

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2024.1-55.40-56>

УДК 614.841

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

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА ПОДКЛАССА В1 ОГНЕТУШАЩИМ ПОРОШКОМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОЧАГ ПОЖАРА В СХЕМЕ ТУШЕНИЯ ПО ОБЪЕМУ**

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

*\*Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации» государственного учреждения образования*

*«Университет гражданской защиты» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», д. Светлая Роца*

Проведено экспериментальное исследование закономерностей тушения модельных очагов пожара класса В огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии на очаг пожара в схеме тушения по объему.

Получены зависимости времени тушения, удельного расхода огнетушащего порошка на тушение модельных очагов пожаров подкласса В1 и удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка в объеме тушения от интенсивности подачи порошка в объем тушения в схеме тушения по объему.

На основе построенных зависимостей определен интервал значений интенсивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения и удельного расхода порошка на тушение пожаров при которых происходит эффективное (с точки зрения надежности и минимальности затрат) тушение пожаров подкласса В1.

Полученные значения рекомендованы в качестве нормировочных при оценке огнетушащей способности модулей порошкового пожаротушения в схеме тушения пожара подкласса В1 по объему.

*Ключевые слова:* очаг пожара подкласса В1, огнетушащий порошок, модуль порошкового пожаротушения, время тушения, интенсивность подачи огнетушащего порошка, удельный расход огнетушащего порошка, удельная оптическая плотность огнетушащего порошка.

**Ph.D. in Physics and Mathematics Kitsak A.I., Lobach D.S.\*, Nadtochii D.N., Ivlev Y.P.**

## **THE RESULTS OF AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF EXTINGUISHING A FIRE OF SUBCLASS B1 WITH A GENERAL-PURPOSE FIRE EXTINGUISHING POWDER WITH SHORT-TERM EXPOSURE TO A FIRE SOURCE IN A VOLUME EXTINGUISHING SCHEME**

*The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies"  
of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk*

*\* The branch "Institute of Retraining and Professional Development"  
of the University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations  
of the Republic of Belarus, Svetlaya Roshcha*

An experimental study of the patterns of extinguishing model class B fire foci with a general-purpose fire extinguishing powder with short-term exposure to the fire source in the volume extinguishing scheme was carried out.

The dependences of the extinguishing time, the specific consumption of extinguishing powder for extinguishing model fires of subclass B1 and the specific optical density of extinguishing powder particles in the extinguishing volume on the intensity of powder supply to the extinguishing volume in the volume extinguishing scheme are obtained.

Based on the constructed dependencies, the range of values of the intensity of the supply of extinguishing powder to the extinguishing volume and the specific consumption of powder for extinguishing fires is determined at which effective (from the point of view of reliability and minimality of costs) extinguishing fires of subclass B1 occurs.

The obtained values are recommended as normalization values when evaluating the extinguishing capacity of powder fire extinguishing modules in the fire extinguishing scheme of subclass B1 by volume.

**Keywords:** fire source of subclass B1, extinguishing powder, powder extinguishing module, extinguishing time, intensity of supply of extinguishing powder, specific consumption of extinguishing powder, specific optical density of extinguishing powder.

## **Введение**

В недавней работе [1] представлены результаты экспериментального исследования эффективности тушения пожара подкласса А1 огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии на очаг пожара в схеме тушения по объему.

Наряду с пожарами класса А, к которым относятся очаги горения твердых веществ таких, как дерево, бумага, уголь (подкласс А1), а также пластмасс (подкласс А2) различают большой класс очагов пожара, вызываемых горением жидких веществ. Пожары данного типа получили название пожаров класса В. К ним относят, в частности, горение легковоспламеняющихся жидкостей (далее – ЛВЖ) не растворимых в воде, например, бензина, эфира (подкласс В1), а также горение некоторых горючих жидкостей (далее – ГЖ) растворимых в воде типа спиртов, глицерина (подкласс В2).

Особенностью пожаров класса В является то, что они характеризуются только диффузионным (пламенным) горением. Для их тушения достаточно прервать цепи образования активных центров пламени (активных частиц продуктов терморазложения горючих веществ) в зоне реакции окисления. Этого можно достичь эффективным охлаждением горючего вещества, либо блокировкой поступления кислорода извне в зону реакции окисления, или реализацией

этих процессов одновременно.

Исследованиями [2-3] установлено, что тушение пожаров класса В огнетушащим порошком осуществляется в основном охлаждением горючего вещества. При этом охлаждение осуществляется преимущественно в результате прекращения тепловыделения в зоне реакции окисления, обусловленного процессами гетерогенного и гомогенного ингибирования активных центров пламени частицами порошка.

Следует отметить, что результаты тушения пожаров класса В применяемыми в настоящее время системами порошкового пожаротушения, в частности, модульными установками порошкового пожаротушения (далее – МУПП) импульсного и кратковременного действия при тушении по объему, как и в случае тушения пожаров класса А, не всегда положительны. Данное обстоятельство можно объяснить отсутствием в настоящее время количественных критериев оценки огнетушащей способности применяемых в МУПП модулей порошкового пожаротушения (далее – МПП) при проведении их сертификационных испытаний, позволяющих однозначно определить пригодность применения МПП.

В основе современных методов оценки огнетушащей способности МПП импульсного и кратковременного действия лежат чисто качественные показатели. Основным критерием эффективности тушения МПП пожара класса В согласно [4-5] является отсутствие повторного воспламенения модельных очагов пожаров в защищаемом объеме в течение 10 мин после прекращения подачи порошка.

Как известно [2], основными количественными характеристиками огнетушащей способности МПП при тушении пожара в объеме (локально в объеме) являются:

- объемная интенсивность подачи огнетушащего порошка в очаг пожара  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>с), равная

$$I = \frac{m}{t \cdot V}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса огнетушащего порошка, подаваемого в защищаемый объем, кг;

$t$  – время подачи порошка, с;

$V$  – объем защищаемого пространства, м<sup>3</sup>;

- удельный расход огнетушащего порошка на тушение пожара  $G$ , кг/м<sup>3</sup>, определяемый по формуле

$$G = I \cdot \tau, \quad (2)$$

где  $\tau$  – время тушения пожара, с.

Как следует из определения данных характеристик, для их количественной оценки необходимо знание объемной плотности частиц огнетушащего порошка в защищаемом объеме, то есть массы частиц огнетушащего порошка, приходящейся на единицу объема.

Существуют трудности технического характера, не позволяющие оценить нормировочное значение объемной плотности частиц огнетушащего порошка и соответственно нормировочные значений параметров  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>\*с), и  $G$ , кг/м<sup>3</sup>,

при которых обеспечивается надежное тушение пожаров класса В. Данные трудности обусловлены: во-первых, существенно неоднородным распределением частиц огнетушащего порошка по защищаемому объёму при выпуске из МПП, что не позволяет оценить их объемную плотность расчетным способом, как отношение массы огнетушащего порошка, поданного в защищаемый объем, к величине данного объема. Во-вторых, отсутствием устройств, позволяющих непосредственно измерять объемные плотности аэрозольных сред типа огнетушащего порошка больших значений ( $\geq 0,15 \text{ кг/м}^3$ ), как правило, реализуемые при тушении пожара МПП.

Отсутствие нормировочных данных по концентрации частиц огнетушащего порошка, обеспечивающей надежное тушение модельного очага пожара класса В в защищаемом МПП объеме, не позволяет проконтролировать соответствие данному параметру объемной плотности частиц порошка, создаваемой МПП при его сертификационных испытаниях.

В работе [1] предложено использовать в качестве объективной характеристики эффективности тушения пожара МПП кратковременного действия в схеме тушения по объему (локально по объему) измеряемую экспериментальным способом пропорциональную объемной плотности частиц огнетушащего порошка удельную оптическую плотность  $D_u$ , Б/м, огнетушащего порошка, определяемую по формуле

$$D_u = \frac{1}{L} \cdot \lg \frac{P_0}{P_B}, \quad (3)$$

где  $L$  – толщина зондируемого слоя порошковой среды, м;  $P_0$  – мощность зондирующего слой излучения, Вт;  $P_B$  – мощность прямопрошедшего (нерассеянного) через слой порошковой среды излучения, Вт.

Переход от удельной оптической плотности порошковой среды к объемной плотности частиц порошка можно осуществить через градуировочную кривую, построенную измерением при заданных условиях значений удельной оптической плотности огнетушащих сред, формируемых в закрытом объеме известной величины подачей в него известных масс огнетушащего порошка. Очевидно, что величина объема при этом не должно быть большой для обеспечения быстрого усреднения по пространству частиц поданного в объем огнетушащего порошка и, соответственно, возможности оценки объемной плотности частиц порошка расчетным способом.

Измеряемая удельная оптическая плотность порошковой среды может служить объективным критерием эффективности тушения МПП пожаров класса В при тушении по объему также, как и в случае оценки эффективности тушения МПП пожаров класса А.

Целью работы является экспериментальное исследование закономерностей тушения модельных очагов пожара класса В огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии на очаг пожара в схеме тушения в объеме и оценка пределов значений параметров тушения: объемной интенсивности подачи огнетушащего порошка в зону горения, удельного расхода огнетушащего порошка на тушение пожара и удельной оптической плотности ча-

стиц огнетушащего порошка в защищаемом объеме, при которых обеспечивается надежное тушение пожара.

### **1. Технические средства и способы измерений, применяемые при выполнении экспериментальных исследований**

Для выполнения экспериментальных исследований закономерностей тушения пожаров класса В огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии на очаг пожара в схеме тушения по объему применялась подробно описанная в [1] лабораторная установка порошкового пожаротушения (далее – ЛУПП) и устройство определения удельной оптической плотности (далее – УООП) огнетушащей порошковой среды, формируемой в зоне очага пожара.

ЛУПП выполнена в виде цилиндрической емкости, образованной двумя металлическими кольцами, перемещающимися по вертикальным направляющим. Кольца совместно с поддоном, расположенным в нижней части установки, формируют защищаемый объем. В нижнем кольце имеется закрытое прозрачным термостойким пластиком окошко для наблюдения за процессом тушения модельного очага пожара с помощью видеокамеры. Сверху установки закреплен ресивер для заполнения воздухом с заданным давлением, контролируемым манометром. Выход ресивера соединен через электромагнитный клапан с узлом крепления резервуара, заполняемым огнетушащим порошком известной массы. По обе стороны установки располагаются металлические стойки для крепления компонентов устройства измерения времени выпуска огнетушащего порошка из резервуара. На одной из них крепится лазерный источник излучения, а на другой приемник излучения. Источник и приемник излучения располагаются на одной горизонтальной оси, которая проходит непосредственно под выходным отверстием резервуара. Источник излучения подключается к источнику питания постоянного тока, приемник излучения к осциллографу.

Технические характеристики ЛУПП:

- габариты – 2600 × 1050 × 1050 мм;
- максимальный защищаемый объем – 0,86 м<sup>3</sup>;
- минимальная масса огнетушащего порошка, загружаемого в резервуар, равна – 0,03 кг;
- максимальная масса огнетушащего порошка, загружаемого в резервуар, – 1 кг.
- минимальное пневматическое давление, которое обеспечивает импульсный выпуск огнетушащего порошка из резервуара, – 0,2 МПа;
- максимальное допустимое безопасное пневматическое давление, которое обеспечивает импульсный выпуск огнетушащего порошка из резервуара, – 0,75 МПа;
- объем ресивера – 1,55 дм<sup>3</sup>;

УООП включает лазерный источник излучения малой расходимости и приемник излучения, смонтированные в цилиндрический корпус с выемкой посередине. В выемку помещается кювета цилиндрической формы с отверстием для захода огнетушащего порошка и перемещающимися стеклянными окошками по бокам, формирующими измерительный объем порошковой среды. При

измерениях УООП помещалась внутрь защищаемого объема ЛУПП и закреплялась вблизи модельного очага пожара.

### **1.1. Способ определения времени выпуска огнетушащего порошка в защищаемый объем**

Лазерное излучение направляется через зону выпуска порошка на приемник излучения. Приемник излучения формирует сигнал, который затем усиливается усилителем и регистрируется осциллографом с широкой полосой пропускания сигналов. При выпуске огнетушащего порошка происходит временное перекрытие порошком излучения источника. Это приводит к отсутствию фототока приемника излучения и появлению провала напряжения сигнала, регистрируемого осциллографом. Время выпуска огнетушащего порошка принимается равным, измеренной длительности провала сигнала, зарегистрированного на осциллограмме.

### **1.2. Способ определения удельной оптической плотности огнетушащей порошковой среды**

Излучение лазерного источника 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 пропорционального мощности  $P_0$ , Вт, значение напряжения  $U_0$ , В, сигнала, зарегистрированного на линейном участке кривой усиления усилителя фототока в отсутствие подачи огнетушащего порошка в защищаемый объем. Затем производится регистрация осциллографом сигнала фотоприемника при подаче огнетушащего порошка в защищаемый объем. Измеряется минимальное значение напряжения  $U_B$ , В, данного сигнала на линейном участке кривой усиления усилителя фототока, пропорциональное мощности  $P_B$ , Вт, прямопрошедшего (нерассеянного) через слой  $L$ , м, огнетушащего порошка излучения.

Удельная оптическая плотность  $D_u$ , Б/м, огнетушащей порошковой аэрозоли определяется по формуле

$$D_u = \frac{1}{L} \cdot \lg \frac{U_0}{U_B}. \quad (4)$$

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

Величина отношения  $U_0/U_B$  определяется исходной мощностью зондирующего излучения  $P_0$ , Вт, и чувствительностью тракта регистрации излучения, определяющей минимальный регистрируемый уровень  $U_B$ , В, сигнала, формируемого излучением, прошедшим через слой огнетушащей порошковой

среды, толщиной  $L$ , м.

Учитывая зависимость отношения  $U_0/U_B$  от указанных параметров, можно предположить, что пределы измерения удельной оптической плотности  $D_u$ , Б/м, при заданном значении  $L$ , м, можно увеличивать, повышая, например, мощность зондирующего излучения  $P_0$ , Вт. Однако, существуют физическое ограничение на величину достижимого значения  $U_0/U_B$ , не позволяющие проводить измерения сколь угодно больших значений удельных плотностей огнетушащей среды.

Величина измеряемого отношения  $U_0/U_B$  ограничена шириной динамического диапазона измеряемых напряжений применяемого в устройстве определения удельной оптической плотности  $D_u$ , Б/м, приемного тракта (блока), включающего приемник излучения (фотодиод) и усилитель фототока. Это обстоятельство не позволяет увеличивать уровень измерения удельной оптической плотности порошкового слоя простым повышением мощности зондирующего излучения.

Ширина динамического диапазона усилителя определяется пределами минимального и максимального значений напряжений, измеряемых на линейном участке кривой усиления приемного блока.

На рисунке 1 (а) представлен график кривой усиления применявшегося в измерениях удельной оптической плотности  $D_u$ , Б/м, приемного блока. Источником излучения являлся полупроводниковый лазерный модуль, генерирующий излучение на длине волны  $\lambda = 980$  нм, мощностью 60 мВт. Излучение регистрировалось фотодиодом ФД-203-01.

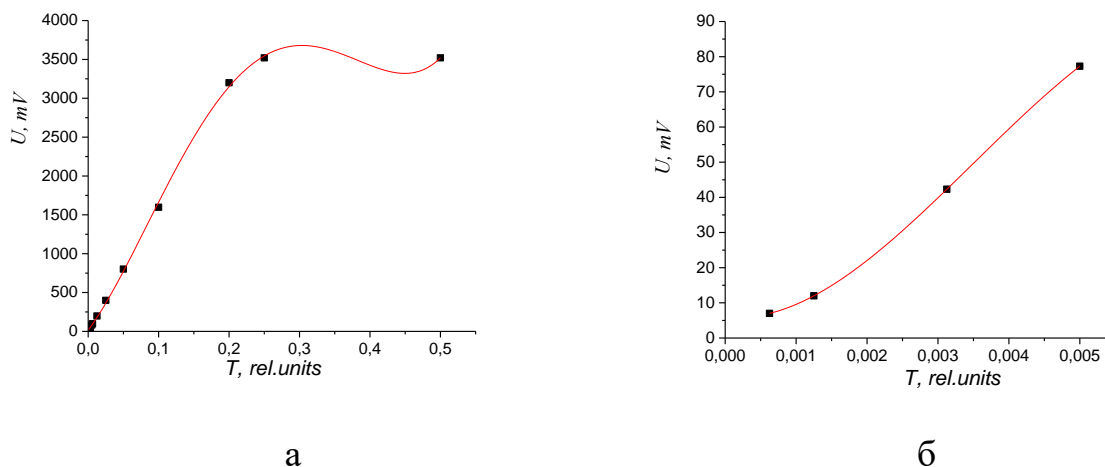


Рисунок 1. – Зависимость напряжения на выходе усилителя фототока от величины интенсивности излучения, падающего на приемник излучения

На рисунке 1 (б) отражено более детальное изменение напряжений в нижней части кривой рисунка 1 (а), измеряемых на выходе усилителя при регистрации фотодиодом излучения малой интенсивности. Здесь по оси абсцисс отложены коэффициенты пропускания калиброванных фильтров, вносившихся в световой пучок лазерного излучения, регистрируемого фотодиодом.

Из приведенных графиков следует, что результаты измерений напряжений на выходе применяемого усилителя будут корректными, если их значения  $U_0$ , В, и  $U_{\text{в}}$ , В, находятся в пределах линейного участка кривой усиления, простирающегося примерно от 40 до 3200 мВ.

В работе предложен способ виртуального расширения динамического диапазона применяемого усилителя фотоприемника, позволяющей увеличить значение измеряемой удельной оптической плотности огнетушащего порошка при исходном динамическом диапазоне усилителя фототока приемного блока и применении для зондирования огнетушащего порошка источника излучения большой мощности.

Способ реализуется следующим образом:

- перед проведением измерения оптической плотности  $D_u$ , Б/м, огнетушащей среды с применением источника зондирующего излучения большой мощности определяется значение сигнала пропорциональное исходной мощности источника излучения. Для этого мощность излучения источника, регистрируемого приемником излучения, ослабляется фильтром либо комбинацией фильтров с известными коэффициентами пропускания на длине волны излучения источника до получения на выходе применяемого усилителя приемника излучения сигнала, величина напряжения которого  $U_{\text{л}}$ , В, находится в пределах интервала линейных значений напряжений, формируемых данным усилителем;

- фиксируется значение данного напряжения  $U_{\text{л}}$ , В;

- определяется новый верхний предел виртуального диапазона линейных значений напряжений  $U'_0$ , В, усилителя фотоприемника по формуле

$$U'_0 = \frac{U_{\text{л}}}{T}, \quad (5)$$

где  $T$  – коэффициент пропускания фильтра либо комбинации фильтров, вносившихся в зондирующий пучок.

В последующем удельная оптическая плотность огнетушащего порошка определяется по формуле

$$D_u = \frac{1}{L} \cdot \lg \frac{U_u}{U_{\text{в}}} \quad (6)$$

Существует, как упоминалось ранее, и другая возможность повышения предела измеряемых значений удельной оптической плотности огнетушащей порошковой среды  $D_u$ , Б/м, заключающаяся в уменьшении толщины зондируемого слоя  $L$ , м. При этом, однако увеличивается, неопределенность измерения  $D_u$ , Б/м (обратно пропорционально  $L^2$ , м), и уменьшается уровень усреднения измеряемых значений по пространственным флуктуациям оптической плотности огнетушащей среды. То есть измерение оптической плотности аэрозольной среды осуществляется фактически в заданной точке пространства. Для получения усредненного значения  $D_u$ , Б/м, в данном случае необходимо проводить



одновременное измерение удельной оптической плотности в нескольких точках объема, заполненного аэрозольной средой. В проводившихся экспериментах зондировался слой порошковой среды толщиной  $(8 \cdot 10^{-3} \pm 2,13 \cdot 10^{-5})$  м.

## 2. Схема проведения экспериментальных исследований

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

Поднималось до упора нижнее кольцо ЛУПП. В центре поддона располагался на подставке высотой 400 мм и основанием с размерами  $200 \times 200$  мм модельный очаг пожара подкласса В1 ранга 1В (согласно СТБ 11.13.04-2009). В резервуар ЛУПП загружался огнетушащий порошок марки «Вексон-АВС 25» заданной массы. Ресивер наполнялся воздухом до заданного давления, контролируемого манометром. Включалось питание источников и приемников излучения, а также усилителей сигналов УООП и устройства определения времени выпуска порошка из резервуара ЛУПП. Устанавливались режимы регистрации сигналов двухканального осциллографа С8-38. С помощью калиброванного фильтра производилась оценка по описанному ранее способу начального значения сигнала  $U_0$ , В, в канале измерения удельной оптической плотности огнетушащего порошка. Осуществлялся поджог модельного очага пожара. По истечении интервала времени свободного горения очага, равного  $(60 \pm 1)$  с, нижнее кольцо ЛУПП опускалось до основания поддона. Включалась скоростная видеокамера регистрации процесса тушения пожара. Запускалась временная развертка лучей осциллографа. Подавался импульс тока на электромагнитный клапан для выпуска сжатого воздуха из ресивера в резервуар и подачи порошка в зону горения очага пожара. Очаг считался потушенным, если в течении 1 мин не наблюдалось его повторного воспламенения.

В ходе экспериментов контролировались следующие параметры: время тушения модельного очага пожара, время выпуска огнетушащего порошка, удельная оптическая плотность частиц порошка в объеме тушения.

Измерения проводились для различных навесок огнетушащего порошка в выпускном резервуаре ЛУПП и различных давлений воздуха в ресивере. Навески выбирались из ряда 60, 90, 120, 150, 180 и 240 г. При заданной навеске огнетушащего порошка давление в ресивере изменялось 0,2 до 0,6 МПа через интервал 0,2 МПа. Регистрировалась также динамика тушения пожара.

Было выявлено, что тушение пожара подкласса В1 огнетушащим порошком в объеме происходит с отрывом пламени от зоны реакции окисления, также как и при тушении его по поверхности [6].

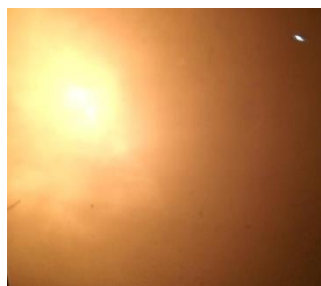
На рисунке 2 зафиксированы фото тушения модельного очага пожара подкласса В1 ранга 1В в различные моменты времени при интенсивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения  $I = (0,233 \pm 0,022) \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ с})$  и давлении выпуска огнетушащего порошка  $P = 0,6$  МПа;



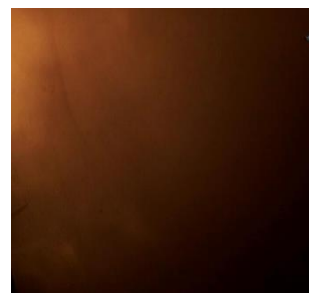
а



б



в



г

Рисунок 2. – Фото тушения очага пожара подкласса В1 в различные моменты времени тушения: а – 0,016 с; б – 0,093 с; в – 0,149 с; г – 0,215 с

На рисунке 2а зарегистрирован момент подачи порошка в зону очага пожара на начальном этапе его тушения. На рисунке 2б зафиксирован момент отрыва пламени от зоны реакции окисления активных продуктов терморазложения бензина. Наблюдается шароподобное образование светящихся продуктов горения и частиц огнетушащего порошка. Со временем, в результате остывания продуктов горения облако тускнеет (рисунок 2в) и совсем исчезает, что отражено на рисунке 2г.

Процесс отрыва пламени от зоны реакции окисления можно описать следующим образом. При движении огнетушащего порошка к зоне горения происходит интенсивное поглощение частицами порошка лучистого и теплового потоков очага пожара, что приводит к их нагреву. При попадании частиц порошка в зону реакции окисления происходит прерывание (в случае достаточной их объемной плотности в данной зоне) цепей горения в результате ингибирования частицами порошка и продуктами их испарения активных центров пламени. Прекращается тепловыделение в зоне реакции окисления. Соприкасаясь в дальнейшем с поверхностью горючей жидкости, частицы огнетушащего порошка отдают свое тепло ее приповерхностному слою. В результате большой разности температуры слоя и частиц огнетушащего порошка происходит образование паров горючей жидкости, сопровождающееся резким ростом давления в области газообразования. Это приводит к скоростному их расширению и отрыву пламени от зоны реакции окисления. Перекрывается доступ кислорода в область реакции окисления. Горение прекращается. Расширение газов и отрыв пламени сопровождается также кратковременным выносом части частиц порошка из зоны реакции окисления.

### 3. Результаты экспериментальных оценок значений основных параметров тушения МПП очага пожара подкласса В1

Результаты измерений параметров тушения очагов пожара подкласса В1 ранга 1В 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 2-5.

В таблицах 1-3 приведены значения основных параметров тушения модельных очагов пожаров подкласса В1: расчетной интенсивности подачи порошка в очаг пожара  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>·с), расчетного удельного расхода порошка  $G$ , кг/м<sup>3</sup>, времени тушения  $\tau$ , с, и максимальной удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка  $D_u$ , Б/м в области расположения модельного очага пожара для различных режимов тушения, отличающихся массой огнетушащего порошка, подаваемого в объем тушения, и давления его подачи.

Поскольку тушение пожара подкласса В1 в объеме происходит с отрывом пламени от зоны реакции окисления и выбросом части частиц огнетушащего порошка из данной зоны, не представляется возможным достоверное измерение удельной оптической плотности частиц порошка в защищаемом объеме, приводящей к тушению пожара. Поэтому в таблицах приведены значения удельной оптической плотности частиц порошка, измеренные в защищаемом объеме без очага пожара, но при тех же режимах подачи огнетушащего порошка в зону горения, при которых очаги были потушены ранее.

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

Таблица 1. – Параметры тушения модельного очага пожара подкласса В1 ранга 1В при давлении выпуска огнетушащего порошка  $P = 2$  Бар

Наименование показателя	режим 1	режим 2	режим 3	режим 4	режим 5	режим 6
$I$ , кг/м <sup>3</sup> с	0,155 ± 0,022	0,19 ± 0,023	0,202 ± 0,003	0,218 ± 0,006	0,227 ± 0,003	0,294 ± 0,008
$G$ , кг/м <sup>3</sup>	0,206 ± 0,03	0,226 ± 0,03	0,078 ± 0,01	0,06 ± 0,008	0,05 ± 0,012	0,055 ± 0,011
$\tau$ , с	1,33 ± 0,009	1,19 ± 0,009	0,39 ± 0,009	0,28 ± 0,009	0,224 ± 0,009	0,19 ± 0,009
$D_u$ , Б/м	80,02 ± 16,77	117,9 ± 15,47	223,46 ± 20,84	240 ± 30,9	222,5 ± 20,84	275 ± 38,69

Таблица 2 – Параметры тушения модельных очагов пожаров подкласса В1 при давлении выпуска огнетушащего порошка Р = 4 Бар

Наименование показателя	режим 1	режим 2	режим 3	режим 4	режим 5	режим 6
$I$ , кг/м <sup>3</sup> с	0,192 ± 0,034	0,261 ± 0,011	0,243 ± 0,023	0,361 ± 0,03	0,371 ± 0,03	0,422 ± 0,04
$G$ , кг/м <sup>3</sup>	0,041 ± 0,01	0,052 ± 0,008	0,14 ± 0,012	0,1 ± 0,006	0,14 ± 0,014	0,035 ± 0,014
$\tau$ , с	0,215 ± 0,009	0,199 ± 0,009	0,57 ± 0,009	0,28 ± 0,009	0,38 ± 0,009	0,083 ± 0,009
$D_u$ , Б/м	212 ± 15,57	276,05 ± 38,5	53,18 ± 10,37	290 ± 11,54	-	-

Таблица 3 – Параметры тушения модельных очагов пожаров подкласса В1 при давлении выпуска огнетушащего порошка Р = 6 Бар

Наименование показателя	режим 1	режим 2	режим 3	режим 4	режим 5	режим 6
$I$ , кг/м <sup>3</sup> с	0,233 ± 0,03	0,419 ± 0,013	0,371 ± 0,03	0,406 ± 0,07	0,545 ± 0,085	0,592 ± 0,02
$G$ , кг/м <sup>3</sup>	0,05 ± 0,011	0,038 ± 0,014	0,024 ± 0,014	0,029 ± 0,014	0,045 ± 0,014	0,044 ± 0,014
$\tau$ , с	0,215 ± 0,009	0,11 ± 0,009	0,066 ± 0,009	0,074 ± 0,009	0,083 ± 0,009	0,083 ± 0,009
$D_u$ , Б/м	96,8 ± 15,77	-	-	-	-	-

Отсутствие данных в графах для удельной оптической плотности огнетушащего порошка таблиц 2 и 3 обусловлено превышением их значений допустимой измеряемой границы применяемого УООП, равной 300 Б/м.

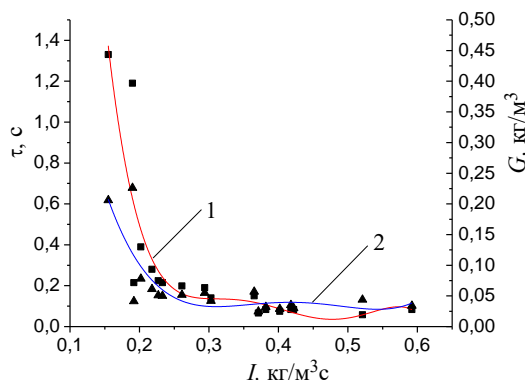


Рисунок 3. – Зависимости времени  $\tau$  тушения (■) модельного очага пожара подкласса В1 и удельного расхода  $G$ , кг/м<sup>3</sup>, огнетушащего порошка (▲) от интенсивности  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>·с), подачи порошка в объем тушения

На рисунке 3 представлены зависимости времени тушения  $\tau$ , с, модельного очага пожара класса В (кривая 1) и удельного расхода  $G$ , кг/м<sup>3</sup>, огнетушащего порошка (кривая 2) на его тушение от реализованной в экспериментах интенсивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>·с).

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 остаются практически неизменными при дальнейшем увеличении интенсивности подачи порошка в объем тушения. Значение интенсивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>·с), при которой удельный расход  $G$ , кг/м<sup>3</sup>, огнетушащего порошка на тушение пожара минимальный, можно считать оптимальными с точки зрения надежности тушения модельных очагов пожара класса В и расхода огнетушащего порошка.

Как следует из таблиц 1-3 и рисунка 3 это оптимальное значение интенсивности находится в границах

$$I = \{(0,371 \pm 0,03) \div (0,406 \pm 0,07)\} \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{с)}$$

Максимальная удельная оптическая плотность огнетушащего порошка в зоне модельного очага пожара при данной интенсивности подачи его в объем тушения превышает 300 Б/м.

На рисунке 4 представлены графики зависимостей времени тушения  $\tau$ , с, очагов подкласса В1 (кривая 1) и максимальной удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка  $D_{и}$ , Б/м, (кривая 2) в объеме тушения от интенсивности  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>·с), подачи огнетушащего порошка в объем тушения, построенные для данных измерений, приведенных в таблице 1.

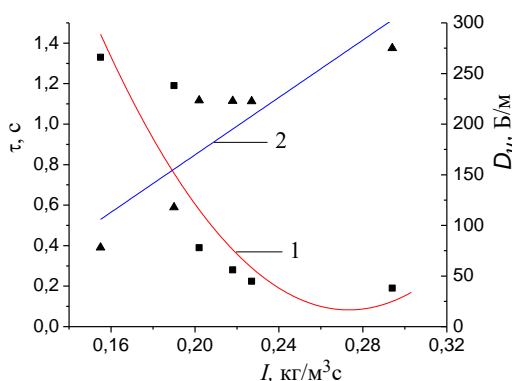


Рисунок 4. – Зависимости времени тушения  $\tau$ , с, (■) модельного очага пожара подкласса В1 и удельной оптической плотности  $D_{и}$ , Б/м, частиц огнетушащего порошка (▲) от интенсивности  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>·с), подачи порошка в объем тушения при  $P = 0,2$  МПа

Как следует из графиков, зависимости времени тушения  $\tau$ , с, и удельной оптической плотности частиц порошка от интенсивности  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>·с), подачи огнетушащего порошка в объем тушения являются обратными. То есть, если время тушения модельного очага пожара уменьшается с ростом интенсивности

подачи огнетушащего порошка в объем тушения, то удельная оптическая плотность частиц огнетушащего порошка растет. Таким образом, наблюдается фактически опосредованная зависимость времени тушения модельного очага пожара от удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка, подаваемого в объем тушения. Данная зависимость заключается в том, что время тушения  $\tau$ , с, тем меньше, чем больше оптическая плотность частиц огнетушащей порошковой среды.

Полученный результат позволяет применять в качестве объективного критерия огнетушащей способности систем порошкового пожаротушения при тушения пожара в объеме измеряемую удельную оптическую плотность частиц огнетушащего порошка  $D_u$ , Б/м.

На рисунках 5а и 5б изображены зависимости времени тушения  $\tau$ , с, модельного очага пожара подкласса В1 от интенсивности подачи  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>·с), огнетушащего порошка в зону горения, построенные по данным, приведенным в таблицах 2 и 3 для давлений подачи огнетушащего порошка в объем тушения, равным 0,4 и 0,6 МПа соответственно.

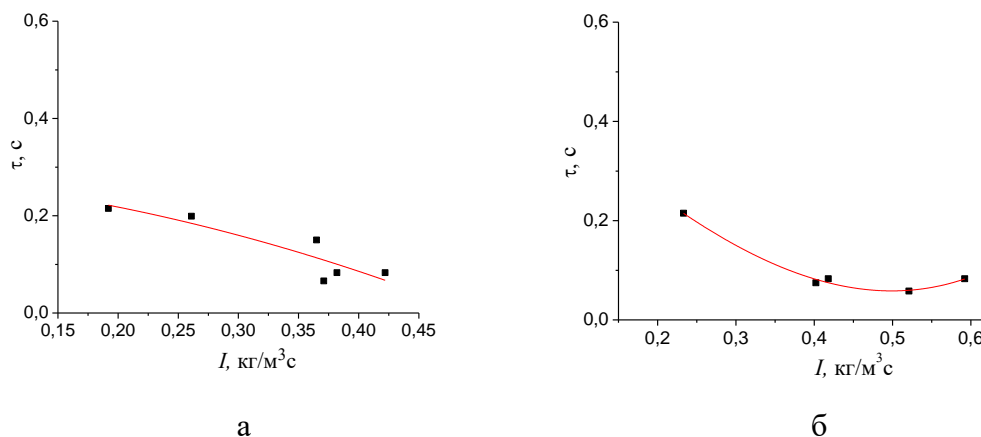


Рисунок 5. – Зависимости времени  $\tau$ , с, тушения модельного очага пожара подкласса В1 от интенсивности  $I$ , кг/(м<sup>3</sup>·с) подачи порошка в зону горения при  $P = 0,4$  МПа (а) и  $P = 0,6$  МПа (б)

Из данных таблиц 2, 3 и представленных графиков рисунка 5 следует, что чем больше давление выпуска огнетушащего порошка в объем тушения, то есть, чем больше скорость частиц огнетушащего порошка, тем большая удельная оптическая плотность частиц порошка создается в зоне модельного очага пожара и тем меньше время его тушения.

#### 4. Анализ результатов проведенных исследований

В ходе экспериментальных исследований эффективности тушения модельных очагов пожара подкласса В1 ранга 1В огнетушащим порошком «Вексон-АВС 25» при кратковременном воздействии его на очаг (длительностью ~1 с) в схеме тушения по объему изучались динамика тушения пожаров, зависимости времени тушения, удельного расхода порошка на тушение и удельной оптической плотности частиц порошка в объеме тушения от интен-

сивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения.

Было выявлено, что тушение пожара подкласса В1 огнетушащим порошком в схеме тушения по объему происходит с отрывом пламени от зоны реакции окисления, также как и в схеме тушения по поверхности.

Из анализа полученных зависимостей (рисунки 4, 5) следует, что время тушения очагов пожара зависит не только от интенсивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения, но и от скорости частиц порошка, подаваемых в зону горения, то есть от давления, при котором производится их выпуск. Чем больше давление выпуска частиц порошка, тем больше их скорость и тем большая объемная плотность (удельная оптическая плотность) огнетушащего порошка создается в защищаемом объеме, и тем меньше время тушения очагов пожара.

Полученные в работе результаты позволяют применять в качестве объективного критерия огнетушащей способности систем порошкового пожаротушения при тушении пожара в объеме измеряемую удельную оптическую плотность частиц огнетушащего порошка  $D_u$ , Б/м вместо расчетной характеристики интенсивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения.

### Заключение

Проведен анализ объективных критериев огнетушащей способности систем порошкового пожаротушения, применяемых для тушения очагов пожара класса В при кратковременном воздействии на очаг пожара в схеме тушения по объему.

Установлено, что таким критерием наряду с применяемой характеристикой тушения интенсивностью подачи огнетушащего порошка в объем тушения может быть экспериментально измеряемая удельная оптическая плотность огнетушащего порошка, пропорциональная его объемной плотности в защищаемом объеме.

Предложен способ увеличения измеряемых значений оптической плотности огнетушащей порошковой среды при ограниченном динамическом диапазоне применяемого для измерений приемного блока, посредством использования источника зондирующего среду излучения большой мощности и набора калиброванных оптических фильтров.

Проведено экспериментальное исследование закономерностей тушения модельных очагов пожара класса В огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии на очаг пожара в схеме тушения по объему.

Получены зависимости времени тушения, удельного расхода огнетушащего порошка на тушение модельных очагов пожаров подкласса В1 и удельной оптической плотности частиц огнетушащего порошка в объеме тушения от интенсивности подачи порошка в объем тушения в схеме тушения по объему.

Анализ построенных зависимостей позволил определить интервал значений интенсивности подачи огнетушащего порошка в объем тушения и 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 В1. Полученные значения с учетом расширенной неопределенности их измерения можно рекомендовать в качестве нормировочных для применявшегося в экспериментах огнетушащего порошка «Вексон-АВС 25» при оценке огнетушащей способности МПП в схеме тушения пожара подкласса В1 по объему.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кицак, А. И., Лобач, Д. С., Надточий, Д. Н., Ивлев Ю.П. Экспериментальное исследование эффективности тушения пожара подкласса А1 огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии частиц порошка на очаг пожара в схеме тушения по объему / А.И. Кицак, Д.С. Лобач, Д.Н. Надточий, Ю.П. Ивлев // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2023. – № 1 (53). – С. 39-56.

2. Баратов, А.Н. Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. 364 с.

3. Краснянский, М.Е. Порошковая пожаровзрывозащита / М.Е. Краснянский. – Донецк: Общество книголюбов, 1994. – 152 с.

4. 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.

5. 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.

6. Кицак А. И., Лобач Д.С. Экспериментальное исследование эффективности тушения пожара класса В огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии частиц порошка на очаг пожара в схеме тушения локально по поверхности / А. И. Кицак, Д.С. Лобач // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2022. – № 2 (52). – С. 103-114.

## REFERENCES

1. Kitsak A.I., Lobach D.S., Nadtochii D.N., Ivlev Y.P. Experimental'noe issledovanie effektivnosti tusheniya pojara podklassa A1 ognetushashim poroshkom obshego naznacheniya pri kratkovremennjm vozdeistvii chastits poroshka na ochag pojara v scheme tusheniya po poverkhnosti / A.I. Kitsak, D.S. Lobach, D.N. Nadtochii, Y.P. Ivlev // Cherezvichainie situatsii: preduprejdenie i likvidatsiya. – 2023. – № 1 (53). – P. 39-56. (in Belarus)

2. Baratov A.N. Gorenje – Pojar – Vzriv – Bezopasnost'. Moskow, FGU VNIPO MCHS ROSSII, 2003, 364 p (in Russian).

3. Krasnyansky M.E. Poroshkovaya pojarovzryvozaschita. Doneck, Society of book lovers, 1994, 152 p (in Russian).

4. Sistema standartov pojarnoi bezopasnosti. Pojarnaya tekhnika. Ognetushtiteli



perenosnie. Obshie tekhnicheskie usloviya: STB 11.13.04-2009 – Vved. 06.04.2009 – Minsk: Uchrejdenie “Nauchno-issledovatel’skii institute pojarnoi bezopasnosti i chrezvichainikh situacii” MCHS Respubliki Belarus, 2009. – 38 p.

5. 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: Uchrejdenie “Nauchno-issledovatel’skii institute pojarnoi bezopasnosti i chrezvichainikh situacii” MCHS Respubliki Belarus, 2011. – 30 p.

6. Kitsak A.I., Lobach D.S. Experivental’noe issledovanie effektivnosti tusheniya pojava klassa B ognetushashim poroshkom obshego naznacheniya pri kratkovremennjm vozdeistvii chastits poroshka na ochag pojava v scheme tusheniya lokal’no po poverkhnosti / A.I. Kitsak, D.S. Lobach // Cherezvichainie situatsii: preduprejdenie i likvidatsiya. – 2022. –№ 2 (52). – P. 103-114. (in Belarus)

