

Научная статья

УДК 614.841.1; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-195-205

УЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ОСНАЩЕНИИ ПЕРЕНOSНЫМИ ПОРОШКОВЫМИ ОГNETУШИТЕЛЯМИ

✉ **Чернов Анатолий Альбертович.**

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Россия; Институт химической кинетики и горения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия.

Цыганков Михаил Сергеевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.

Шмаков Андрей Геннадьевич.

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Россия

✉ chernov@kinetics.nsc.ru

Аннотация. Нормативная огнетушащая способность веществ сравнивается с результатами экспериментов по тушению пожаров класса В. Показано, что нормативная, реальная и лабораторная эффективность порошковых огнетушащих составов находятся в хорошем согласии. Представленные исследования подтверждают, что эффективность подавления горения класса В можно улучшить в два раза путем добавления небольшого количества ингибитора в инертное вещество. Обсуждается вопрос оснащения объекта защиты порошковыми огнетушителями с точки зрения учета их эффективности. Показано, что из-за низких требований к количеству и качеству огнетушителей специалисту по пожарной безопасности необходимо тщательно обратить внимание на вес, место установки и реальную эффективность огнетушителя для повышения качества системы предотвращения пожара на объекте защиты.

Ключевые слова: пожарная безопасность, огнетушащее вещество, огнетушащая способность, пожаротушение

Для цитирования: Чернов А.А., Цыганков М.С., Шмаков А.Г. Учет эффективности огнетушащих веществ при оснащении переносными порошковыми огнетушителями // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 4 (68). С. 195–205. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-195-205.

Scientific article

CONSIDERATION OF THE EFFECTIVENESS OF A FIRE EXTINGUISHING AGENTS WHEN EQUIPPED WITH PORTABLE POWDER FIRE EXTINGUISHERS

✉ **Chernov Anatoly A.**

Siberian state university of geosystems and technologies, Novosibirsk, Russia; Institute of chemical kinetics and flame Siberian branch of the Russian academy of sciences, Novosibirsk, Russia.

Tsygankov Mikhail S.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.

Shmakov Andrey G.

Siberian state university of geosystems and technologies, Novosibirsk, Russia

✉ chernov@kinetics.nsc.ru

Abstract. In the article, the normative extinguishing capacity of substances is compared with the results of experiments on extinguishing class B fires. It is shown that the normative, real

and laboratory effectiveness of powder extinguishing compositions are in good agreement. The presented studies confirm that the effectiveness of class B flame suppression can be improved by a factor of two by adding a small amount of inhibitor to the inert substance. The issue of equipping the object of protection with powder fire extinguishers is discussed from the point of view of taking into account their effectiveness. It is shown that due to the low requirements for the quantity and quality of fire extinguishers, a fire safety specialist must carefully pay attention to the weight, installation location and actual effectiveness of the fire extinguisher to improve the quality of the fire prevention system at the protection facility.

Keywords: fire safety, fire extinguishing agent, fire extinguishing ability, fire extinguishing

For citation: Chernov A.A., Tsygankov M.S., Shmakov A.G. Consideration of the effectiveness of a fire extinguishing agents when equipped with portable powder fire extinguishers // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 4 (68). P. 195–205. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-195-205.

Введение

Тема пожарной безопасности не перестает быть актуальной на протяжении всех времен, ведь даже при наличии современного оборудования использование наиболее дешевых материалов, халатное отношение к правилам пожарной безопасности, а также недостаточные знания специалистов из года в год приводят к тяжелым последствиям.

Важным элементом системы тушения пожара на ранней стадии, которую должен создать специалист по пожарной безопасности на объекте защиты, являются переносные огнетушители с порошковыми огнетушащими веществами (ОТВ). Нормативное оснащение ими должно гарантированно обеспечивать тушение пожара одним человеком на площади, указанной в технической документации завода-изготовителя. Регламентированная эффективность огнетушащего вещества по ГОСТ Р 53280.4–2009 «Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний» (п. 4.1.10) [1] для тушения пожаров класса В должна обеспечивать тушение модельного очага пожара 55 В (модельный очаг В – это жидкие горючие вещества. Например, модельный очаг пожара 55 В представляет собой противень с 18 л воды и 37 л бензина, в результате получается 55 л горючей жидкости) с расходом не более 1 кг/м². Площадь данного очага ≈ 1,75 м². В огнетушитель загружают такое количество испытываемого порошка, которое в уплотненном состоянии занимает объем 2,5±0,1 л, что при кажущейся плотности от 700 до 1 000 кг/м³ (п. 4.1.1, п. 4.1.2 ГОСТ Р 53280.4–2009) может составлять массу 2,1±0,3 кг (п. 5.7.2 ГОСТ Р 53280.4–2009).

В первой редакции этого нормативного документа предполагалось загружать в огнетушитель 3,00±0,06 кг номинального заряда. В соответствии с п. 5.10 ГОСТ Р 51057–2001 «Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний» [2] рекомендуемый коэффициент заполнения 0,75±0,05.

С расстояния 2,0±0,5 м начинают подачу ОТВ в очаг горения. Сплошное облако порошка распространяется над очагом, перекрывая его по ширине в каждый отдельный момент тушения. Таким образом, основным критерием работоспособности огнетушителя и, соответственно, находящегося в нем ОТВ является способность затушить пожар 1,75 м² класса В двумя килограммами ОТВ.

Не каждый порошок способен затушить пожар, даже если он визуально создает достаточно плотное облако ОТВ в дисперсном состоянии, как это можно увидеть на рис. 1. На рисунке видно, что плотное облако инертной пыли молотого известняка не может затушить модельный очаг пожара, потому что в нем отсутствует действующее вещество на фосфорно-аммонийной основе, хлоридной или другой основах. Действующее вещество имеет значительную стоимость, поэтому производители часто экономят на нем.

При создании системы пожарной безопасности на объекте защиты (на производстве) с 1 января 2021 г. руководствуются следующими нормативными документами: СП 9.13130–2009

«Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации» [3] и постановлением Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» в новых редакциях [4], которые устанавливают требования к выбору, размещению и техническому обслуживанию порошковых огнетушителей. Также установлены экологические требования при утилизации, при этом через пять лет огнетушащие порошковые составы на фосфорно-аммонийной основе и хлоридной основе могут быть использованы в качестве сырья для удобрений, а порошок на бикарбонатной основе может быть использован в качестве компонента в чистящих средствах или для нейтрализации кислых сточных вод.



Рис. 1. Плотное облако инертной пыли без действующего вещества (не всегда может затушить пожар в нормативных условиях)

До 1 января 2021 г. оснащение огнетушителями производилось согласно нормам пожарной безопасности НПБ 166–97 [5]. Одно из основных требований было $9 \div 10$ кг ОТВ на 200 м^2 защищаемой площади помещения. При норме порядка 1 кг/м^2 это означает, что очаг пожара должен быть не более 5 % от полной площади. По новому законодательству очаг пожара предполагается не более 3 % общей площади помещения.

Очевидно, что нормы оснащения огнетушителями находятся на критическом уровне их эффективного действия. Поэтому специалисту по пожарной безопасности для повышения качества системы предотвращения пожара на объекте защиты необходимо тщательно относиться к месту их установки, учитывать близость к вероятному очагу пожара и реальную эффективность огнетушителя. В табл. 1 приведена нормативная эффективность порошковых огнетушителей. Последняя строчка в табл. 1 соответствует испытанию ОТВ при сертификационных испытаниях. Допускается наличие остатка порошка в огнетушителе в количестве 10 % от 2 кг.

В соответствии с п. 5.1.7 ГОСТ Р 59641–2021 «Руководство по размещению, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность» требуется для 3 % от общего количества однотипных огнетушителей проводить проверки основных эксплуатационных параметров огнетушащего порошка с привлечением специализированной организации и осуществлять выборочное вскрытие порошковых огнетушителей, проверять огнетушители на фактическое состояние и необходимость отправки их на перезарядку, которая оценивается по наличию комков и сыпучести порошка, а не по реальной способности к тушению пожара. В данной работе предлагается методика для выборочной проверки реальной тушащей способности ОТВ, проверяемого согласно ГОСТ Р 59641–2021, а также для оптимизации и упрощения разработки новых тушащих порошковых составов, используемых в огнетушителях, посредством применения компактной и простой в использовании установки.

Таблица 1

**Зависимость регламентируемого количества ОТВ от минимального ранга
модельного очага пожара класса В**

Нормативный документ	Класс модельного очага пожара	Площадь очага, м ²	Количество ОТВ, кг	Расход ОТВ кг/м ²	Время подачи ОТВ	Удельный расход кг/(м ² с)
ГОСТ Р 51057	70В	~2,25	5	2,22	10	~0,22
ГОСТ Р 51057	55В	~1,75	4	2,29	10	~0,23
ГОСТ Р 51057	34В	~1,10	3	2,73	8	~0,34
ГОСТ Р 51057	21В	~0,65	2	3,08	6	~0,51
ГОСТ 53280.4–2009	55В	~1,75	1,8÷2	1,03÷1,14	8÷10	~0,13

Целью данного исследования является изучение возможности экспериментально оценить сравнительную эффективность ОТВ порошковых огнетушителей с помощью упрощенных методов проверки качества ОТВ. Также целью данного исследования являлось сравнение нормативных требований для реальных испытаний и лабораторной эффективности порошковых огнетушащих составов.

Методы исследования

Исследованию подавления пламени различными ингибиторами посвящено огромное количество работ. Различие в эффективности действия того или иного вещества может достигать более чем в 1 000 раз [6, 7]. Для порошковых огнетушителей применяют смесь инертного порошка с различными ингибиторами в виде солей металлов, соединений фосфора и хлора, которые в этом случае называют активными добавками. В работе [8] исследовано значительное количество такого типа ингибиторов и их смесей в модельных условиях.

Для сравнительной оценки эффективности ОТВ различных производителей, а также для разработки огнетушащего порошка для усиления действия ОТВ авторами статьи используется упрощенный метод оценки качества ОТВ, а именно оптимизированный метод контролируемого пневматического импульсного впрыска порошка в модельный очаг возгорания класса В с эффективной площадью горения ~0,00636 м².

Модельный очаг возгорания имеет радиус ~4,5 см, в отличие от прототипов [9], в которых использовался модельный очаг возгорания радиуса 20 см. Используемая установка за 1,0±0,01 сек. с помощью электронного клапана выпускает через бункер с порошком 1 л воздуха, создавая облако с порошком общей массой от 0,2 до 1,0 г, что составляет концентрацию на выходе из сопла от 200 до 1 000 г/м³. На рис. 2 показаны мгновенные фотографии процесса тушения модельного очага возгорания. Облако частиц тушащего вещества проходит сквозь диффузионный факел горения бензина. Менее чем через секунду происходит прекращение горения. Масса бункера с порошком измеряется до и после впрыска. Тем самым определяется масса частиц в облаке и масса частично оседающего на стенках порошка. Этот метод может быть применен для разработки современных ОТВ.

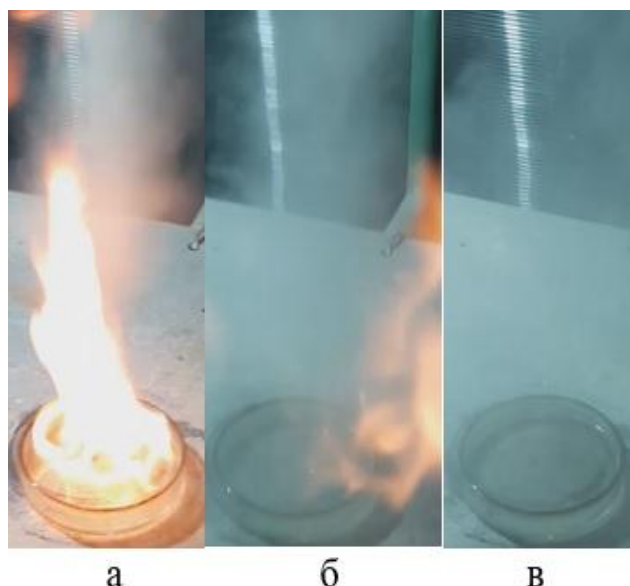


Рис. 2. Мгновенные фотографии процесса тушения модельного очага возгорания

Результаты исследования и их обсуждение

Был проведен численный анализ импульсного метода определения эффективности ОТВ с помощью программы Ansys CFX. В модели из выпускного сопла, расположенного над модельным очагом возгорания, выходит поток воздуха с массовым расходом 1,2 г/с и твердые частицы с расходом 0,01 г/с. Диаметр частиц варьировался от 1 мкм до 40 мкм. На рис. 3 слева показаны треки частиц диаметром 1 мкм, а справа треки частиц диаметром 40 мкм. Цвет треков соответствует скорости движения. Из рис. 3 видно, что облако более мелких частиц движется широкой струей, тогда как крупные частицы движутся узким ядром, тем не менее видно, что практически все частицы проходят зону модельного очага возгорания. На рис. 4 показаны фотографии используемого порошка состава известняк + желтая кровяная соль (ЖКС), сделанные с помощью электронного микроскопа. Как видно из фотографий, размер частиц от 1 до 40 мкм.

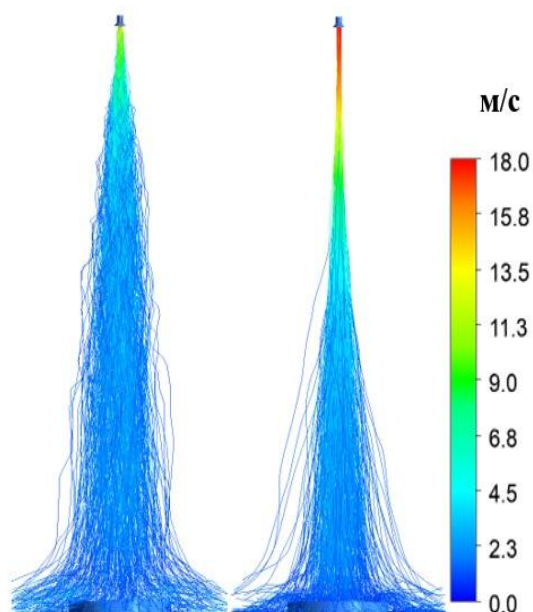


Рис. 3. Визуализация треков частиц. Слева диаметр частиц 1 мкм, справа 40 мкм

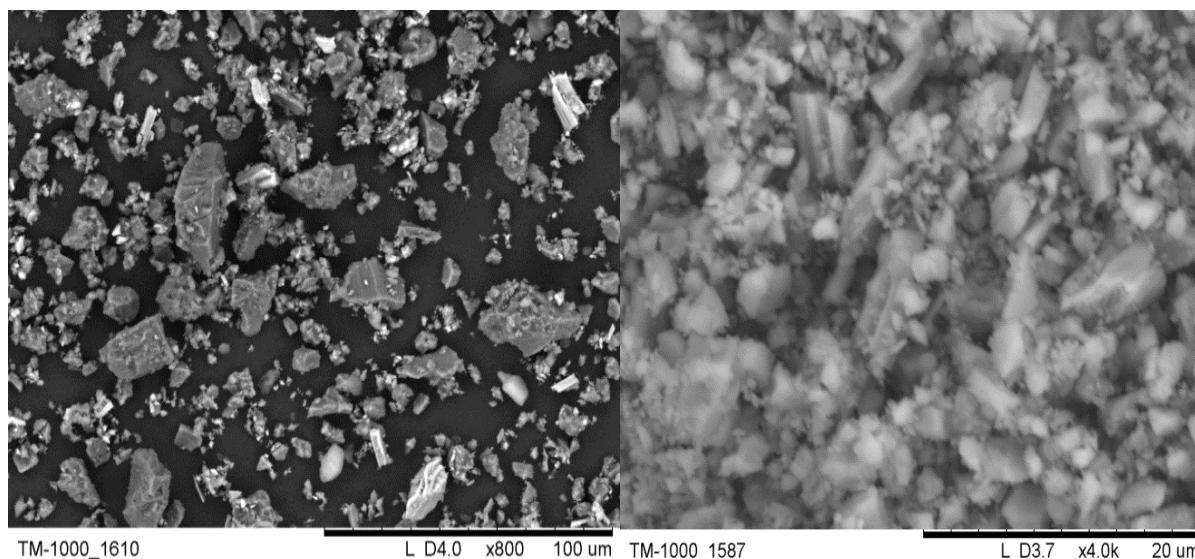


Рис. 4. Фотографии порошка состава известняк + желтая кровяная соль, сделанные с помощью электронного микроскопа

Частицы порошка поступают из сопла с довольно большой скоростью – 18 м/с. При приближении к модельному очагу возгорания из-за расширения пылегазовой струи она падает до 2 м/с. На рис. 5 показаны зависимости вертикальной компоненты средней скорости движения частиц от расстояния до выпускного сопла и скорость воздуха. Мелкие частицы, так же как и воздух, быстрее теряют скорость, чем крупные [10]. Непосредственно вблизи поверхности очага скорости движения частиц и воздуха равны приблизительно 2 м/с. Из рис. 3 видно, что мелкие частицы имеют более хаотичный вид движения, поэтому средняя вертикальная компонента меньше, чем у воздуха и крупных частиц.

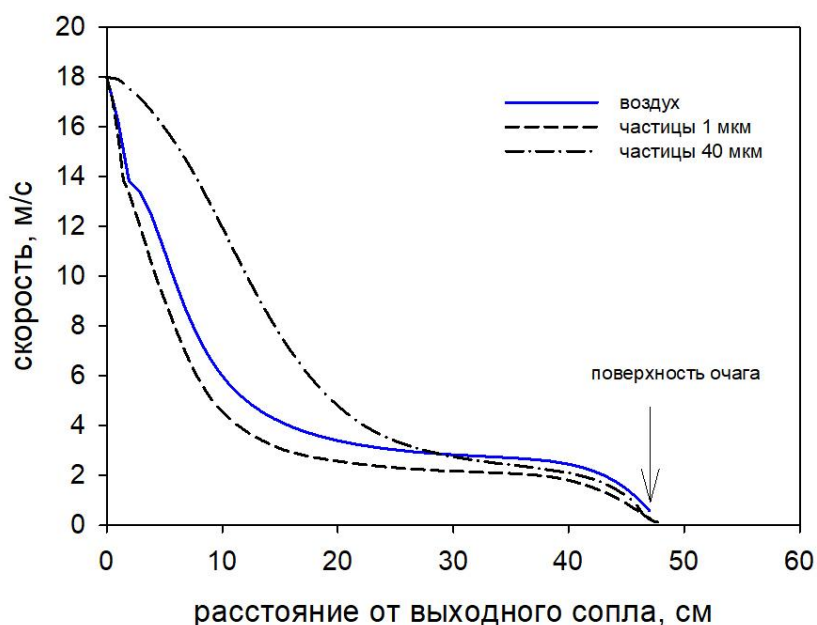


Рис. 5. Зависимость скорости от расстояния до выходного сопла. Поверхность очага на расстоянии 47 см. Скорость движения воздуха измерялась термоанемометром «Testo 425»

Модельный очаг возгорания является симметричным относительно центральной вертикальной оси, поскольку имеет круглую форму. На рис. 6 представлена зависимость относительной концентрации частиц над модельным очагом возгорания от расстояния до вертикальной оси. Моделирование показывает, что концентрация мелких частиц относительно начальной на выходе из сопла (n_i/n_0) падает в 25 раз вблизи поверхности модельного очага возгорания. Это связано с разбавлением струи окружающим воздухом. Концентрация крупных частиц падает от 12 до 50 раз, в среднем также в 25 раз. Таким образом, если расход частиц соответствует 1 г/с и воздуха 1 л/с, то массовая концентрация порошка над очагом будет равна ~ 40 г/м³.

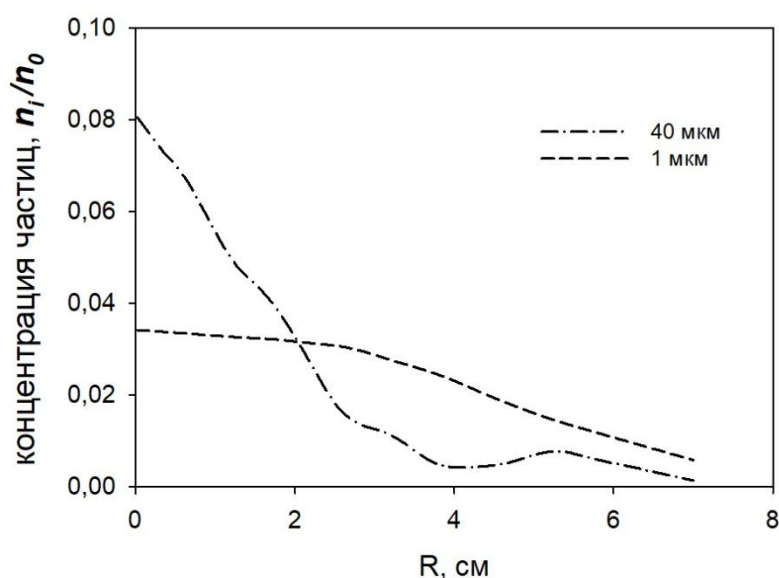


Рис. 6. Зависимость относительной концентрации частиц над модельным очагом возгорания от расстояния до вертикальной оси. Концентрация частиц n_0 на выходе из сопла одинакова для частиц 1 мкм и 40 мкм

На рис. 7 представлены экспериментальные результаты тушения модельного очага возгорания класса В в зависимости от расхода ОТВ различных производителей: Волгалит-АВС, производства ЗАО «В.В.П.» Нижний Новгород; «ИСТО-1», производства ФНПЦ «Алтай» г. Бийск; инертное вещество в виде известняка и смеси известняка с ЖКС и полифосфата аммония (ПФА).

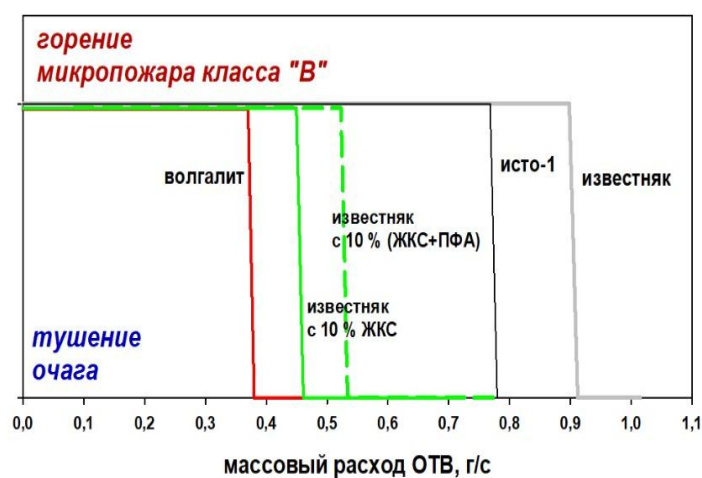


Рис. 7. Зависимость тушения импульсным методом модельного очага возгорания класса В от расхода и типа ОТВ

Так как известняк в качестве пламегасящего вещества не проходит сертификационные испытания, то для его улучшения был добавлен ингибитор в виде калийсодержащей соли ЖКС и/или ПФА. Концентрация ингибитора в смеси существенно влияет на эффективность тушения. Этот результат наглядно показывает зависимость эффективности ОТВ от действующего вещества, однако от количества действующего вещества в ОТВ существенно зависит и конечная стоимость порошка. Из результатов испытаний видно, что известняк без ингибитора не обладает значительной пожаротушающей эффективностью, а с ингибитором количество ОТВ для тушения модельного очага возгорания приближается к лучшим образцам, причем увеличение стоимости пожаротушающего порошка на 20 % за счет добавления действующего вещества приводит к увеличению эффективности ОТВ в два раза.

Результаты экспериментов показали, что с помощью оптических и импульсных методик исследования горения можно разработать высокоэффективные пожаротушающие порошки, которые могут эффективно подавлять пожары класса В. Порошковый состав известняка с добавлением 10 % калийсодержащей соли показал высокую эффективность при тушении модельного очага возгорания класса В. Полное подавление пламени возможно при концентрации порошка в воздухе меньше 20 г/м^3 . Минимальное количество, необходимое для тушения модельного очага возгорания класса В, в экспериментах составило 0,461 г (рис. 7). Моделирование показывает, что такое количество соответствует концентрации над очагом пожара $\sim 18 \text{ г/м}^3$.

Известно, что критическое время, необходимое для тушения турбулентного пламени пожара класса В струей ингибитора, составляет 1 с [11]. При этом нет необходимости увеличивать время тушения, что приведет только к перерасходу ОТВ. В работе [12] указано, что минимальная гасящая концентрация наилучших жидких фосфорорганических ОТВ составляет 400 г/м^3 , а калий содержащего вещества ЖКС порядка 7 г/м^3 .

В экспериментах с импульсным тушением модельного очага возгорания были получены оценки минимальной огнетушащей концентрации ОТВ, часть из которых представлена на рис. 8. На рис. 8 также представлен нормативный удельный расход ОТВ. Из табл. 1 видно, что нормативная для реальных испытаний и лабораторная эффективность порошковых огнетушащих составов находятся в хорошем согласии. Из рис. 8 видно, что добавление к известняку активного вещества снижает необходимый для тушения минимальный удельный расход в два раза путем улучшения основных механизмов прекращения горения: охлаждение, изоляция, ингибирование, разбавление [13].

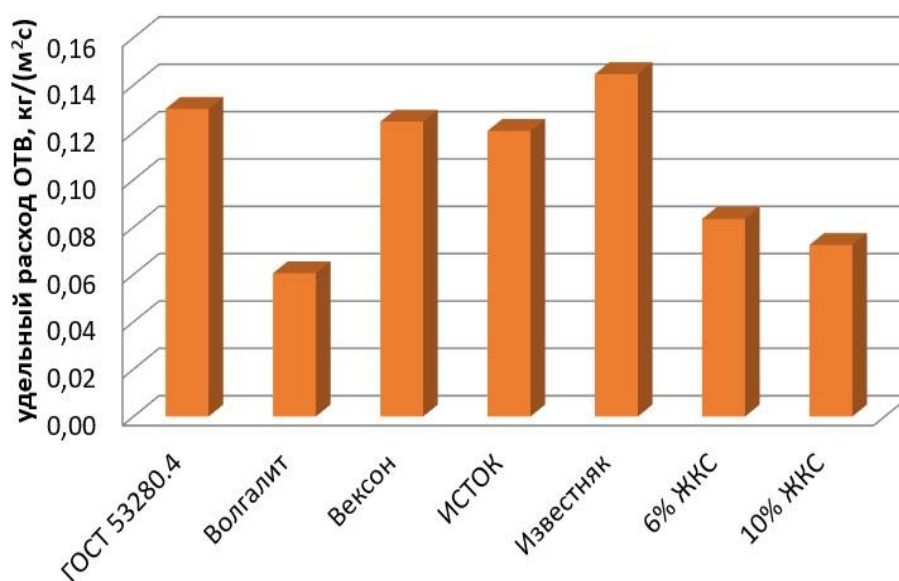


Рис. 8. Оценки минимального удельного расхода ОТВ в сравнении с нормативными значениями

Заключение

Представленные в настоящей работе исследования показали, что нормативная, реальная и лабораторная эффективность порошковых огнетушащих составов находятся в хорошем согласии. Было установлено, что порошковые составы разных производителей сильно отличаются по ключевым характеристикам и не всегда способны выполнять свою функцию. Разница в эффективности тушения у разных производителей может достигать двух раз (рис. 8). Представленные исследования подтверждают, что эффективность подавления горения модельного очага возгорания класса В можно улучшить в два раза путем добавления небольшого количества действующего вещества в ОТВ.

В этой связи специалисту по пожарной безопасности необходимо тщательно обратить внимание на вес ОТВ, место установки огнетушителя и реальную эффективность порошкового состава для повышения качества системы тушения пожара на ранней стадии.

Выборочная проверка ОТВ из огнетушителя с помощью предложенных в данной работе методик помогла бы с большей точностью установить реальную эффективность тушения пожара. Оптимизированный метод контролируемого пневматического импульсного впрыска порошка в модельный очаг возгорания класса В обусловлен простотой и компактностью, а также относительно небольшим количеством ОТВ для проведения испытаний и может быть использован как специалистом по пожарной безопасности объекта, так и контролирующим лицом с целью ежегодной проверки реальной эффективности ОТВ и выявления некачественных порошковых составов. Это позволило бы исключить использование некачественной продукции, улучшить контроль за производством огнетушащих порошков, а также усилить конкуренцию среди производителей, побуждая их к проведению исследований по улучшению качества продукции.

Список источников

1. ГОСТ Р 53280.4–2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2009. 13 с.
2. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2001. 44 с.
3. СП 9.13130.2009. Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2009. 21 с.
4. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: постановление Правительства Рос. Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479 (в ред. от 24 окт. 2022 г.). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
5. НПБ 166–97. Пожарная техника. Огнетушители. Требования к эксплуатации (не действует с 31 дек. 2020 г.) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/1200003407 (дата обращения: 25.08.2023).
6. ISO 7165:2009. Portable Fire Extinguishers – Performances and Construction. URL: https://members.wto.org/crnattachments/2010/tbt/UGA/10_2412_00_e.pdf (дата обращения: 19.08.2023).
7. Babushok V., Tsang W. Inhibitor rankings for alkane combustion // Combustion and Flame. 2000. 123:488–506.
8. Анцупов Е.В. Синергизм и антогонизм в смесях порошковых ингибиторов в пропановоздушных пламенах // Химическая физика. 2010. Т. 29. № 1. С. 64–69.
9. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы. М.: Стройиздат, 1982.
10. Study on the relationship between the particle size distribution and the effectiveness of the K powder fire extinguishing agent / Y. Yan [et al.] // Fire and Materials. 2018. Vol. 42. Iss. 3. P. 336–344.

11. Transient Application, Recirculating Pool Fire, Agent Effectiveness Screen: Final Report, NGP Project3A/2/890 / W. Grosshandler [et al.] // ReseachGate. 2001.
12. Исследование фосфорорганических, фторорганических, металлсодержащих соединений и твердотопливных газогенерирующих составов с добавками фосфорсодержащих соединений в качестве эффективных пламегасителей / А.Г. Шмаков [и др.] // Физика горения и взрыва. 2006. Т. 42. № 6. С. 64–73.
13. Кожевин Д.Ф. Концепция оценки эффективности порошковых средств пожаротушения по мощности теплопоглощения их огнетушащего вещества // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 4 (60). С. 79–88.

References

1. GOST R 53280.4–2009. Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskie. Ognetchashchie veshchestva. Chast' 4. Poroshki ognetchashchie obshchego naznacheniya. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy. M.: Standartinform, 2009. 13 s.
2. GOST R 51057–2001. Tekhnika pozhnaya. Ognetchashchiteli perenosnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M.: Standartinform, 2001. 44 s.
3. SP 9.13130.2009. Tekhnika pozhnaya. Ognetchashchiteli. Trebovaniya k ekspluatacii. Balashiha: VNIPO MCHS Rossii, 2009. 21 s.
4. Ob utverzhdenii Pravil protivopozhnogo rezhima v Rossijskoj Federacii: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 16 sent. 2020 g. № 1479 (v red. ot 24 okt. 2022 g.). Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
5. NPB 166–97. Pozhnaya tekhnika. Ognetchashchiteli. Trebovaniya k ekspluatacii (ne dejstvuet s 31 dek. 2020 g.) // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/1200003407 (data obrashcheniya: 25.08.2023).
6. ISO 7165:2009. Portable Fire Extinguishers – Performances and Construction. URL: https://members.wto.org/crnattachments/2010/tbt/UGA/10_2412_00_e.pdf (data obrashcheniya 19.08.2023).
7. Babushok V., Tsang W. Inhibitor rankings for alkane combustion // Combustion and Flame. 2000. 123:488–506.
8. Ancupov E.V. Sinergizm i antogonizm v smesyah poroshkovyh ingibitorov v propanovozdushnyh plamenah // Himicheskaya fizika. 2010. Т. 29. № 1. S. 64–69.
9. Baratov A.N., Vogman L.P. Ognetchashchie poroshkovye sostavy. M.: Strojizdat, 1982.
10. Study on the relationship between the particle size distribution and the effectiveness of the K powder fire extinguishing agent / Y. Yan [et al.] // Fire and Materials. 2018. Vol. 42. Iss. 3. P. 336–344.
11. Transient Application, Recirculating Pool Fire, Agent Effectiveness Screen: Final Report, NGP Project3A/2/890 / W. Grosshandler [et al.] // ReseachGate. 2001.
12. Issledovanie fosfororganicheskikh, ftororganicheskikh, metallsoederzhashchih soedinenij i tverdotoplivnyh gazogeneriruyushchih sostavov s dobavkami fosforsoderzhashchih soedinenij v kachestve effektivnyh plamegasitelej / A.G. Shmakov [i dr.] // Fizika goreniya i vzryva. 2006. Т. 42. № 6. S. 64–73.
13. Kozhevin D.F. Konceptiya ocenki effektivnosti poroshkovyh sredstv pozharotusheniya po moshchnosti teplopogloshcheniya ih ognetchashchego veshchestva // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 4 (60). S. 79–88.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 24.08.2023; одобрена после рецензирования: 21.11.2023;
принята к публикации: 24.11.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 24.08.2023; approved after review: 21.11.2023;
accepted for publication: 24.11.2023

Информация об авторах:

Чернов Анатолий Альбертович, доцент кафедры техносферной безопасности Сибирского государственного университета геосистем и технологий; старший научный сотрудник лаборатории кинетики процессов горения Института химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, д. 3), кандидат физико-математических наук, e-mail: chernov@kinetics.nsc.ru, SPIN-код: 4249-9002

Цыганков Михаил Сергеевич, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 33mixan33@mail.ru, SPIN-код: 7154-4897

Шмаков Андрей Геннадьевич, заведующий лабораторией «Кинетика процессов горения» Сибирского государственного университета геосистем и технологий (630090, г. Новосибирск, ул. Институтская 3), доктор химических наук, e-mail: shmakov@kinetics.nsc.ru, SPIN-код: 5968-6120

Information about the authors:

Chernov Anatoly A., associate professor of the department of technosphere safety of the Siberian state university of geosystems and technologies; senior researcher at gorenje gorenje kinetics laboratory of the V.V. Voevodsky institute of chemical kinetics and combustion of the Siberian Branch of the Russian academy of sciences (630090, Novosibirsk, Institutskaya str., 3), candidate of physical and mathematical sciences, e-mail: chernov@kinetics.nsc.ru, SPIN: 4249-9002

Tsygankov Mikhail S., adjunct of the faculty of training highly qualified personnel at the Saint-Petersburg university of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: 33mixan33@mail.ru, SPIN: 7154-4897

Shmakov Andrey G., head of the laboratory «Gorenje processes kinetics» of the Siberian state university of geosystems and technologies (630090, Novosibirsk, Institutskaya str., 3), doctor of chemical sciences, e-mail: shmakov@kinetics.nsc.ru, SPIN: 5968-6120