металлов.

- **Оптические свойства аэрозоля при горении металлов и металлоорганических соединений.** Результаты таких исследований позволят определить длину волны излучения, для которой дымовой аэрозоль будет прозрачен, что позволит прогнозировать возможность применения тепловизионного или иного стационарного или переносного оборудования для обнаружения очага горения в плотно задымленном помещении.

- **Зависимость интенсивности выделения аэрозолей и размера аэрозольных частиц от дисперсности металла, условий его горения, тушения и локализации горения.** Такие исследования актуальны для объектов с обращением радиоактивных металлов при определении средств и тактики тушения и локализации, а также прогнозирования последствий пожара с точки зрения загрязнения окружающей среды, зон возможного радиоактивного загрязнения.

В настоящей статье мы остановимся на одном из важнейших направлений исследований выделения дымовых аэрозолей — определении коэффициента дымообразования металлов и их соединений в дисперсном состоянии (порошок, гранулы, стружка).

Основная часть

С 31 декабря 2024 г. вступил в действие межгосударственный стандарт [9], в котором приводится методика и описание испытательного оборудования для определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов (п. 11). В стандарте не указано, что представленная методика не распространяется на металлы и их соединения, т. е. определение коэффициента дымообразования металлов и их соединений в дисперсном состоянии с характерным размером частиц более 850 мкм формально возможно. Твердые вещества и материалы в дисперсном состоянии с характерным размером частиц менее 850 мкм (п. 3.34) выделены в отдельное агрегатное состояние — пыли, а коэффициент дымообразования для пылей не определяется (п. 5.5, табл. 5.3). При этом на практике известно, что пожароопасные свойства металлов и их соединений в значительной степени зависят от дисперсности, а фракция менее 850 мкм имеет сравнительно более пожароопасные свойства.

В ФГБУ ВНИИПО МЧС России разработана экспериментальная установка, позволяющая исследовать процесс выделения дымовых аэрозолей при горении металлов, в т. ч. горящих в расплавленном состоянии, и соединений металлов, например металлоорганических, посредством определения поглощения луча монохроматического излучения различной длины волны в видимом и инфракрасном диапазоне с одновременным определением массовой концентрации аэрозоля в объеме камеры, возможностью изменения условий размещения и горения образца, в т. ч. создания газовой среды заданного состава или при-

менения огнетушащих веществ. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Экспериментальная установка представляет из себя герметичную дымовую камеру 1 из негорючего материала объемом 1 м³. В камере размещена оптическая система 8, 9 с формированием и регистрацией монохроматического луча длиной волны 405 нм, 650 нм и 980 нм (прорабатывается возможность использования излучения с иной длиной волны в среднем или дальнем инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне, а также анализатора спектра). Регулируется мощность источника монохроматического излучения. С помощью аспирационной системы 10, 11 с заданным расходом производится забор атмосферы камеры в процессе горения. Газовая арматура 7 позволяет создавать в камере атмосферу заданного состава и проводить отбор газовой фазы для анализа. Перегородкой из негорючего материала 4 выделен отсек с принудительной циркуляцией внутренней среды в камере, которую обеспечивают три вентилятора с регулируемыми оборотами 5. Перегородка выделенного отсека препятствует засветке фотоприемника от свечения при горении металла. В выделенном отсеке на подложке из огнеупорного материала 15 установлена регулируемая нагревательная площадка 14, на которую устанавливается лодочка с образцом 13. Через герметичные люки 2 и 6 проводятся подготовительные мероприятия и обслуживание оборудования. Дымовая камера через шибер 3 подключена к системе вытяжной вентиляции.

Для отработки и определения условий исследовательской методики определения коэффициента дымообразования металлов и их соединений, предлагаемой авторами

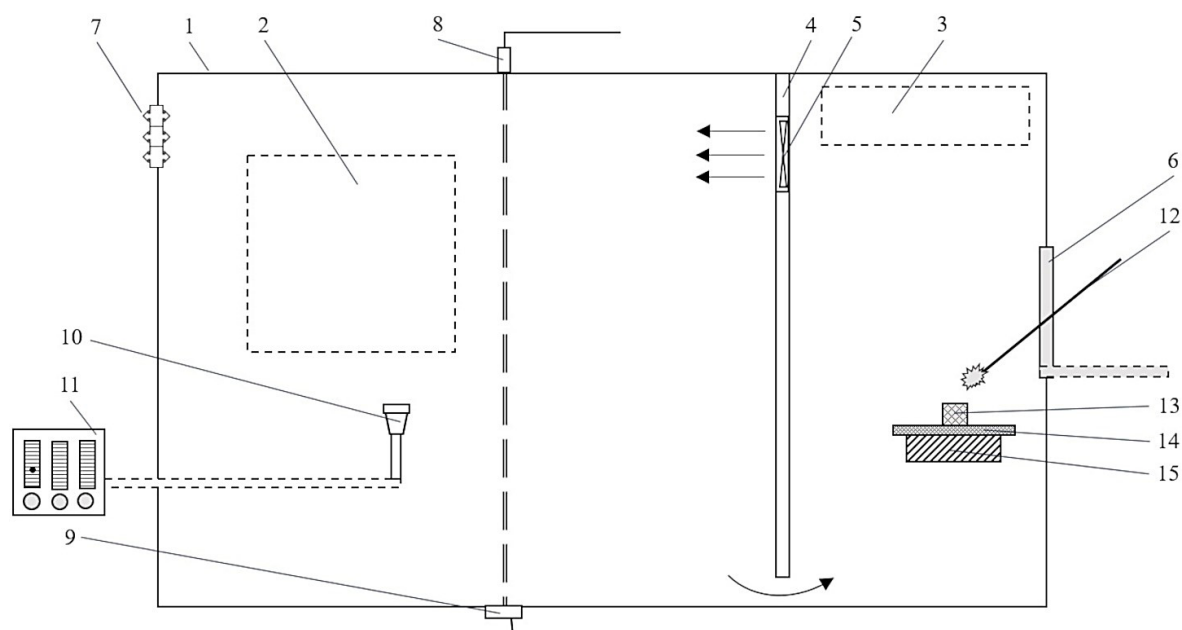


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 — корпус камеры из нержавеющей стали; 2, 6 — непрозрачный герметичный люк;
 3 — шибер системы вытяжной вентиляции; 4 — непрозрачная перегородка из негорючего материала;
 5 — вентиляторы; 7 — газовая арматура; 8 — источник монохроматического излучения;
 9 — приемник монохроматического излучения; 10 — аспирационная воронка с фильтром;
 11 — регулируемый аспиратор; 12 — источник зажигания образца; 13 — образец;
 14 — площадка с регулируемым нагревом; 15 — подставка из огнеупорного материала

Fig. 1. Scheme experimental setup:

- 1 — stainless steel chamber body; 2, 6 — opaque sealed hatch; 3 — exhaust ventilation system gate;
 4 — opaque partition made of non-flammable material; 5 — fans; 7 — gas fittings; 8 — source of monochromatic radiation; 9 — receiver of monochromatic radiation; 10 — aspiration funnel with filter; 11 — adjustable aspirator;
 12 — ignition source of the sample; 13 — sample; 14 — pad with adjustable heating;
 15 — base made of refractory material

статьи, на описанной выше установке была проведена серия предварительных испытаний со стружкой магниевого сплава МА2-1 по ГОСТ 14957–76.

Стружка магниевого сплава МА2-1 представлена в виде крупной «ваты», ломкая, вьется, ширина стружки от 0,1 до 2 мм, толщина от 50 до 100 мкм, основная масса толщиной 70 мкм. Имеет металлическую блестящую поверхность с одной стороны и матовую светло-серую с другой стороны, следов окисления, цветов побежалости и посторонних включений не наблюдается. Поверхность стружки значительно деформирована.

Методика проведения исследований укрупненно включала следующую последовательность действий: продувка испытательной камеры воздухом, взвешивание и размещение образца в стальной лодочке, размещение лодочки в камере на огнеупорной подложке, закрытие люков камеры (кроме люка для зажигания), включение источника монохроматического излучения, регистрация значения фотоприемника до поступления дыма, включение вентиляторов в камере для усреднения состава среды в камере, зажигание образца, герметизация камеры, регистрация минимального значения фотоприемника при задымленной

атмосфере камеры, открытие шибера вентиляции, продувка камеры воздухом, расчет коэффициента дымообразования.

Коэффициент дымообразования определяли для трех длин волн монохроматического излучения и различной массы образца. Значение коэффициента дымообразования

рассчитывалось в соответствии с п. 11.5.1 [9]. Результаты предварительных экспериментов представлены в графическом виде на рис. 2. Каждая точка на рис. 2 получена путем расчета среднего значения пяти испытаний при одинаковой массе образца и длине волны монохроматического излучения.

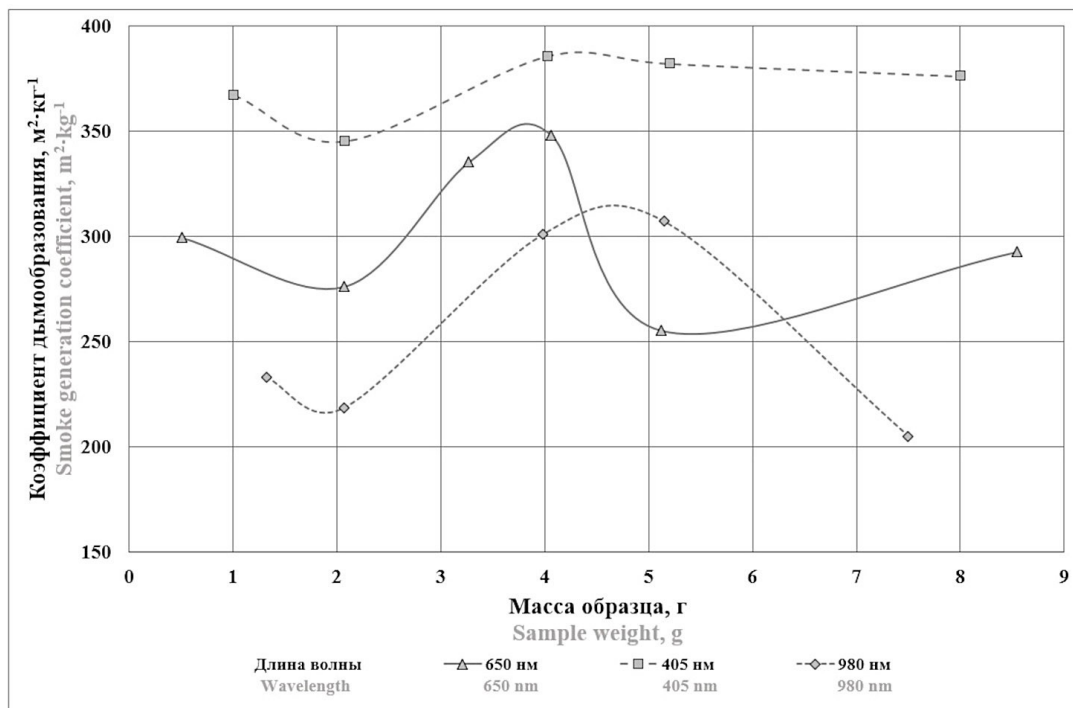


Рис. 2. Результаты предварительных испытаний с тонкой стружкой магниевого сплава МА2-1

Fig. 2. Results of preliminary tests with thin chips of magnesium alloy MA2-1

На графике показана зависимость значений коэффициента дымообразования от массы образца и длины волны источника света.

При навеске 1–2 г образец размещался в лодочке практически свободно, достаточно мощный очаг не формировался, образец не сгорал полностью, при разборе очага наблюдались несгоревшие фрагменты стружки. При навеске 3–5 г образец размещался в лодочке свободно, очаг формировался и сгорал практически полностью (полнота сгорания образца наибольшая из проведен-

ных экспериментов). При массе более 5 г образец размещался в лодочке сравнительно плотно, очаг формировался, однако наблюдалось влияние теплоотвода на стенки лодочки, при разборе очага на них наблюдался осевший несгоревший металл, т. е. часть паров магния не сгорела, а конденсировалась на холодной стенке лодочки. Таким образом, на результат влияют масса образца и способ ее размещения. В конкретных условиях испытания разница полученных значений коэффициента дымообразования достигает 40 %. Вместе с тем при определе-

нии значения каждой точки, т. е. при усреднении результатов пяти аналогичных испытаний, погрешность составляла менее 15 %.

Учитывая предполагаемые причины разницы полученных значений, по мнению авторов, для условий, приближенных к стандартной методике, следует принимать наибольшее из найденных значений коэффициента дымообразования тонкой стружки магниевых сплавов МА2-1 при длине волны монохроматического излучения 650 нм, которое составило $348 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$.

Полученные значения коэффициента дымообразования зависят также от длины волны монохроматического излучения. Результаты предварительных исследований с тонкой стружкой магниевых сплавов МА2-1 показывают, что поглощение светового излучения дымовыми аэрозолями магниевых сплавов при длине волны 405 нм больше на 25 %, чем при длине волны 650 нм. Выявленная зависимость ожидаема, т. к. с увеличением длины волны излучения и уменьшением размера дымовой частицы поглощение излучения уменьшается. Этот аспект будет исследоваться подробнее после отработки методики.

С учетом полученных предварительных результатов и промежуточных выводов считаем нужным обсудить возможность определения коэффициента дымообразования дисперсных металлов и их соединений с характерным размером частиц более 850 мкм по стандартной методике [9].

В ранних публикациях [7, 8] описывались сложности нормирования показателей пожарной опасности металлов и их соединений, связанные с механизмами воспламенения и горения металлов, а также причины вынужденного применения исследовательских методов с моделированием условий

обращения металла. То же относится к определению коэффициента дымообразования. На результат исследований оказывают влияние следующие взаимосвязанные факторы: механизм и режим горения (гетерогенное или парофазное), дисперсный состав и состояние поверхности (режим подвода окислителя к поверхности), температура и полнота сгорания образца (энергия источника зажигания, возможность формирования фронта горения, размер образца, высота слоя). По всем перечисленным факторам, по мнению авторов, условия испытаний по стандарту [9] не позволят в подавляющем числе случаев воспламенить образец металла (сплава, соединения) и/или вывести его на режим горения с максимальным дымовыделением.

В качестве примера можно привести горение гранул кальций-магниевых сплавов с характерным размером 1000–3000 мкм, что подпадает под область применения стандарта [9]. Такой образец загорается при достаточно жестких условиях: необходим высокоэнергетический источник, электрическая дуга или зажигающий состав и высота слоя образца более 20 мм. Если очаг формируется, то образец распространяет по слою горение, проходящее весьма активно, с высокой температурой, ослепительным свечением и обильным выделением дыма. В условиях стандартных испытаний гранулы, скорее всего, воспламенить не удастся.

Следует отметить конструкцию узла зажигания и крепления образца, приведенную на рисунке 11.1 стандарта [9], а также требования (п. 11.3) к образцу (для сыпучих материалов толщина слоя — не более 10 мм, расстояние от поверхности образца до поверхности излучателя — 60 мм). Температура горения многих металлов и их соединений в дисперсном состоянии до-

стигает 1600–2700 °С, при этом может сопровождаться образованием флоры пламени. С учетом конструкции испытательного оборудования и требования к размещению образца и характеристике его горения частота ремонта и необходимость повторной калибровки испытательного оборудования могут быть повышены. Авторам настоящей статьи не удалось провести сравнительные испытания образца магниевого сплава МА2-1 на стандартной установке из-за опасений оператора о выходе установки из строя.

Заключение

Изучение дымовыделения при горении дисперсных металлов и их соединений является актуальной научной и практической задачей.

В настоящей статье была разработана экспериментальная установка, позволяющая исследовать процесс выделения дымовых аэрозолей при горении металлов и металлоорганических соединений посредством определения поглощения светового луча в видимом и инфракрасном диапазоне с одновременным определением массовой концентрации аэрозоля в объеме камеры, возможностью изменения условий размещения и горения образца, в т. ч. создания газовой среды заданного состава или воздействия огнетушащих веществ.

Приведена схема установки. Представлена экспериментальная методика определения коэффициента дымообразования дисперсных металлов и их соединений.

С использованием экспериментальной установки и разработанной методики в условиях, приближенных к стандартным по ГОСТ 12.1.044–2018 (в ред. Изменения № 1) [9], проведены предварительные исследования коэффициента дымообразования стружки магниевого сплава МА2-1, который составил $348 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ (в реальных условиях масштабного очага горения коэффициент дымовыделения может измениться).

Отмечена необходимость доработки экспериментальной методики в части определения массы образца и его размещения, а также исследования вопроса возможности стандартизации указанной методики и распространения полученных результатов на образцы магниевого сплава МА2-1 иного фракционного состава.

Отмечено отсутствие стандартной методики для определения коэффициента дымовыделения дисперсных металлов и их соединений для частиц с характерным размером менее 850 мкм. Также показано, что применение стандартной методики и испытательного оборудования по ГОСТ 12.1.044–2018 (в ред. Изменения №1) [9] не позволяет определить коэффициент дымообразования дисперсных металлов и их соединений, который в полной мере отражает пожароопасные свойства материала.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горение и тушение металлов: анализ характерных пожаров / М. В. Бондаренко [и др.] // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сб. материалов VII Междунар.

науч.-практ. конф., Иваново, 17 октября 2024 г. Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 27–31. EDN EHAMLF.

2. Барахоев М. И., Орлов Е. А. Горение и тушение металлов и гидридов металлов // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 370-й годовщине образования пожарной охраны России, Иваново, 11 декабря 2019 г. Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 286–290. EDN OBOEWG.

3. Катруша И. А., Онищенко С. А. Особенности горения и тушения металлов // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. № 2 (6). С. 175–178. EDN GNKMSB.

4. Ягодников Д. А. Воспламенение и горение порошкообразных металлов. М. : изд-во МГТУ, 2009. 431 с.

5. Ягодников Д. А. Горение порошкообразных металлов в газодисперсных средах : монография. 2-е изд., испр. и доп. М. : изд-во МГТУ, 2018. 448 с.

6. Габриэлян С. Г. Пожарная опасность, особенности тушения суспензионных металлизированных топлив // Пожарная безопасность. 2018. № 4. С. 45–47. EDN YRAFCX.

7. Исследование кинетики образования дымовых аэрозолей при горении щелочных металлов / А. Л. Чибисов [и др.] // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2022. № 3 (13). С. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2022.32.40.003>. EDN: VXXYRH.

8. Чибисов А. Л., Инчиков А. П. Горение и тушение металлов // Пожарная безопасность. 2012. № 2. С. 32–35. EDN PIJAJD.

9. ГОСТ 12.1.044–2018. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения : межгос. стандарт : приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 5 октября 2018 г. № 717-ст межгос. стандарт ГОСТ 12.1.044–2018 введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации с 1 мая 2019 г. : введен впервые : дата введения 2019-05-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (дата обращения: 26.05.2025).

10. Мальцев В. М., Мальцев М. И., Кашпоров Л. Я. Основные характеристики горения. М. : Химия, 1977. 320 с.

REFERENCES

1. Burning and extinguishing of metals: analysis of characteristic fires / M. V. Bondarenko et al. // Modern fire-safe materials and technologies : proceedings of the VII International scientific and practical conference, Ivanovo, October 17, 2024. Ivanovo : Ivanovo Fire and Rescue Academy GPS MES of Russia, 2024. pp. 27–31. EDN EHAMLF.

2. Barakhoev M. I., Orlov E. A. Combustion and extinguishing of metals and metal hydrides // Modern fire-safe materials and technologies : proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 370th anniversary of the formation of the fire protection of Russia,

Ivanovo, December 11, 2019. Ivanovo : Ivanovo Fire and Rescue Academy GPS MES of Russia, 2019. pp. 286–290. EDN OBOEWG.

3. Katrusha I. A., Onishchenko S. A. Features of combustion and extinguishing of metals // Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement. 2020. № 2 (6). pp. 175–178. EDN GNKMSB.

4. Yagodnikov D. A. Ignition and combustion of powdered metals. M. MSTU Publishing House, 2009. 431 p.

5. Yagodnikov D. A. Combustion of powdered metals in gas-disperse media : a monograph. 2nd edition, revised and supplemented. M. : MSTU Publishing House, 2018. 448 p.

6. Gabrielyan S. G. Fire hazard, peculiarities of extinguishing suspension metallized fuels // Fire safety. 2018. № 4. pp. 45–47. EDN YRAFCX.

7. Investigation of the kinetics of smoke aerosols formation during combustion of alkali metals / A. L. Chibisov et al. // Actual issues of fire safety. 2022. № 3 (13). pp. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2022.32.40.003>. EDN: VXXYRH.

8. Chibisov A. L., Incikov A. P. Burning and extinguishing of metals // Fire safety. 2012. № 2. pp. 32–35. EDN PIJAJD.

9. GOST 12.1.044–2018. System of labor safety standards. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their determination : interstate standard : by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from October 5, 2018 № 717-st interstate standard GOST 12.1.044–2018 is put into effect as a national standard of the Russian Federation from May 1, 2019. : introduced for the first time : date of introduction 2019-05-01 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (date of application: 26.05.2025).

10. Maltsev V. M., Maltsev M. I., Kashporov L. Ya. Basic characteristics of combustion. M. : Chemistry, 1977. 320 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чибисов Андрей Леонидович, д-р техн. наук, профессор, консультант «Специальных Проектов и Систем» (108811, Российская Федерация, г. Москва, п. Московский, Киевское шоссе, 22-й км, домовлад. 4, стр. 1); e-mail: chibisov2@mail.ru

Федоткин Дмитрий Вячеславович, канд. техн. наук, начальник отдела ВНИИПО МЧС России (143903, Российская Федерация, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12); РИНЦ ID: 749039; e-mail: special@vniipo.ru

Инчиков Андрей Павлович, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела ВНИИПО МЧС России (143903, Российская Федерация, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12); РИНЦ ID: 756715; e-mail: apinchikov@mail.ru

Волкова Анна Владимировна, старший научный сотрудник ВНИИПО МЧС России (143903, Российская Федерация, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12); РИНЦ ID: 756796; e-mail: special@vniipo.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andei L. Chibisov. Dr. Sci. (Eng.), professor, consultant of “Special Projects and Systems” (1 p., 4 building, 22nd km, Kievskoe shosse, Moskovskiy settlement, Moscow, 108811, Russian Federation); e-mail: chibisov2@mail.ru

Dmitry V. Fedotkin, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department VNIPO EMERCOM of Russia (12 mkr., VNIPO, Balashikha, 143903, Russian Federation); RSC ID: 749039; e-mail: special@vniipo.ru

Andrei P. Inchikov, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Department VNIPO EMERCOM of Russia (12 mkr., VNIPO, Balashikha, 143903, Russian Federation); RSC ID: 756715; e-mail: apinchikov@mail.ru

Anna V. Volkova, Senior Researcher, VNIPO EMERCOM of Russia (12 mkr., VNIPO, Balashikha, 143903, Russian Federation); RSC ID: 756796; e-mail: special@vniipo.ru

Поступила в редакцию 13.01.2025

Одобрено после рецензирования 08.04.2025

Принята к публикации 15.06.2025