

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ПОЖАРОВ И АВАРИЙ

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.1-53.39-55>

УДК 614.841

канд. физ.-мат. наук Кицак А.И., Лобач Д.С.*, Надточий Д, Н., Ивлев Ю.П.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА ПОДКЛАССА «А1» ОГNETУШАЩИМ ПОРОШКОМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ЧАСТИЦ ПОРОШКА НА ОЧАГ ПОЖАРА В СХЕМЕ ТУШЕНИЯ ПО ОБЪЕМУ

*Учреждение «Научно-исследовательский институт
пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций»
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск*

**Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации»
государственного учреждения образования
«Университет гражданской защиты*

Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», г. Минск

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения надежности тушения пожаров различных классов модульными установками порошкового пожаротушения и совершенствования нормативной базы оценки их огнетушащей способности.

Исследована эффективность тушения пожара подкласса А1 установкой порошкового пожаротушения кратковременного воздействия в схеме тушения по объему при различных режимах тушения.

Установлены экспериментальные зависимости времени тушения, удельного расхода огнетушащего порошка на тушение модельных очагов пожаров подкласса А1 и удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка в объеме тушения от интенсивности подачи порошка в зону горения.

Определены значения интенсивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения, удельного расхода порошка на тушение пожаров и удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка, при которых происходит эффективное (с точки зрения надежности и минимальности затрат) тушение пожаров подкласса А1. Полученные значения, с учетом расширенной неопределенности их измерения, можно рекомендовать в качестве нормированных для оценки огнетушащей способности модулей порошкового пожаротушения в схеме тушения пожара подкласса А1 по объему.

Ключевые слова: очаг пожара подкласса А1, огнетушащий порошок, модуль порошкового пожаротушения, время тушения, интенсивность подачи огнетушащего порошка.

PhD (Phys. and Math.) A.I. Kitsak, D.S. Lobach*, D.N. Nadtochii, Y.P. Ivlev

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF EXTINGUISHING A SUBCLASS A1 FIRE WITH A GENERAL-PURPOSE FIRE EXTINGUISHING POWDER WITH A SHORT-TERM EXPOSURE OF POWDER PARTICLES TO A FIRE SEAT IN A VOLUME EXTINGUISHING SCHEME

Institution “Scientific and Research Institute of Fire Safety and Emergency Situations” of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

**Branch “Institute for Retraining and Professional Education” of the State Educational Institution “University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus”*

The relevance of the work is the need to increase the reliability of extinguishing fires of various classes with modular powder extinguishing systems and improve the regulatory framework for assessing their extinguishing capacity.

The effectiveness of extinguishing a fire of subclass A1 with the installation of fire extinguishing powder of short-term exposure in the volume extinguishing scheme under various extinguishing modes is investigated.

The values of the intensity of the supply of extinguishing powder to the extinguishing volume, the specific consumption of powder for extinguishing fires and the specific optical density of particles of extinguishing powder, at which effective (from the point of view of reliability and minimality of costs) extinguishing fires of subclass A1 occurs are determined. The obtained values, taking into account their extended measurement uncertainty, can be recommended as normalized for assessing the extinguishing capacity of powder fire extinguishing modules in the fire extinguishing scheme of subclass A1 by volume.

Keywords: a seat of a fire of A1 subclass, extinguishing powder, powder extinguishing module, extinguishing time, intensity of supply of extinguishing powder.

Введение

Отличительной особенностью порошковых огнетушащих веществ является возможность применения их как в схеме тушения по поверхности, подобно водопенным составам, так и при тушении в объеме, характерном для огнетушащих газовых веществ.

Тушение очагов пожара по объему заключается в создании в объеме защищаемого помещения или части объема (тушение локально по объему) огнетушащей среды (например, аэрозоли огнетушащего

порошка), не поддерживающей горение в данном объеме.

Объемный способ пожаротушения применяется, если конструктивные элементы защищаемого помещения существенно экранируют подачу огнетушащего вещества непосредственно в зону горения вероятного очага пожара. Локальный способ пожаротушения по объему применяют для тушения пожаров отдельных единиц оборудования или когда защита помещения в целом с помощью автоматических установок пожаротушения технически

невозможна или экономически невыгодна [1].

Несмотря на большие успехи в технологии производства эффективных порошковых огнетушащих сред и внедрения их в практику, результаты тушения пожаров различных классов системами порошкового пожаротушения в объеме не всегда положительны. Особенно это проявляется при применении для тушения пожаров модульных установок порошкового пожаротушения (далее – МУПП) импульсного и кратковременного действия, когда время взаимодействия частиц огнетушащего порошка с активными центрами пламени ограничено.

Наблюдается существенная зависимость эффективности тушения пожара от условий тушения пожара, в частности, мощности пожара, объема помещения и режимов подачи огнетушащего порошка в зону горения. Значительное влияние на процесс тушения пожара оказывает мощность (интенсивность) тепловыделения пожара, от которой зависит скорость формируемых тепловых потоков, которые препятствуют попаданию мелкодисперсной фракции частиц порошка в зону горения, вследствие чего уменьшается концентрация частиц порошка в зоне реакции окисления продуктов горения.

Эти обстоятельства не позволили до настоящего времени определить нормативные значения расходов огнетушащего порошка для надежного тушения различных классов пожаров МУПП в схеме тушения по объему.

На данный момент основным критерием эффективности тушения

МУПП пожара подкласса А1 согласно [2, 3] является отсутствие повторного воспламенения модельных очагов пожаров в защищаемом объеме в течение 10 мин после прекращения подачи порошка.

Более объективной характеристикой качества тушения пожара МУПП кратковременного действия в схеме тушения по объему (локально по объему), очевидно, могла быть требуемая для тушения пожара концентрация частиц огнетушащего порошка в зоне горения аналогично установленным концентрационным нормам газовых составов для тушения пожаров по объему, применяемым в системах газового пожаротушения, согласно [4].

Концентрационной характеристикой порошковой огнетушащей среды является объемная плотность частиц порошка в зоне горения очага пожара, которая определяется отношением массы частиц порошка в защищаемом объеме к величине данного объема.

Соотнеся объемную плотность частиц огнетушащего порошка ко времени подачи порошка в защищаемый объем, получим параметр, характеризующий процесс тушения пожара огнетушащим порошком, аналогичный, например, известному параметру оценки огнетушащей способности водяных автоматических установок пожаротушения (далее – АУПТ) – интенсивности подачи воды в зону горения [6].

Таким образом, определив величину объемной плотности частиц порошка в зоне горения, обеспечивающую тушение МУПП очага пожара заданного класса за минимальное время при заданном расходе

огнетушащего порошка, можно оценить значение объемной интенсивности подачи порошка в объем тушения, которое допустимо принять за нормированное для оценки огнетушащей способности МУПП.

При тушении очага пожара в полностью закрытом защищаемом объеме, равномерно заполненном частицами огнетушащего порошка, объемную плотность частиц порошка в зоне горения можно найти расчетным способом, разделив массу порошка, поданного в объем, на геометрическую величину объема.

Если тушение очага пожара осуществляется в объеме с открытыми проемами либо локально в объеме, а также при неравномерном заполнении защищаемого объема частицами огнетушащего порошка, что наиболее часто наблюдается, то объемную плотность частиц порошка необходимо определять экспериментальным способом.

Экспериментальное определение объемной плотности частиц порошка вблизи зоны горения посредством аппаратного измерения массы частиц порошка в объеме зоны горения затруднено в силу воздействия на элементы измерительных приборов высоких температур. Более приемлемым способом оценки величины объемной плотности частиц порошка в данном случае может быть опосредованный метод, например, оптический, основанный на дистанционном измерении в зоне горения мощности входящего P_0 , Вт, и выходящего P_B , Вт, из слоя порошковой среды заданной толщины L , м, оптического излучения.

Мерой объемной плотности частиц порошка в данной схеме

измерения является пропорциональная ей удельная оптическая плотность огнетушащей порошковой среды D , дБ/м, определяемая по формуле

$$D = \frac{1}{L} \cdot \lg \frac{P_0}{P_B}.$$

Переход от удельной оптической плотности порошковой среды к концентрационным значениям частиц порошка (объемной плотности) в ней можно осуществить через пересчетную функцию, которую можно построить при одновременном измерении в нормальных условиях (без очага пожара) удельной оптической плотности среды и массы частиц порошка в занимаемом ими объеме.

Из изложенного следует, что в качестве объективного критерия эффективности тушения пожаров в схеме тушения по объему МПП импульсного и кратковременного действия, учитывающего воздействие на результат тушения пожара его тепловых потоков, может служить измеренная удельная оптическая плотность частиц огнетушащего порошка в защищаемом объеме.

Дополнительными количественными характеристиками продуктивности тушения пожаров МУП в объеме при этом могут оставаться расчетные объемная интенсивность подачи огнетушащего порошка в зону горения и удельный расход огнетушащего порошка на тушение пожара.

Целью работы является экспериментальное исследование закономерностей тушения пожара подклас-

са А1 огнетушащим порошком общего назначения МПП в схеме тушения по объему и определение пределов значений основных параметров тушения: удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка в защищаемом объеме, объемной интенсивности подачи огнетушащего порошка в зону горения и удельного расхода огнетушащего порошка на тушение пожара, обеспечивающих надежное тушение пожара.

Принцип тушения пожара МПП по объему

При тушении пожара в защищаемом объеме или части защищаемого помещения (тушение локально по объему) создается облако огнетушащего порошка с помощью МПП, например, с разрывной мембранной («Буран-2,5-2С») или группой МПП с выпускными насадками. Облако за короткий промежуток времени окутывает со всех сторон очаг пожара. Оно характеризуется определенной объемной концентрацией частиц порошка и их порозностью.

Частицы порошка в облаке обладают широким спектром скоростей, отличающихся как направлением в пространстве, так и по абсолютной величине. Осуществляя движение под действием кинетической энергии, приобретенной при выбросе из МПП, и силы тяжести, частицы порошка попадают во фронт пламени и реакционную зону горения, где осуществляется основной спектр механизмов тушения пожаров порошками.

К ним относятся:

- разбавление горючей среды газообразными продуктами разложения порошка;
- охлаждение зоны горения в результате затрат тепла на нагрев частиц порошка, их частичное испарение и разложение в пламени;
- охлаждение поверхности горючего материала и его изолирование от доступа кислорода;
- эффект огнепреграждения, достигаемый при прохождении пламени через узкие каналы, образованные частицами порошка;
- ингибирование химических реакций в объеме горячей среды и на поверхности частиц порошка (гомогенное и гетерогенное ингибирование активных частиц пламени).

В результате синергетического действия данных механизмов на процесс горения очага пожара происходит его тушение.

Экспериментальная база исследований

Для определения параметров тушения очагов пожаров огнетушащим порошком при кратковременном его воздействии на очаг применялись лабораторная установка порошкового пожаротушения (далее – ЛУПП) вместе с устройством определения оптической плотности (далее – УООП) и дополнительное к видеокамере устройство измерения времени подачи порошка в зону горения.

Общий вид ЛУПП представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной установки

ЛУПП состоит из каркаса, образованного основанием 1 с поддоном 2, направляющих 3 и крестовины 4, жестко соединенной с направляющими. Вдоль направляющих могут перемещаться относительно друг друга цилиндрические кольца 5, образуя защищаемый объем. Верхнее кольцо закрыто металлической крышкой с отверстием по центру для выпуска огнетушащего порошка в защищаемый объем.

В нижнем кольце имеется закрытое прозрачным термостойким пластиком окошко 6 для наблюдения

за процессом тушения модельного очага пожара с помощью видеокамеры. На крестовине закреплен ресивер 7 для заполнения сжатым воздухом при заданном давлении, контролируемом манометром 8. Воздух подавался в ресивер из баллона 9. К ресиверу подсоединен через электромагнитный клапан 10 резервуар 11 для загрузки в него огнетушащего порошка заданной массы. На выходе резервуара установлена насадка 12 для выпуска порошка, форма которой изображена на рисунке 2.

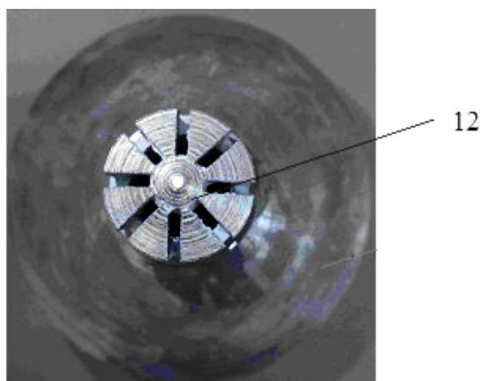


Рисунок 2 – Узел выпуска огнетушащего порошка

УООП включает две расположенные по противоположные стороны ЛУПП стойки 13, на одной из которых закреплен на расстоянии 0,5 м от основания ЛУПП источник излучения 14, а на другой (соосно с ним) – приемник излучения 15. Излучение источника распространяется внутри стальной трубки, вмон-

тированной в нижнее цилиндрическое кольцо 5 ЛУПП. Посередине трубы имеется выемка, в которую вставляется точно по ее длине капсула цилиндрической формы (рисунок 3), края которой закрыты стеклянными окнами, прозрачными для проходящего через нее излучения источника 14.

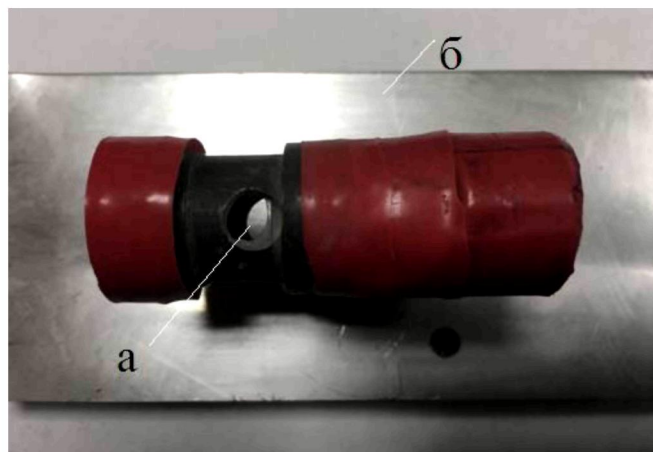


Рисунок 3 – Измерительная капсула

Перпендикулярно оси капсулы проделано сквозное отверстие *а* для попадания частиц огнетушащего порошка внутрь капсулы и заполнения ее по всему объему. Над отверстием расположен козырек *б* для предотвращения прямого попадания частиц порошка внутрь капсулы при выпуске его из резервуара в защищаемый объем. Приемник излучения 15 подключается к усилителю фототока 16. Сигналы из усилителя подаются на один из двух каналов широкополосного осциллографа 17, который их регистрирует.

На стойках 13 (вверху) крепятся также компоненты дополнительного устройства определения времени подачи порошка в зону горения. Ими являются источник излучения 18 и приемник излучения 19. Они закреплены на противоположных

стойках соосно друг другу таким образом, чтобы излучение источника 18 проходило ниже насадки 12, примерно по ее центру. Приемник излучения 19 подсоединяется ко второму усилителю фототока 20, выход которого подключен к входу второго приемного канала осциллографа 17.

Источники излучения и усилители фототоков подсоединены к трехканальному источнику постоянного напряжения 21.

Способ определения удельной оптической плотности огнетушащей порошковой среды

Измерение удельной оптической плотности огнетушащей порошковой среды с применением специально собранного для этой цели устройства осуществляется следующим способом.

Излучение лазерного источника малой расходимости и заданной мощности P_0 , Вт, (зондирующее излучение) направляется через измерительную кювету длиной L , м, расположенную внутри защищаемого объема, на приемник излучения. Усиленный сигнал фототока приемника регистрируется запоминающим осциллографом. Производится измерение напряжения U_0 , В, сигнала, зарегистрированного на линейном участке кривой усиления усилителя фототока. Затем производится регистрация осциллографом сигнала фотоприемника при подаче огнетушащего порошка в защищаемый объем. Измеряется минимальное значение напряжения U_B , В, данного сигнала.

Удельная оптическая плотность D , дБ/м, огнетушащей порошковой аэрозоли определяется по формуле

$$D = \frac{1}{L} \cdot \lg \frac{U_0}{U_B}.$$

Из приведенного соотношения видно, что пределы измерения удельной оптической плотности D порошковой среды определяются значением толщины L , м, зондируемого излучением слоя среды и соотношением U_0/U_B . Чем больше соотношение U_0/U_B и чем меньше величина L , тем большую удельную оптическую плотность порошковой аэрозоли D можно измерить.

Способ определения времени выпуска огнетушащего порошка в зону горения

Измерение интервала времени выпуска огнетушащего порошка

в зону горения осуществлялось двумя способами. Один из них заключался в регистрации скоростной видеокамерой процесса выпуска порошка и последующего покадрового воспроизведения данного процесса. Время выпуска порошка определялось умножением числа кадров выпуска порошка на интервал длительности кадра.

В другом способе для измерения интервала времени выпуска порошка в зону горения применялось специально собранное устройство. Оно состояло из лазерного источника, приемника излучения, усилителя фототока и осциллографа. Лазерное излучение направлялось через зону выпуска порошка на приемник излучения. Приемник излучения формировал сигнал, который усиливался усилителем и регистрировался осциллографом с широкой полосой пропускания сигналов. При выпуске огнетушащего порошка происходило временное перекрытие излучения источника порошком. Это приводило к отсутствию фототока приемника излучения и появлению провала напряжения сигнала, регистрируемого осциллографом. Время выпуска огнетушащего порошка принималось равным измеренной длительности данного провала.

На рисунке 4 отображены примеры осциллограмм сигналов измерения оптической плотности порошковой аэрозоли 1 и длительности выпуска огнетушащего порошка 2 из резервуара ЛУПП.



Рисунок 4 – Осциллограммы сигналов измерения оптической плотности порошковой аэрозоли 1 и длительности выпуска огнетушащего порошка 2 из резервуара ЛУПП

Прямоугольные минимумы на кривых 2 рисунка образованы в результате перекрытия порошком, выпускаемым из резервуара ЛУПП, лазерного излучения УООП. Измеренные длительности данных минимумов равны длительностям выпуска порошка в зону горения.

На рисунке 4а кривая 1 (измерения удельной оптической плотности) зарегистрирована в диапазоне напряжений линейного участка кривой усиления усилителя фотоприемника. Прослеживаются флуктуации фототока на участке кривой до подачи порошка в зону горения (на рисунке до первого глубокого минимума) вследствие изменения пространственного положения (дрожания) зондирующего излучения, обусловленного флуктуациями плотности нагретого воздуха в защищаемом объеме.

В то же время часть кривой 1 на рисунке 4б, зафиксированная до выпуска огнетушащего порошка, т.е. прямолинейная часть, регистрируется за пределами границ линейного участка кривой усилителя фототока (флуктуации фототока отсутствуют). В данном случае невоз-

можно оценить истинное значение напряжения U_0 сигнала, формируемого приемником УООП, в отсутствие порошковой среды. Однако его можно определить, если ослабить мощность излучения источника с помощью оптического фильтра с известным коэффициентом пропускания до значений, позволяющих регистрировать излучение в пределах границ линейного участка кривой усиления фототока. Прямоугольный минимум в начале кривой 1 рисунка 4б свидетельствует об этом. Он образован в результате внесения в зондирующий пучок оптического фильтра с коэффициентом пропускания, равным 0,1.

Измерив напряжение данного минимума и умножив его значение на величину, обратную коэффициенту пропускания оптического фильтра, представляется возможным определить действительное значение напряжения U_0 сигнала, формируемого зондирующим излучением УООП в отсутствие аэрозоли порошка.

Схема проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные работы по определению параметров тушения модельных очагов пожара огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии на очаг пожара осуществлялись по следующей схеме.

Поднималось до упора нижнее кольцо ЛУПП. В центре поддона 2 располагался на подставке в виде полого параллелепипеда высотой 400 мм и основанием с размерами 150×150 мм модельный очаг пожара подкласса А1 ранга 0,1А. В резервуар 11 загружался огнетушащий порошок марки «Вексон-АВС 25» заданной массы.

Ресивер 7 наполнялся воздухом до определенного давления, контролируемого манометром 8. Включалось питание источников и приемников излучения, а также усилителей сигналов УООП и устройства определения времени выпуска порошка из резервуара ЛУПП. Устанавливались режимы регистрации сигналов осциллографом 17. Осуществлялся поджог модельного очага пожара согласно СТБ 11.13.04-2009.

По истечении интервала времени свободного горения очага, равного (7 ± 1) мин, нижнее кольцо ЛУПП опускалось до основания поддона. Включались скоростные видеокамеры регистрации процессов тушения пожара и времени выпуска порошка. Запускалась временная развертка лучей осциллографа 17. Затем подавался импульс тока на электромагнитный клапан 10 для выпуска сжатого воздуха из ресивера 7 в резер-

вуар 11 и подачи порошка в зону горения очага пожара.

Очаг пожара подкласса А1 считался потушенным, если отсутствовало его повторное воспламенение в течение промежутка времени, равного 10 мин после подачи порошка в зону горения (СТБ 11.13.09-2010).

В ходе экспериментов определялось время тушения тестовых очагов пожаров и выпуска огнетушащего порошка в зону горения, а также максимальная удельная оптическая плотность частиц огнетушащего порошка в объеме тушения. Производилась последовательность измерений для различных навесок огнетушащего порошка в выпускном резервуаре ЛУПП и различных давлений воздуха в ресивере.

Результаты экспериментальных оценок значений основных параметров тушения МПП очага пожара подкласса А1

Результаты измерений параметров тушения очага пожара подкласса А1 ранга 0,1 А огнетушащим порошком «Вексон-АВС 25» при различных режимах подачи порошка в зону горения в схеме тушения по объему представлены в таблицах 1–3 и на рисунках 5–7.

В таблицах 1–3 приведены значения основных параметров тушения модельного очага пожара (интенсивности подачи порошка в очаг пожара I , кг/м³с, удельного расхода порошка G , кг/м³, времени тушения τ , с, и удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка D , дБ/м, измеренные в проводившихся экспериментах, при давлениях подачи порошка в объем тушения, равных соответственно

$P = 2,5; 5; 7,5$ Бар. Режимы тушения отличались подачей в объем тушения огнетушащего порошка массой $m = 0,075; 0,15; 0,25; 0,45; 0,65$ кг.

Расширенная неопределенность измерений оценивалась при коэффициенте охвата $k = 4,3$ и уровне доверия $p = 0,95$.

Таблица 1 – Параметры тушения модельного очага пожара подкласса А1 ранга 0,1А при давлении выпуска огнетушащего порошка $P = 2,5$ Бар

Наименование показателя	в режиме 1	в режиме 2	в режиме 3	в режиме 4	в режиме 5
$I, \text{кг/м}^3\text{с}$	$0,197 \pm 0,007$	$0,305 \pm 0,012$	$0,454 \pm 0,012$	$0,605 \pm 0,054$	$0,668 \pm 0,044$
$G, \text{кг/м}^3$	$0,024 \pm 0,008$	$0,035 \pm 0,01$	$0,067 \pm 0,017$	$0,1 \pm 0,02$	$0,092 \pm 0,022$
$\tau, \text{с}$	$0,124 \pm 0,02$	$0,116 \pm 0,02$	$0,149 \pm 0,02$	$0,166 \pm 0,02$	$0,138 \pm 0,02$
$D, \text{дБ/м}$	$14 \pm 3,96$	$12,11 \pm 6,62$	$40,96 \pm 9,07$	$78 \pm 7,7$	$237 \pm 8,13$

Таблица 2 – Параметры тушения модельного очага пожара подкласса А1 ранга 0,1А при давлении выпуска огнетушащего порошка $P = 5$ Бар

Наименование показателя	в режиме 1	в режиме 2	в режиме 3	в режиме 4	в режиме 5
$I, \text{кг/м}^3\text{с}$	$0,348 \pm 0,019$	$0,398 \pm 0,004$	$0,463 \pm 0,008$	$0,726 \pm 0,106$	$0,671 \pm 0,047$
$G, \text{кг/м}^3$	$0,036 \pm 0,012$	$0,031 \pm 0,014$	$0,34 \pm 0,015$	$0,162 \pm 0,033$	$0,11 \pm 0,023$
$\tau, \text{с}$	$0,103 \pm 0,02$	$0,078 \pm 0,02$	$0,074 \pm 0,02$	$0,224 \pm 0,02$	$0,157 \pm 0,02$
$D, \text{дБ/м}$	$35,5 \pm 3,7$	$30,54 \pm 4,1$	$93 \pm 6,2$	$171 \pm 7,1$	$283 \pm 26,5$

Таблица 3 – Параметры тушения модельных очагов пожаров подкласса А1 ранга 0,1А при давлении выпуска огнетушащего порошка $P = 7,5$ Бар

Наименование показателя	в режиме 1	в режиме 2	в режиме 3	в режиме 4	в режиме 5
$I, \text{кг/м}^3\text{с}$	$0,371 \pm 0,019$	$0,461 \pm 0,085$	$0,521 \pm 0,085$	$0,831 \pm 0,099$	$0,795 \pm 0,089$
$G, \text{кг/м}^3$	$0,028 \pm 0,014$	$0,044 \pm 0,014$	$0,038 \pm 0,018$	$0,054 \pm 0,03$	$0,06 \pm 0,03$
$\tau, \text{с}$	$0,074 \pm 0,02$	$0,095 \pm 0,02$	$0,074 \pm 0,02$	$0,065 \pm 0,02$	$0,083 \pm 0,02$
$D, \text{дБ/м}$	$132,6 \pm 18,53$	$91 \pm 22,5$	$206 \pm 9,7$	$290 \pm 26,66$	$277 \pm 11,66$

На рисунке 5 представлены зависимости времени тушения $\tau, \text{с}$, модельного очага пожара подкласса А (кривая 1) и удельного расхода $G, \text{кг/м}^3$, огнетушащего порош-

ка (кривая 2) на его тушение от реализованной в экспериментах интенсивности подачи порошка в объем тушения $I, \text{кг/м}^3\text{с}$.

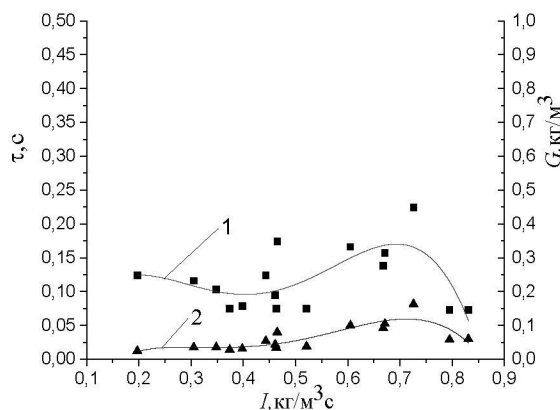


Рисунок 5 – Зависимости времени τ тушения (■) модельного очага пожара подкласса А1 и удельного расхода G огнетушащего порошка (▲) от интенсивности I подачи порошка в объем тушения

Из рисунка видно, что время тушения очага пожара (кривая 1) и удельный расход огнетушащего порошка на тушение пожара (кривая 2) уменьшаются с ростом интенсивности подачи порошка в объем тушения, достигают некоторого минимального значения, а затем наблюдается небольшой их рост с широким разбросом значений при дальнейшем увеличении интенсивности подачи порошка в объем тушения.

Можно заметить, что малые значения времени тушения модельного очага пожара могут быть достигнуты как при малой интенсивности подачи порошка в объем тушения, например, при $I = (0,371 \pm 0,019)$ кг/м³с, так и при $I = (0,831 \pm 0,099)$ кг/м³с.

Общим фактором для приведенных примеров режимов подачи порошка в зону горения является то, что они реализованы, как видно из таблицы 3, при максимальном давлении подачи порошка в объем тушения $P = 7,5$ Бар.

Как известно, давление, под которым порошок подается в зону го-

рения, определяет скорость частиц огнетушащего порошка в данной зоне. Чем больше давление выпуска порошка, тем выше скорость частиц порошка, тем больше их кинетическая энергия и тем большая часть их проникает в зону горения (особенно мелкодисперсная часть), в том числе отражаясь от ограничивающих объем поверхностей, обеспечивая большую оптическую плотность частиц огнетушащего порошка в области очага пожара. Следовательно, время тушения пожара зависит не только от интенсивности подачи огнетушащего порошка в зону горения, но и от удельной оптической плотности порошка в данной зоне. Чем больше удельная оптическая плотность частиц огнетушащего порошка в объеме тушения, тем меньше время тушения пламенного горения очагов пожара подкласса А1 при одной и той же интенсивности подачи порошка в защищаемый объем.

Наблюдаемый на рисунке 5 разброс значений времени тушения очага пожара можно объяснить зависимостью эффективности тушения пожара (времени тушения) не только

от интенсивности подачи порошка в зону горения, но и от объемной (удельной оптической) плотности частиц огнетушащего порошка в данной зоне.

Сделанный вывод подтверждается приведенными на рисунках 6–7 зависимостями времени тушения τ , с, модельного очага пожара и удель-

ной оптической плотности частиц огнетушащего порошка D , дБ/м, от интенсивности подачи порошка в объем тушения I , кг/м³с, для различных значений давления подачи порошка в зону очага пожара.

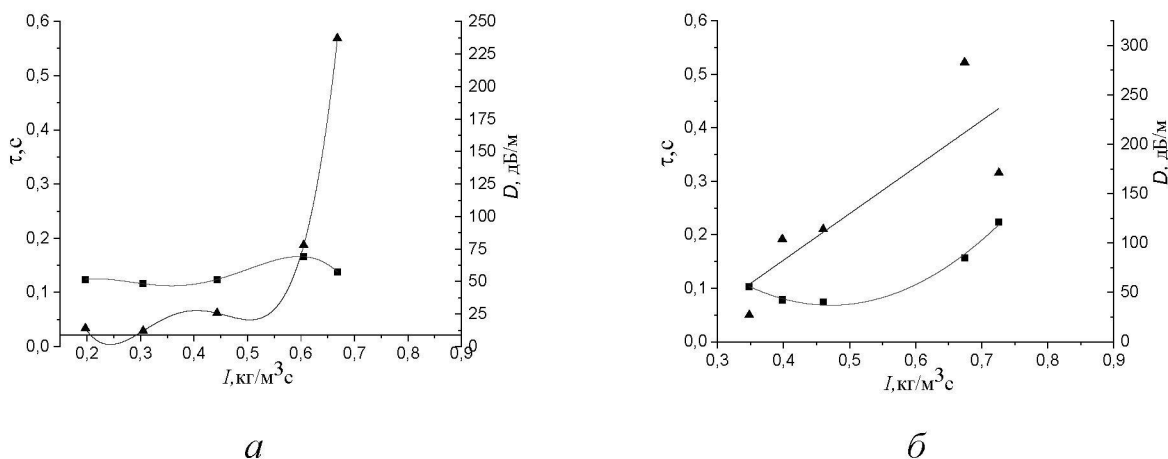


Рисунок 6 – Зависимости времени τ тушения (■) модельного очага пожара подкласса А1 и удельной оптической плотности D частиц огнетушащего порошка (▲) от интенсивности I подачи порошка в объем тушения при $P = 2,5$ Бар (а) и $P = 5$ Бар (б)

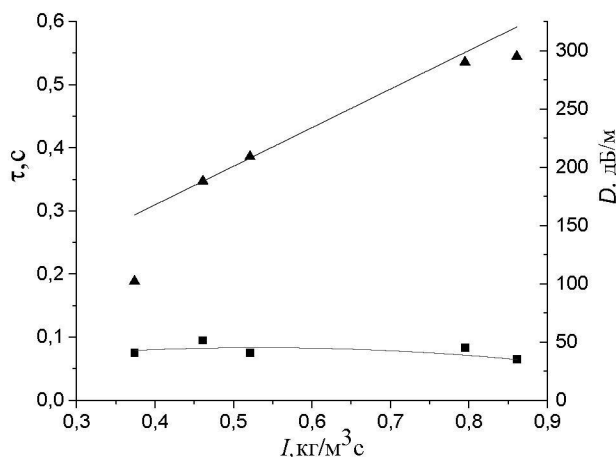


Рисунок 7 – Зависимости времени τ тушения (■) модельного очага пожара подкласса А1 и удельной оптической плотности D частиц огнетушащего порошка (▲) от интенсивности I подачи порошка в объем тушения при $P = 7,5$ Бар

Из приведенных на рисунках кривых видно, что наименьшее вре-

мя тушения модельных очагов пожара наблюдается при давлении вы-

пуска огнетушащего порошка в зону горения $P = 7,5$ Бар. При данном давлении достигается и наибольшая удельная оптическая плотность частиц огнетушащего порошка в зоне горения.

Следует отметить, как было установлено в ходе экспериментов, что при достигнутых одинаковых высоких удельных плотностях огнетушащего порошка в объеме тушения вероятность повторного воспламенения очага пожара подкласса А1 выше при малой интенсивности подачи порошка в зону горения.

Данный результат можно объяснить уменьшением при этом толщины формирующейся изолирующей пленки расплава соли моноаммонияфосфата на обугленной поверхности горючего материала малой толщины вследствие малости общего времени пребывания частиц порошка в пламенной зоне, т.е. недостаточности их нагрева для кристаллизации при малой интенсивности подачи порошка в зону горения.

Наличие изолирующей пленки расплава частиц порошка на обугленной поверхности древесины проверялось орошением данной поверхности водой. Отсутствие смачиваемости обугленной поверхности свидетельствовало о покрытии ее пленкой расплава. Растекание же воды по обугленной поверхности подтверждало ее отсутствие или малую толщину.

Проведенный анализ полученных результатов тушения модельного очага пожара подкласса А ранга 1А в объеме огнетушащим порошком общего назначения «Вексон-АВС 25» при кратковременном воздействии на очаг пожара позво-

ляет выбрать в качестве нормированных (с точки зрения надежности тушения и затрат порошка) следующие значения интенсивности подачи порошка в объем тушения I и удельного расхода G огнетушащего порошка (минимумы кривых 1, 2 рисунка 6):

$$I = (0,461 \pm 0,085) \text{ кг/м}^3\text{с};$$

$$G = (0,044 \pm 0,014) \text{ кг/м}^3.$$

Удельная оптическая плотность частиц огнетушащего порошка в зоне горения при этом равнялась $D = (91 \pm 22,5)$ дБ/м.

Проведенными экспериментами также установлено, что удельная оптическая плотность огнетушащего порошка, создаваемая в защищаемом объеме в отсутствие очага пожара, больше в 2–2,5 раза удельной оптической плотности частиц порошка, измеренной в зоне горения очага при тех же режимах подачи его в защищаемый объем.

Анализ результатов проведенных исследований

В ходе исследований эффективности тушения модельных очагов пожара подклассов А1 огнетушащим порошком «Вексон-АВС 25» при кратковременном воздействии его на очаг (длительностью ~ 1 с) в схеме тушения по объему изучались зависимости времени тушения, удельного расхода порошка на тушение и удельной оптической плотности частиц порошка в объеме тушения от интенсивности подачи его в объем тушения.

Из анализа полученных зависимостей следует, что время тушения очагов пожара зависит не только от интенсивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения, но и от

скорости частиц порошка в зоне горения, т.е. от давления, при котором производится их выпуск из МПП. Чем больше давление выпуска частиц порошка, тем больше их скорость, тем большая объемная плотность (удельная оптическая плотность) огнетушащего порошка создается в защищаемом объеме и тем меньше время тушения очагов пожара.

Уменьшение времени тушения очагов пожара с увеличением скорости частиц порошка в защищаемом объеме можно объяснить увеличением при этом массы частиц (в том числе мелкодисперсной части), которая преодолевает сопротивление теплового потока очага пожара и проникает в зону реакции окисления, где эффективно участвует в восстановлении активных частиц пламени (тушении пламенного горения).

Следует однако отметить, что при тушении очагов пожара подкласса А1, характеризующихся как пламенным, так и скрытым горением (тлением), важно обеспечить не только большую скорость частиц в зоне реакции окисления для быстрого прекращения пламенного горения, но и достаточное время воздействия порошка на очаг пожара для образования пленки расплава порошка, изолирующей скрытое горение от доступа кислорода. Необходимость выполнения данного условия обусловлена уменьшением температуры нагрева частиц порошка в зоне пламени пожара при их больших скоростях движения. Требуемое время может быть обеспечено достаточной интенсивностью (большей массой выпускаемого порошка) подачи порошка в объем тушения.

Таким образом, можно заключить, что объективными критериями эффективности тушения очагов пожара подклассов А1 огнетушащим порошком при кратковременном воздействии его на очаг пожара являются удельная оптическая плотность огнетушащего порошка в объеме тушения, интенсивность подачи порошка в зону горения и связанный с ней удельный расход порошка на тушение пожара.

При этом, как следует из экспериментальных исследований (рисунок 5), существуют оптимальные значения указанных параметров, при которых характеристики эффективности тушения пожара (время тушения и удельный расход порошка на тушение очагов пожара) минимальны. Данные значения можно принять в качестве нормированных для оценки огнетушащей эффективности МПП кратковременного действия.

Наличие оптимального значения интенсивности подачи порошка в объем тушения, при котором происходит эффективное тушение пожара подкласса А1, можно объяснить существованием требуемых для тушения характерных значений объемной плотности частиц порошка в зоне горения (пропорциональной измеряемой в экспериментах удельной оптической плотности порошковой среды) и длительности воздействия порошка на очаг пожара.

Интенсивности подачи порошка в объем тушения, обеспечивающие объемные плотности частиц порошка в зоне горения, и время их воздействия на очаг пожара меньше данных характерных значений, приводят к росту времени тушения пожара или отсутствию его тушения.

Интенсивности тушения, формирующие в зоне горения объемные плотности частиц порошка и время воздействия их на очаг пожара больше характерных значений, не уменьшают время тушения, а ведут только к увеличению удельного расхода порошка на тушение пожара.

Выводы

Проведены экспериментальные исследования эффективности тушения МПП модельных очагов пожаров подклассов А1 при различных массовых и динамичных режимах подачи порошка в зону горения в схеме тушения по объему.

Установлены зависимости времени тушения, удельного расхода огнетушащего порошка на тушение модельных очагов пожаров подкласса А1 и удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка в объеме тушения от интенсивности подачи порошка в объем тушения в схеме тушения по объему.

По построенным зависимостям определены значения интенсивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения, удельного расхода порошка на тушение пожаров и удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка, при которых происходит эффективное (с точки зрения надежности и минимальности затрат) тушение пожаров подкласса А1.

Полученные значения с учетом расширенной неопределенности их измерения можно рекомендовать в качестве нормированных для применявшегося в экспериментах огнетушащего порошка «Вексон-АВС 25» при оценке огнетушащей спо-

собности МПП в схеме тушения пожара подкласса А1 по объему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Средства пожарной автоматики. Область применения, Выбор типа: рекомендации / В.В. Пивоваров [и др.]. – М.: ВНИИПО, 2004. – 96 с.

2. Система стандартов пожарной безопасности. Установки порошкового пожаротушения автоматические. Модули - общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 11.13.19-2010. – Введ. 20.08.2010. – Минск: Учреждение «Научно-исследовательский ин-т пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, 2010. – 18 с.

3. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащее вещество. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний. ГОСТ Р 53280.4-2009 – Введ. 18.02.2009 – Москва: Федеральное государственное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский ин-т противопожарной обороны», 2010. – 17 с.

4. ISO 14520-1:2015 «Системы газового пожаротушения. Физические свойства и оборудование. Часть. 1. Общие требования». Женева, Швейцария, 2015. – 11 с.

5. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная техника. Огнетушители переносные. Общие технические условия: СТБ 11.13.04-2009 – Введ. 06.04.2009 – Минск: Учреждение «Научно-исследовательский ин-т пожарной безопасности и проблем

чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, 2009. – 38 с.

6. Система стандартов пожарной безопасности. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 11.16.06-2011. – Введ. 30.05.2011. – Минск: Учреждение «Научно-исследовательский ин-т пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, 2011. – 30 с.

REFERENCES

1. Sredstva pojarnoi avtomatiki. Oblast' primeneniya. Vibor tipa: rekomendatsii / V.V. Pivovarov [et al.]. – M.: VNIPO, 2004. – 96 p.

2. Sistema standartov pojarnoi bezopasnosti. Ustanovki poroshkovogo pojarotusheniya avtomaticheskie. Moduli. Obshie tekhnicheskie usloviya. Metodi ispitanii: STB 11.13.19-2010. – Vved. 20.08.2010. – Minsk: Uchrejdienie “Nauchno-issledovatel'skii institute pojarnoi bezopasnosti i chrezvichainikh situacii” MCHS Respubliki Belarus, 2010. – 18 p.

3. Ustanovki pojarotusheniya avtomaticheskie. Ognetchestvo. Chast' 4. Poroshki ognetchestvo obchego naznacheniya. Obshie tekhnicheskie trebovaniya. Metodi ispitanii. GOST R 53280.4-2009. – Vved.

18.02.2009. – Moskva: Federal'noe gosudarstvennoe uchrejdienie “Vserossiiskii ordena” Znak Pocheta” nauchno-issledovatel'skii institute protivopojarnoi oboroni 2010. – 17 p.

4. ISO 14520-1:2015 Sistemi gazovogo pojarotusheniya. Fizicheskie svoistva i oborudovanie. Chast' 1. Obshie trebovaniya. Geneva, Switzerland, 2015. – 11 p.

5. Sistema standartov pojarnoi bezopasnosti. Pojarnaya tekhnika. Ognetchestvo perenosnie. Obshie tekhnicheskie usloviya: STB 11.13.04-2009. – Vved. 06.04.2009. – Minsk: Uchrejdienie “Nauchno-issledovatel'skii institute pojarnoi bezopasnosti i chrezvichainikh situacii” MCHS Respubliki Belarus, 2009. – 38 p.

6. Sistema standartov pojarnoi bezopasnosti. Ustanovki vodyanogo i pennogo pojarotusheniya avtomaticheskie. Orositeli. Obshie tekhnicheskie trebovaniya. Metodi ispitanii: STB 11.16.06-2011. – Vved. 30.05.2011. – Minsk: Uchrejdienie “Nauchno-issledovatel'skii institute pojarnoi bezopasnosti i chrezvichainikh situacii” MCHS Respubliki Belarus, 2011. – 30 p.

