

Научная статья
УДК 614.842.61.
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.37.56.020

К вопросу методики оценки огнетушащей эффективности порошковых составов

Петр Владимирович Комраков¹

Артем Александрович Гапеев¹

Максим Андреевич Гудков¹

Иван Сергеевич Никитин²

Юлия Николаевна Коваль³

¹Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Москва, Россия

³Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Артем Александрович Гапеев, kratos_1987@mail.ru

Аннотация. В статье предложена методика оценки эффективности тушения порошковых огнетушащих составов. Особенностью рассматриваемого подхода является обеспечение достоверности и повторяемости результатов экспериментов по определению минимальной огнегасящей концентрации мелкодисперсного состава в объеме, для оценки эффективности тушения при применении огнетушащих порошков при разных значениях среднеобъемной температуры газовой среды в помещении. Применяемая установка относится к лабораторному оборудованию, в частности приборам, используемым для определения огнетушащих физико-химических свойств мелкодисперсных (порошковых) составов в замкнутых объемах (помещениях). Данная установка для определения огнетушащей концентрации состоит из камеры сгорания, компрессора, системы подачи порошка (пневмораспылителя), модельного очага горения, устройства регистрации среднеобъемной температуры. Подача навески порошкового состава в камеру сгорания производится с помощью устройства, состоящего из электромагнитного пульта управления с электромагнитным клапаном, составной трубки с навеской порошка и мембраны. Технический эффект предложенного подхода заключается в том, что применение электромагнитного пневмораспределителя исключает влияние оператора на опыт, так как время его срабатывания одинаково (не более 0,1 с). Подача порошка осуществляется снизу вверх, что позволяет частицам порошка равномерно распределиться по всему объему камеры. Минимальную огнетушащую концентрацию порошкового состава, возможно, оценить при разных значениях среднеобъемной температуры внутри камеры сгорания. На основании проведенного эксперимента обоснованы и численно определены параметры проведения оценки.

Ключевые слова: эффективность тушения, порошковые огнетушащие составы, импульсная подача огнетушащего вещества

Для цитирования: Комраков П.В., Гапеев А.А., Гудков М.А., Никитин И.С., Коваль Ю.Н. К вопросу методики оценки огнетушащей эффективности порошковых составов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 3 (38). С. 214-222. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.37.56.020>.

Original article.

On the issue of the methodology for assessing the fire extinguishing efficiency of powder compositions

Petr V. Komrakov¹

Artem A. Gapeev¹

Maxim A. Gudkov¹

Ivan S. Nikitin²

Yulia N. Koval³

¹Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

²National Research Moscow State University of Civil Engineering Moscow, Russia

³Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Artem A. Gapeev, kratos_1987@mail.ru

Abstract. The article proposes a methodology for assessing the extinguishing efficiency of powder fire extinguishing compositions. The peculiarity of the approach under consideration is to ensure the reliability and repeatability of the experimental results to determine the minimum extinguishing concentration of a finely dispersed composition in a volume, to assess the extinguishing efficiency when using fire extinguishing powders at different values of the average volume temperature of the gas environment in the room. The applied installation refers to laboratory equipment, in particular, devices used to determine the fire extinguishing physicochemical properties of finely dispersed (powder) compositions in closed volumes (rooms). This installation for determining the fire extinguishing concentration consists of a combustion chamber, a compressor, a powder supply system (pneumatic sprayer), a model combustion site, and a device for recording the average volume temperature. The powder composition sample is fed into the combustion chamber using a device consisting of an electromagnetic control panel with an electromagnetic valve, a composite tube with a powder sample and a membrane. The technical effect of the proposed approach is that the use of an electromagnetic pneumatic distributor eliminates the operator's influence on the experiment, since its response time is the same (no more than 0.1 s). The powder is supplied from the bottom up, which allows the powder particles to be evenly distributed throughout the entire volume of the chamber. The minimum fire-extinguishing concentration of the powder composition can be estimated at different values of the average volume temperature inside the combustion chamber. Based on the experiment, the parameters for conducting the assessment are substantiated and numerically determined.

Keywords: extinguishing efficiency, powder fire extinguishing compositions, pulsed supply of fire extinguishing agent

For citation: Komrakov P.V., Gapeev A.A., Gudkov M.A., Nikitin I.S., Koval Yu.N. On the issue of the methodology for assessing the fire extinguishing efficiency of powder compositions // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 3 (38). С. 214-222. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.37.56.020>.

Для реализации эффективности тушения пожаров на объектах защиты, предприятиях, в хранилищах легковоспламеняющихся и горючих жидкостей требуются новые технологии. С каждым годом увеличивается число производственных предприятий, с новыми пожароопасными технологическими процессами. Производство и переработка горючих материалов часто сопровождаются авариями, из-за которых возможна гибель людей, а также нанесение большого материального ущерба, как собственнику, так и государству. Наиболее универсальным средством тушения считается огнетушащий порошок. Он прекращает горение и, в отличие от воды и пены, оказывает минимальное разрушительное воздействия на изделия, оборудование и материалы. Кроме того, огнетушащий порошок не токсичен и не способен навредить здоровью людей в случае ложного срабатывания системы.

Однако эффективность огнетушащих порошков, в значительной мере, зависит от способа их подачи в очаг пожара. Наиболее эффективным можно считать импульсный способ подачи

огнетушащего вещества, так как масса огнетушащего вещества оказывает дополнительное воздействие за счет своих кинетических параметров. Только посредством подбора оптимальных параметров подачи порошковой струи можно в несколько раз повысить эффективность применения огнетушащего порошкового состава для тушения пожаров.

Актуальность темы исследования определяется необходимостью предварительной оценки качества тушения порошковыми составами внутренних пожаров. Ряд полигонных испытаний систем порошкового пожаротушения показал, что ликвидация горения не всегда соответствует параметрам, заявленным заводами – изготовителями. Соответственно требуется предварительная оценка огнетушащих свойств порошковых составов, определение оптимальной и нормативной интенсивности подачи огнетушащего порошка.

Проведенный обзор нормативно-правовой базы, регламентирующей проведение оценки качества огнетушащей способности порошков, позволил установить, что в ГОСТ 4.107-83 «Система показателей качества продукции. Порошки огнетушащие. Номенклатура показателей» [1] представлен фактический показатель огнетушащей способности «Е». Данный показатель представляет собой удельный расход порошка на тушение единицы площади поверхности горения модельного очага класса А или В. Следует отметить, что на численную величину Е будут влиять как технические характеристики огнетушителя, так и квалификация оператора, что в совокупности вносит субъективизм в оценку, не позволяя установить достоверное значение огнетушащей способности самого порошкового огнетушащего средства. При этом возможны ситуации, в которых качественный порошок не способен потушить пожар из-за неправильно подобранной насадки или нехватки давления в огнетушителе.

На основании вышеизложенного установлено, что нормативные требования не регламентируют данный метод испытаний, отсутствуют методики определения минимальной огнетушащей концентрации при подаче порошка из модулей, расположенных в нижней части замкнутого помещения.

Таким образом, разработка методики экспресс-анализа позволит оценить огнетушащие характеристики порошка с целью определения возможности его использования для конкретных объектов, пожарного оборудования и систем автоматического порошкового пожаротушения.

Следует отметить, что вопросы повышения эффективности порошковых огнетушителей рассмотрены в работах ученых Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, также похожие исследования по определению эффективности огнетушащих веществ, проводимых во ВНИИПО МЧС России [2-6].

Обоснование методики оценки огнетушащей эффективности

На основании проведенных исследований кафедрой процессов горения и экологической безопасности Академии ГПС МЧС России получен патент на полезную модель №230704 «Устройство для определения огнетушащей эффективности порошков» от 29.12.2023 г., в котором исключены субъективные факторы оценки огнетушащей способности порошков. На основании указанной полезной модели предлагается ввести понятие «минимальная огнетушащая концентрация порошка» [7].

Показатель минимальной огнетушащей концентрации порошка $\varphi_{\min}$, кг/м³, – масса порошка, необходимая для тушения единицы объема помещения, в котором возник очаг пожара и который определяется зависимостью (1):

$$\varphi_{\min} = \frac{m_{\min}}{V_{\text{пом}}} \quad (1)$$

где, $m_{\min}$ – минимальная масса порошкового средства, при которой произошло тушение модельного очага пожара в макете помещения, кг;

$V_{\text{пом}}$ – объем помещения (установки), в котором находится модельный очаг пожара, м³.

Для определения минимальной огнетушащей концентрации порошка предлагается следующая методика:

1. Установка для определения огнетушащей концентрации (Рис.1) состоит из камеры сгорания, компрессора, системы подачи порошка (пневмораспылителя), модельного очага горения, устройства регистрации среднеобъемной температуры. Подача навески порошкового состава в камеру сгорания производится с помощью устройства, состоящего из электромагнитного пульта управления с электромагнитным клапаном, составной трубки с навеской порошка и мембраны.

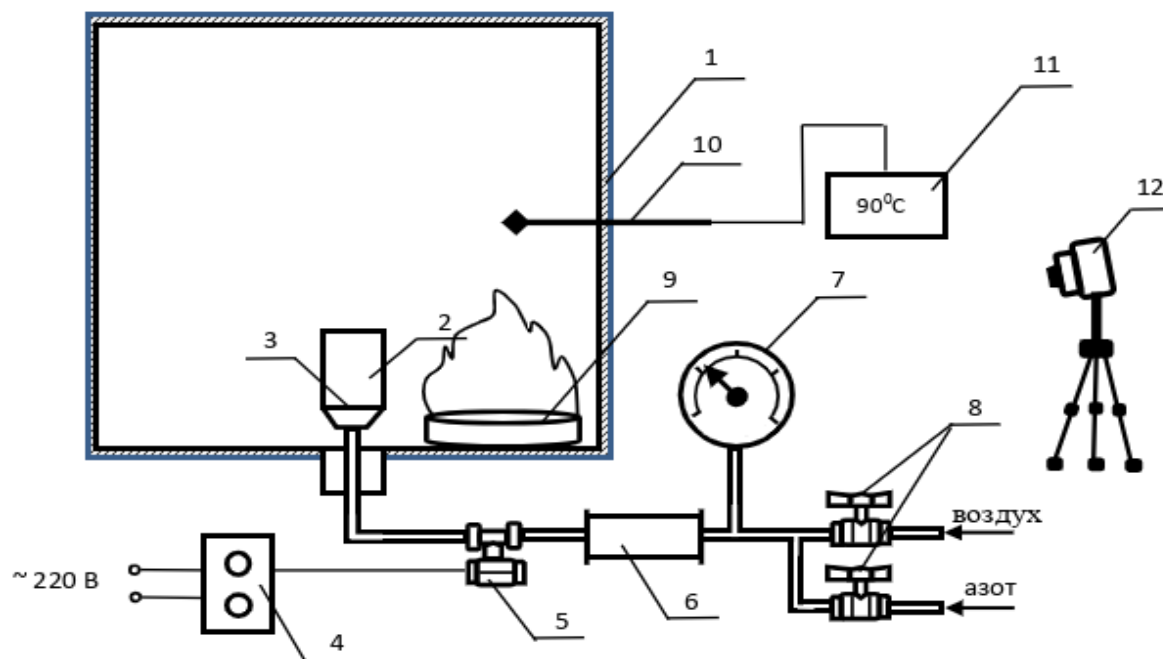


Рис.1. Схема экспериментальной установки по определению минимальной огнетушащей концентрации огнетушащих порошков:

1 – камера сгорания; 2 – составная трубка для порошка; 3 – мембрана; 4 – пульт управления; 5 – электромагнитный клапан; 6 – рабочая камера; 7 – манометр; 8 – вентили для подачи воздуха или азота под давлением; 9 – модельный очаг пожара; 10 – термонара; 11 – устройство регистрации температуры; 12 – видеокамера

Подача порошка осуществляется с нижней части камеры сгорания, что позволяет порошковому аэрозолю равномерно рассеяться по всему объему камеры. Момент тушения определяется визуально через смотровое окно или покадровой видеосъемкой с помощью скоростной видеокамеры. В зависимости от горючего вещества установка дополняется необходимыми компонентами, такими как газовая горелка, емкость с горючей жидкостью в соединении с расширительной емкостью и поддоном с твердым горючим материалом. Также для проведения эксперимента используются следующие приборы и оборудование: секундомер, электронные весы с точностью 0,1 г., мерный стакан и видеокамера.

Применение электромагнитного пневмораспределителя исключает влияние оператора на опыт, так как время его срабатывания одинаково (не более 0,1 с). Подача порошка осуществляется снизу вверх, что позволяет частицам порошка равномерно распределиться по всему объему камеры. Минимальную огнетушащую концентрацию порошкового состава, возможно, оценить при разных значениях среднеобъемной температуры внутри камеры сгорания.

Для определения минимальной огнетушащей концентрации, задаются входными параметрами:

P – давление воздуха в рабочей камере, атм;

m_0 – масса навески, кг;

m_1 – масса порошка, не участвующая в тушении, кг;

$V_{\text{кам}}$ - объем камеры сгорания, м³.

Принцип работы экспериментальной установки, представленной на Рис.1 заключается в следующем: давление воздуха создается компрессором и удерживается в рабочей камере (6) электромагнитным клапаном (5), значение давления контролируется манометром (7), внутри составной трубки (2) помещают мембрану (3), сверху мембраны помещают навеску порошка. Поджигают горючую жидкость, газ или твердый горючий материал (ТГМ) в емкости. Включается запись на видеокамере (12). При открывании электромагнитного клапана, давление воздуха разрывает мембрану и выбрасывает навеску порошка в виде струи в камеру сгорания. Порошковая струя равномерно рассеивается в объеме камеры и оседает в очаг пламени. Момент и результат эксперимента фиксируется визуально или видеокамерой.

Если очаг потушен не был, то берется большая по массе навеска, и эксперимент повторяется. В случае тушения очага, взвешиваются остатки порошка m_1 , не участвующие в процессе тушения (порошок, застрявший в составной трубке), и от начальной массы навески m_0 отнимается m_1 , тем самым определяется масса порошка, непосредственно, участвующая в тушении.

Выбор и обоснование модельной горючей жидкости.

Для проведения оценки огнетушащей способности порошка, в качестве модельной жидкости следует использовать н-гептан в соответствии с ГОСТ 25828-83 «Гептан нормальный эталонный. Технические условия» [8]. Использование указанной ГЖ обусловлено минимальным значением величины поверхностного натяжения. Исходя из основного механизма прекращения горения при использовании порошковых огнетушащих составов следует, что в случае прекращения горения на выбранной модельной жидкости, в остальных ГЖ, с более высоким поверхностным натяжением, затухание произойдет при меньшем количестве порошка.

Определение оптимального расстояния от порошковой трубки до тигля с горючей жидкости

Табл.1. Исходные данные

№ п/п	Параметр	Значение параметра
1.	Размеры камеры, м	0,44 × 0,53 × 0,48
2.	Вид огнетушащего порошка	на основе NaHCO ₃
3.	Вид горючего	Гептан (C ₇ H ₁₆)
4.	Площадь пожара (для ГЖ), м ²	1,8·10 ⁻³
5.	Шаг изменения расстояния, м	0,01
6.	Начальная температура, °С	25

Табл.2. Результаты исследований по определению оптимального расстояния, обеспечивающего минимальную огнетушащую концентрацию

№ п/п	Расстояние от центра порошковой трубки до центра тигля, L, см	Масса порошка, m, г.	Результаты эксперимента (тушение/тушение не произошло) +/-	Минимальная огнетушащая концентрация $\varphi(\text{огн})$, г/м ³
1.	6	29	+	
2.	6	28	+	250
3.	6	27	-	
4.	7	28	+	
5.	7	27	+	241
6.	7	26	-	
7.	8	28	+	
8.	8	27	+	241

№ п/п	Расстояние от центра порошковой трубки до центра тигля, L , см	Масса порошка, m , г.	Результаты эксперимента (тушение/тушение не произошло) +/-	Минимальная огнетушащая концентрация $\varphi(\text{огн})$, г/м ³
9.	8	26	-	
10.	9	26	+	232
11.	9	25	-	
12.	10	26	+	
13.	10	25	+	223
14.	10	24	-	
15.	11	25	+	
16.	11	24	+	214
17.	11	23	-	
18.	12	25	-	
19.	12	26	+	232
20.	13	26	+	232
21.	13	25	-	
22.	14	26	-	
23.	14	27	+	241
24.	15	27	+	241
25.	15	26	-	



а)

б)

Рис.2. Подача порошка в очаг горения импульсным способом тушения:

а) начало тушения модельного очага, б) процесс тушения модельного очага пожара

Зависимость минимальной огнетушащей концентрации порошка и расстояния от центра порошковой трубки до центра фарфорового тигля.

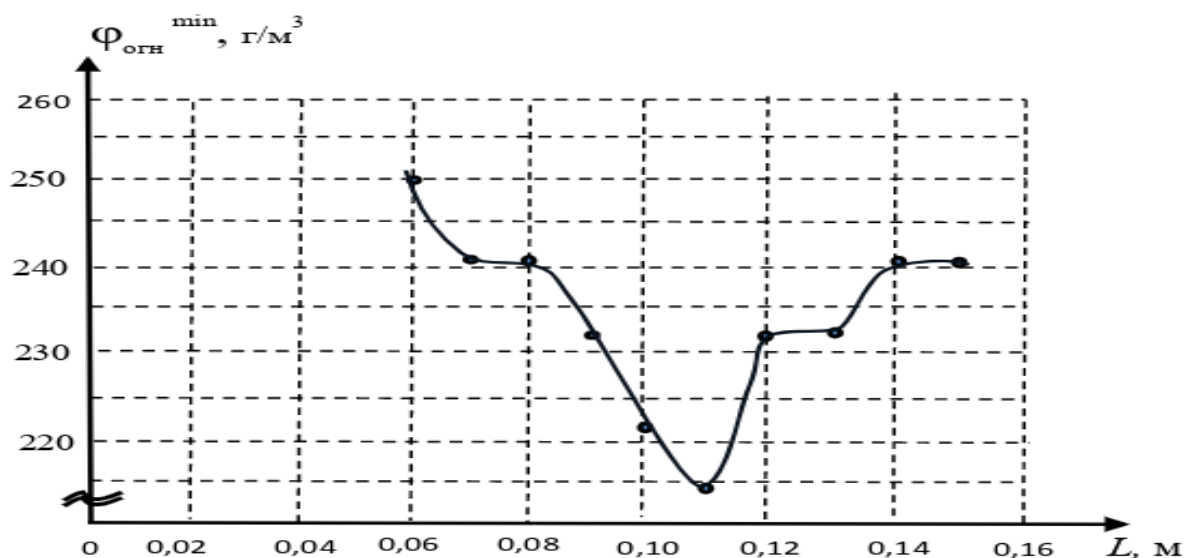


Рис.3. Зависимость минимальной огнетушащей концентрации порошка и расстояния от центра порошковой трубки до центра фарфорового тигля

Из представленной зависимости следует, что при испытании порошков в камере с размерами $0,44 \times 0,53 \times 0,48$ м, оптимальное расстояние, обеспечивающее минимальную огнетушащую концентрацию, составляет – 0,11 м.

Определение оптимального уровня горючей жидкости до края фарфорового тигля

Экспериментальное определение оптимального уровня горючей жидкости до края фарфорового тигля проводилась согласно исходным данным, представленным в Табл.3.

Табл.3. Результаты исследований по определению оптимального уровня горючей жидкости, обеспечивающего минимальную огнетушащую концентрацию

№ п/п	Уровень горючей жидкости (расстояние зеркала жидкости до края сосуда), h , м	Масса порошка, m , г.	Результаты эксперимента (тушение/ тушение не произошло) +/-	Минимальная огнетушащая концентрация $\phi(огн)$, г/м³
1.	0,040	24	+	214
2.	0,035		+	
3.	0,030		+	
4.	0,025		+	
5.	0,020		-	
6.	0,015		-	

На основании представленной таблицы оптимальная высота уровня горючей жидкости (расстояние зеркала жидкости до верхнего края сосуда) составляет 2,5 см [9].

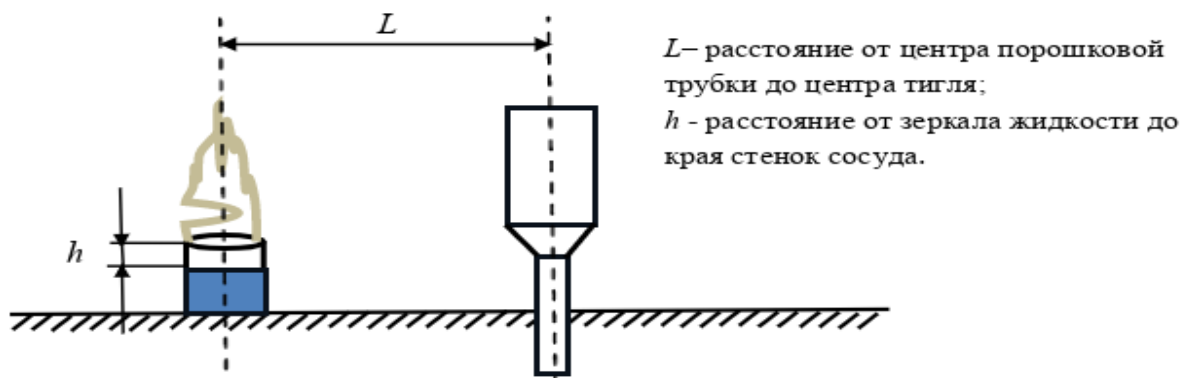


Рис. 4. Схема размещения тигля относительно составной порошковой трубки

Результаты и их обсуждение

При определении минимальной огнетушащей концентрации порошка от вида горючей жидкости в макете помещения размерами $0,44 \times 0,53 \times 0,48$ м, необходимо учитывать, что в области температур в помещении от 20 до 45 °С расстояния от центра порошковой трубки до центра зеркала горючей жидкости в тигле, должно составлять 0,11 м. При этом минимальная огнетушащая концентрация порошка на основе NaHCO_3 находится в пределах 214 г/м³. Такое же расстояние рекомендуется использовать при нахождении минимальной огнетушащей концентрации для порошков других видов и марок.

Для проведения испытаний рекомендуется использовать фарфоровый тигель с площадью зеркала горючей жидкости равной $1,8 \cdot 10^{-3}$ м². Расстояние от зеркала жидкости до края стенок тигля не должно превышать 0,025 м (2,5 см).

Список источников

- ГОСТ 4.107-83 «Система показателей качества продукции. Порошки огнетушащие. Номенклатура показателей». URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/7668/?ysclid=m7k6q54y5l822852989>.
- Кожевин Д.Ф., Поляков А.С., Сытдыков М.Р. О практике параметризации переносных порошковых огнетушителей (аналитический обзор) // Пожаровзрывобезопасность. 2014. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-praktike-parametrizatsii-perenosnyh-poroshkovyh-ognetushiteley-analiticheskiy-obzor>.
- Поляков А.С., Кожевин Д.Ф., Сорокин И.А. Методика оценки эффективности конструкции порошковых огнетушителей // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2020. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-effektivnosti-konstruktsii-poroshkovyh-ognetushiteley>.
- Патент на полезную модель № 195837 U1 Российская Федерация, МПК А62С 13/00. универсальная установка пожаротушения: № 2019130908: заявл. 30.09.2019: опубл. 06.02.2020 / Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков, М. Р. Сытдыков, А. Г. Шилов. – EDN WMYAZE.
- Сытдыков, М.Р. Способ и результаты оценки распределения частиц огнетушащих порошков в потоке аэрозоля / М.Р. Сытдыков, Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2014. – № 3(31). – С. 60-67.
- Определяющая роль цепного механизма в температурной зависимости скорости реакций газозафазного горения / В.В. Азатян, И.А. Болодьян, Н.П. Копылов [и др.] // Журнал физической химии. – 2018. – Т. 92, № 5. – С. 701-706.
- ГОСТ 25828-83 «Гептан нормальный эталонный. Технические условия». - URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/13145/?ysclid=m7k6ytbhm5511860733>.
- Зависимость огнетушащей концентрации порошковых огнетушащих составов от параметров внутреннего пожара. Герасимова И.Н., Комраков П.В., Грушева Т.Г., Смирнов А.В., Дialeктова Т.П. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2023. № 1. С. 14-21. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50519207>.

9. Патент на полезную модель №230704 «Устройство для определения огнетушащей эффективности порошков» от 29.12.2023 г.

References

1. GOST 4.107-83 "System of product quality indicators. Fire extinguishing powders. The nomenclature of indicators". - URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/7668/?ysclid=m7k6q54y5l822852989>.
2. Kozhevin D.F., Polyakov A.S., Sytdikov M.R. On the practice of parameterization of portable powder fire extinguishers (analytical review) // Fire and explosion safety. 2014. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-praktike-parametrizatsii-perenosnyh-poroshkovyh-ognetushiteley-analiticheskiy-obzor>.
3. Polyakov A.S., Kozhevin D.F., Sorokin I.A. Methodology for evaluating the effectiveness of the design of powder fire extinguishers // Scientific and Analytical journal Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2020. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-effektivnosti-konstruktsii-poroshkovyh-ognetushiteley>.
4. Utility Model Patent No. 195837 U1 Russian Federation, IPC A62C 13/00. universal fire extinguishing system: No. 2019130908: application 30.09.2019: published 02.06.2020 / D.F. Kozhevin, A.S. Polyakov, M. R. Sytdikov, A. G. Shilov. – EDN WMYAZE.
5. Sytdikov M.R., Kozhevin D.F., Polyakov A.S. Method and results of assessing the particle distribution of extinguishing powders in an aerosol stream // Problems of risk management in the technosphere. – 2014. – № 3 (31). – Pp. 60-67.
6. The determining role of the chain mechanism in the temperature dependence of the rate of gas-phase gorenje reactions / V.V. Azatyan, I.A. Bolodyan, N.P. Kopylov [et al.] // Journal of Physical Chemistry. – 2018. – Vol. 92, No. 5. – pp. 701-706.
7. GOST 25828-83 "Normal reference heptane. Technical specifications". - URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/13145/?ysclid=m7k6ybtbm5511860733>.
8. The dependence of the extinguishing concentration of powder extinguishing agents on the parameters of an internal fire. Gerasimova I.N., Komrakov P.V., Grusheva T.G., Smirnov A.V., Dialectova T.P. Fires and emergencies: prevention, elimination. 2023. No. 1. pp. 14-21. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50519207>.
9. Utility model patent No.230704 "Device for determining fire extinguishing efficiency.

Информация об авторах

П.В. Комраков – кандидат технических наук, доцент

А.А. Гапеев – кандидат химических наук

М.А. Гудков – кандидат технических наук

И.С. Никитин – кандидат химических наук

Ю.Н. Коваль – кандидат биологических наук, доцент

Information about the author

P.V. Komrakov – Ph.D. of Engineering, Associate Professor

A.A. Gapeev – Ph.D. of Chemical Sciences

M.A. Gudkov – Ph.D. of Engineering Sciences

Ivan S. Nikitin – Ph.D. of Chemical Sciences

Yu.N. Koval – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.06.2025, одобрена после рецензирования 15.08.2025, принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 01.06.2025, approved after reviewing 15.08.2025, accepted for publication 01.09.2025.