

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

На правах рукописи



Дмитриев Олег Владимирович

**РАЗРАБОТКА НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ ПОДХОДОВ К ПОВЫШЕНИЮ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ**

2.6.18. Охрана труда, пожарная и промышленная безопасность

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Попов Владимир Иванович

Иваново – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ПЕРВИЧНЫЕ СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	13
1.1 Основы теории возникновения и прекращения горения.....	13
1.2 Огнетушащие порошки.....	18
1.3 Механизм огнетушащего эффекта порошков.....	20
1.4 Средства подачи огнетушащих порошков.....	28
1.5 Направления совершенствования огнетушащей способности огнетушащих порошков и способности локализовать развитие аварии разлива нефтепродуктов.....	34
1.6 Лабораторные установки и методы исследования огнетушащей способности порошков.....	37
1.7 Выводы по первой главе.....	45
ГЛАВА 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ.....	48
2.1 Лабораторная установка для исследования огнетушащей способности порошковых составов.....	48
2.2 Методика проведения лабораторных исследований по определению огнетушащей способности порошковых составов.....	56
2.3 Выводы по второй главе.....	61
ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЯ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВ.....	62
3.1 Лабораторные исследования по сравнительной оценке огнетушащей эффективности порошковых составов	62
3.1.1 Результаты исследований по тушению модельного очага пожара с твердым горючим материалом (древесина).....	62
3.1.2 Результаты исследований по тушению модельного очага пожара с	

легковоспламеняющейся жидкостью.....	68
3.2 Регрессионный анализ экспериментальных данных	72
3.3 Исследование влияния гидрофобно-модифицирующей добавки на эксплуатационные свойства и огнетушащую способность порошка	81
3.3.1 Определение эксплуатационных свойств огнетушащего порошка, гидрофобизированного гидрофобно-модифицирующей добавкой.....	84
3.3.2 Исследование микроструктуры частиц огнетушащего порошка с гидрофобно-модифицирующей добавкой методом рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии	94
3.3.3 Исследование процессов термического разложения порошковых составов.....	99
3.4 Влияние интенсивности подачи порошкового состава на тушение модельного очага пожара с легковоспламеняющейся жидкостью.....	103
3.5 Определение преобладающего огнетушащего эффекта огнетушащего порошка.....	107
3.6 Определение интенсивности испарения легковоспламеняющейся жидкости при покрытии поверхности слоем огнетушащих порошковых составов.....	109
3.7 Полигонные и промышленные испытания.....	112
3.7.1 Результаты испытаний по тушению модельного очага пожара класса А.....	114
3.7.2 Результаты испытаний по тушению модельного очага пожара класса В.....	122
3.7.3 Проверка адекватности результатов лабораторных и промышленных испытаний.....	127
3.7.4 Полигонные испытания по одновременному тушению горячей жидкости порошком и пеной.....	131
3.8 Выводы по третьей главе.....	134

ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА «ОГНЕННОЙ СФЕРЫ» ПРИ ТУШЕНИИ ПОРОШКАМИ	137
4.1 Теоретическое исследование образования «огненной сферы» при тушении порошками	137
4.2 Определение диаметра «огненной сферы».....	141
4.3 Выводы по четвертой главе.....	144
5 Выводы.....	145
Список литературы.....	146
Приложение 1.....	163
Приложение 2.....	171
Приложение 3.....	185
Приложение 4.....	187
Приложение 5.....	199
Приложение 6.....	207
Приложение 7.....	212
Приложение 8.....	213
Приложение 9.....	214

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В России эксплуатируется большое количество промышленных предприятий химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности, общественных объектов и жилых зданий, в которых в качестве первичных средств пожаротушения применяются порошковые огнетушители. Огнетушащие порошки в последнее время получили широкое распространение в системах автоматического пожаротушения, в модульных системах. В настоящее время активное освоение получила Арктическая зона, в которой строятся промышленные и гражданские объекты. Так, государственной программой Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации», утвержденной Правительством Российской Федерации в 2021 году, предусмотрено создание новых и модернизация действующих промышленных производств, разработка новых нефтегазовых провинций, месторождений твердых полезных ископаемых и трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья, глубокая переработка нефти, производство сжиженного природного газа и газохимической продукции.

Тушение пожаров на объектах Арктической зоны возможно, как правило, только огнетушащими порошками. С каждым годом область применения огнетушащих порошков расширяется.

В настоящее время огнетушащие порошки не в полной мере обладают универсальностью для тушения пожара и ликвидации аварии. Недостатками огнетушащих порошков являются:

- низкая огнетушащая способность тлеющих материалов;
- неспособность препятствовать повторному воспламенению потушенного горючего от нагретых элементов оборудования или строительных конструкций;
- низкая сорбционная способность к горючим жидкостям;
- склонность к слеживанию.

Решение указанной проблемы требует совершенствования огнетушащих веществ, разработки универсальных средств, обеспечивающих тушение пожара и

ограничение развития аварий аппаратов с горючими жидкостями, а также разработки огнетушащих порошковых составов с улучшенными эксплуатационными свойствами и более низкой стоимостью.

Таким образом, актуальным является создание огнетушащих порошков:

- способных сорбировать пары, газы и жидкости при авариях на объектах нефтегазовой промышленности, при транспортных авариях;

- способных при тушении горючих веществ и материалов препятствовать повторному воспламенению потушенного горючего от нагретых элементов строительных конструкций или оборудования;

- способных тушить тлеющие материалы;

- с гидрофобизирующими добавками с высокими качественными характеристиками.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами создания новых эффективных средств порошкового пожаротушения, а также экспериментальными исследованиями по огнетушащей способности порошковых составов занимались отечественные и зарубежные ученые: Баратов А.Н., Вогман Л.П., Исавнин Н.В., Краснянский М.Е., Добриков В.В., Корольченко Д.А., Ewing C.T., Rosser W., Lee T.G., Бухтояров Д.В., Сабинин О.Ю., Кунин А.В., Лапшин Д.Н., Бобрышева С.Н. и др. [8, 19, 36, 24, 27, 121, 14, 51, 90, 54, 81, 76, 56].

Цель диссертационного исследования заключается в создании научно обоснованных подходов к повышению эффективности огнетушащих порошковых составов.

Задачи диссертационного исследования:

- на основе анализа научных работ обосновать перспективные направления повышения огнетушащей эффективности порошковых составов;

- разработать методику сравнительной оценки огнетушащей способности различных порошковых составов;

- провести сравнительную оценку огнетушащей способности промышленно выпускаемого порошка с разработанным нами порошковым составом в смеси с добавками микрокапсул с хладоном;

- провести сравнительную оценку огнетушащей способности разработанных нами порошковых составов двойного назначения (тушение пожара и локализации аварии) с огнетушащей способностью промышленно выпускаемых порошков;
- провести оценку огнетушащей способности разработанных порошковых составов с гидрофобизирующим веществом на основе торфяного сырья;
- разработать новые составы огнетушащих порошков двойного назначения и с повышенными эксплуатационными характеристиками;
- определить оптимальные концентрации веществ, применяемых в качестве добавок для совершенствования свойств огнетушащих порошков.

Объект исследования – огнетушащие порошковые составы.

Предмет исследования – совершенствование эксплуатационных характеристик огнетушащих порошковых составов.

Научная новизна работы:

- разработана методика исследований порошковых составов, позволяющая оценить их огнетушащую способность при тушении горения жидкости и твердых горючих материалов;
- теоретически обоснован механизм повышения огнетушащей эффективности при применении добавок;
- научно обоснованы и экспериментально установлены оптимальные составы огнетушащих порошков с гидрофобизирующими, микрокапсулированными добавками и добавками сорбентов, повышающими эффективность порошковых составов;
- экспериментально установлена минимальная огнетушащая интенсивность подачи порошковых составов при тушении горения жидкости;
- обнаружен и теоретически обоснован эффект образования «огненной сферы» в момент подачи огнетушащего порошка в зону горения. Разработана математическая модель, позволяющая рассчитать диаметр «огненной сферы» и установить безопасное расстояние от очага пожара для пожарных подразделений и оборудования.

Новизна разработанных технических решений защищена патентом РФ на изобретение (№ 2605056, 23.11.2016).

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в следующем:

- подтвержден преобладающий эффект тушения – ингибирование реакции горения, происходящее в гомогенной фазе, что позволит создавать огнетушащие порошковые составы с повышенными эксплуатационными характеристиками;

- разработана модель эффекта образования «огненной сферы», позволяющая установить минимальные расстояния для обеспечения безопасности человека и оборудования от воздействия теплового излучения при тушении горения огнетушителями в момент подачи огнетушащего вещества в зону горения.

Практическая значимость работы:

- разработана методика проведения исследований огнетушащей способности, позволяющая осуществлять сравнительную оценку огнетушащей способности порошковых составов, определять минимальную огнетушащую интенсивность прекращения горения, проводить исследования по тушению порошками горючих жидкостей и твердых горючих материалов;

- предложены составы огнетушащих порошков [80], отличающихся от промышленно выпускаемых:

- а) повышенной огнетушащей способностью (порошки с добавками микрокапсулированных хладонов). Добавки микрокапсул до 15 % увеличивают огнетушащую способность на 39 %;

- б) обладающие сорбционными свойствами по отношению к легковоспламеняющимся и горючим жидкостям (порошковые составы двойного назначения);

- в) с гидрофобизирующими веществами на основе торфяного сырья. Гидрофобизирующие вещества на основе торфяного сырья в 10...15 раз дешевле применяемых в настоящее время гидрофобизирующих веществ. Выпущена опытная партия порошка на оборудовании по производству порошка «Волгалит-АВС» без изменения технологии производства.

Область исследования. Работа выполнена в соответствии с п. 11 паспорта специальности 2.6.18. Охрана труда, пожарная и промышленная безопасность (технические науки).

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач использовался комплексный способ исследований, включающий экспериментальные и теоретические методы исследований: анализ современного состояния теории, практики и патентных материалов; проведение лабораторных исследований и промышленных испытаний огнетушащей способности порошковых составов. Результаты численных расчетов подтверждены результатами экспериментальных исследований с использованием современных поверенных приборов и оборудования.

Положения, выносимые на защиту

1. Обоснование преобладающего эффекта тушения – ингибирование реакции горения, происходящее в гомогенной фазе.
2. Методика для сравнительной оценки огнетушащей способности огнетушащих порошковых составов.
3. Порошковые составы, обладающие повышенными эксплуатационными характеристиками.
4. Результаты лабораторных и промышленных испытаний огнетушащих порошковых составов с добавками.
5. Результаты теоретического обоснования и исследования образования эффекта «огненной сферы» в момент подачи огнетушащего порошка в зону горения.

Достоверность результатов исследования складывается: из методически обоснованного комплекса теоретических и эмпирических исследований; необходимого количества и диапазона испытаний с использованием сертифицированного и поверенного научно-исследовательского оборудования; статистической обработки эмпирических результатов с погрешностью не более 5 %; сопоставления результатов, полученных разными методами, а также их сравнения с результатами, полученными другими авторами; удовлетворительной сходимости теоретических и эмпирических исследований.

Апробация результатов исследования. Основные результаты работы доложены и обсуждены на:

- V, VI, VII, VIII, IX Международных научно-практических конференциях «Пожарная и аварийная безопасность» (г. Иваново, Ивановский институт ГПС МЧС России, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014);

- III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» (г. Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 2012);

- Школе молодых ученых и специалистов МЧС России – 2012: «Интеллектуальный потенциал молодых ученых и специалистов МЧС России: комплексный подход к формированию научных кадров» (г. Подольск, ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2012);

- Международном научном семинаре «Проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов хозяйствования» (г. Кокшетау, Республика Казахстан, ГУ «Кокшетауский технический институт МЧС РК», 2014);

- V Международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» (г. Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 2014);

- Региональном инновационном конвенте молодых ученых «Интеграция», в рамках областного фестиваля «Молодая наука – Ивановской области (г. Иваново, «Ивановский государственный университет», 2014);

- III Ивановском инновационном конвенте «Образование. Наука. Инновации» по направлению «Современные материалы и технологии их создания (химия)» (г. Иваново, Ивановский институт ГПС МЧС России, 2014);

- X Международном салоне средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность - 2017» (г. Ногинск, Ногинский спасательный центр МЧС России, 2017);

- XXIV Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед» (г. Москва, КВЦ «Сокольники», 2019);

- IX Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов», посвященной 90-летию образования гражданской обороны (г. Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022).

Результаты работы реализованы на предприятии АО «В.В.П.», в образовательном процессе ФГБОУ ВО Тверского государственного технического университета и научной деятельности ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 27 работ, в том числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, 1 патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературы из 127 наименований и 9 приложений. Работа изложена на 214 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков и 17 таблиц.

Список сокращений и условных обозначений

ОПС – огнетушащий порошковый состав;

АЦП – активные центры пламени;

ОТВ – огнетушащие вещества;

ОП – огнетушитель порошковый;

АЗС – автомобильная заправочная станция;

АЗК – автозаправочный комплекс;

ВНИИПО – федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»;

ПА – пожарный автомобиль;

МПП – модуль порошкового пожаротушения;

ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость;

ГЖ – горючая жидкость;

ПТВ – пожарно-техническое вооружение;

ТГМ – твердые горючие материалы;

ГМД – гидрофобно-модифицирующая добавка;

МНК – метод наименьших квадратов.

ГЛАВА 1 ПЕРВИЧНЫЕ СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

1.1 Основы теории возникновения и прекращения горения

Теоретические положения возникновения и прекращения горения, как правило, основываются на тепловой теории самовоспламенения Н.Н. Семенова. Согласно тепловой теории Н.Н. Семенова самовоспламенение (взрыв) реакционной смеси происходит при условии, когда теплоприход (q_1) превышает теплоотвод (q_2). При этом теплоприход реакции описывается уравнением [1]:

$$q_1 = \frac{\nu Q k a^n e^{-\frac{E}{RT}}}{N}, \quad (1.1)$$

где ν – объем сосуда, м³;

q_1 – теплота реакции, выделяемая при образовании 1 моля продукта;

k – константа скорости реакции;

a – число молекул исходного вещества в единице объема в начале реакции;

n – показатель степени, для мономолекулярных реакций $n = 1$, для бимолекулярных реакций $n = 2$;

e – основание натурального логарифма;

E – энергия активации процесса;

R – газовая постоянная;

T – абсолютная температура.

Абдурагимов И.М. в работе [2] отмечает, что согласно химической кинетике интенсивность тепловыделения при горении выражается через уравнение Аррениуса:

$$Q_{\text{выд}} = Q_0 V k_0 C_r^{\nu_1} C_0^{\nu_2} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (1.2)$$

где V – объем зоны реакции, м³;

k_0 – константа скорости реакции;

$C_r^{\nu_1}$, $C_0^{\nu_2}$ – концентрация соответственно горючего и окислителя, %;

ϑ_1, ϑ_2 – индексы, означающие порядок реакции соответственно по горючему и окислителю;

E – энергия активации реакции окисления (горения), кДж/моль;

Q_0 – теплота сгорания горючего, кДж/кг.

Отводимое количество тепла описывается соотношением [1]:

$$q_2 = \chi(T - T_0)S, \quad (1.3)$$

где χ – коэффициент теплопередачи;

T – температура реагирующего газа;

T_0 – температура стенок сосуда, задаваемая извне;

S – поверхность сосуда.

Для реального пожара интенсивность теплотерь описывается выражением [2]:

$$Q_{\text{отв}} = Q_{\text{луч}} + Q_{\text{конв}} = \alpha F_{\text{пл}} (T_{\text{пл}} - T_0) + \varepsilon \sigma_0 F_{\text{пл}} (T^{-4} - T_0^{-4}), \quad (1.4)$$

где $Q_{\text{отв}}$ – интенсивность теплотерь, кДж/с;

$Q_{\text{конв}}$ – теплотери излучением и конвекцией соответственно, кДж/с;

α – коэффициент теплоотдачи, кДж/(м²с°С);

$F_{\text{пл}}$ – площадь поверхности пламени (излучающей поверхности), м² ;

$T_{\text{пл}}, T_0$ – температура пламени и окружающей среды соответственно, К;

ε – коэффициент черноты излучающей поверхности (пламени);

σ_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, КДж/(м²сК⁴).

Процесс самовоспламенения Семенов Н.Н. иллюстрирует графиками изменения теплоприхода и теплоотвода от температуры, приведенными в работе [1].

График зависимости q_1 и q_2 от температуры изображен на рис. 1.1.

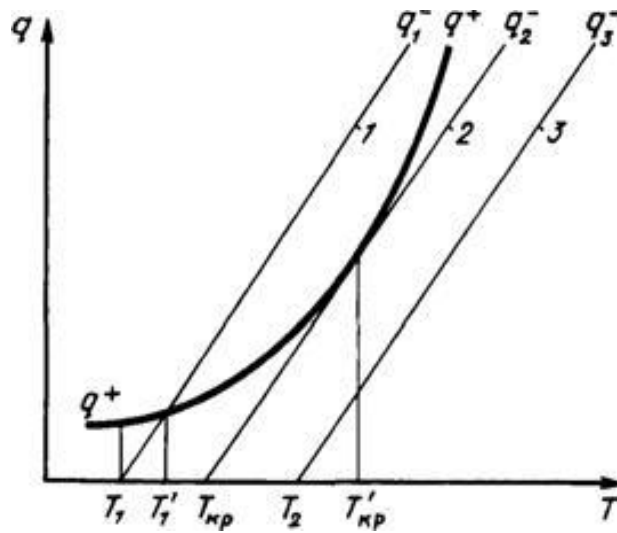


Рисунок 1.1 – Зависимости q_1 и q_2 от температуры

Наиболее распространенной теорией прекращения процессов горения является теория, основанная на тепловой теории самовоспламенения (взрыва), разработанная Зельдовичем Я.Б, Франк-Каменецким Д.А. и др. Суть ее сводится к тому, что при нарушении условий теплового равновесия в зоне протекания химических реакций горения самопроизвольное и непрерывное течение этих реакций становится невозможным и процесс горения прекращается. Это происходит тогда, когда в результате изменения скорости теплоприхода и скорости теплоотвода (теплоотвод от зоны реакции превышает теплоприход), т.е.

$$q_1 < q_2. \quad (1.5)$$

При этом нарушении теплового равновесия в зоне протекания химических реакций горения температура снижается до некоторого критического значения, т.е.

$$T_{кр} = T_{пл} - \Delta T, \quad (1.6)$$

где $T_{кр}$ – критическая температура зоны горения, при которой происходит потухание, К;

$T_{пл}$ – температура пламени, К;

ΔT – значение температуры, при снижении на которое в зоне горения прекращаются реакции, К.

Из анализа выражения для массовой скорости выгорания при диффузионном горении предварительно перемешанных газов, которая возрастает с увеличением интенсивности подачи горючих компонентов в зону горения, в работе Я.Б. Зельдовича получена максимально возможная величина снижения температуры пламени (до момента срыва пламени):

$$\Delta T_{ad} = \frac{3R \cdot T_{ad}^2}{E}, \quad (1.7)$$

где R – универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(мольК);

T_{ad} – адиабатическая температура пламени, 2300 К;

E – энергия активации, 125000 кДж/моль.

В соответствии с указанной теорией критическая температура в зоне горения составляет около 1200...1300 К [3, 4].

Нарушение теплового равновесия в зоне химических реакций горения можно осуществить либо снижением интенсивности тепловыделения в зоне реакции, ниже некоторого предельного значения, при котором невозможно самопроизвольное непрерывное продолжение реакции горения, либо повышением интенсивности теплоотвода, либо одновременно снижением интенсивности тепловыделения и повышением интенсивности теплоотвода до тех пор, пока температура в зоне химических реакций не снизится до температуры потухания. Абдурагимов И.М. приводит описание и иллюстрацию теории прекращения горения при различных изменениях теплоотвода и теплоприхода [4].

Снижение температуры в зоне горения до температуры потухания можно добиться и при меньших интенсивностях теплоотвода от пламени. График зависимости q_1 и q_2 от температуры согласно представлениям Абдурагимова И.М [4] приведен на рис. 1.2. Кривая $q'_1 = f(T)$ идет правее и ниже, чем $q = f(T)$, которая была бы касательной к функции $q'_2 = f(T)$, если бы интенсивность тепловыделения не снижалась. Из графика (рис. 1.2) видно, что тушение пламени в этом случае возможно при менее интенсивном теплоотводе. Кривая $q'_2 = f(T)$ идет правее и ниже кривой $q''_2 = f(T)$, а также при более высокой температуре окружающей среды ($> T'_П$). Температура потухания не является строго постоянной

величиной, а зависит от соотношения, вида и взаиморасположения кривых $q_1 = f(T)$ и $q_2 = f(T)$, т.е. от законов изменения интенсивности тепловыделения и теплоотвода. Температура потухания $T_{п}=1000^{\circ}\text{C}$ выше температуры самовоспламенения (явление гистерезисного характера процессов воспламенения и потухания).

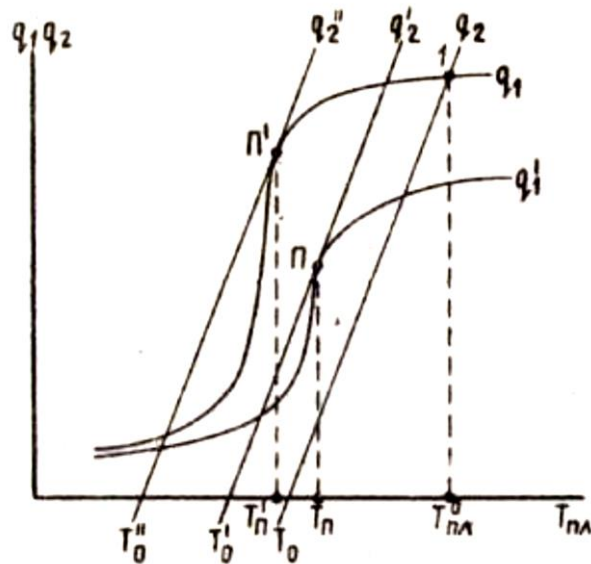


Рисунок 1.2 – Изменение скорости выделения и отвода тепла в зоне реакции в зависимости от температуры (уменьшение скорости тепловыделения)

График (рис. 1.3), показывающий характер изменения температуры при возникновении и подавлении горения, иллюстрирующих различные температурные границы процессов, приводится в работах [5, 6].

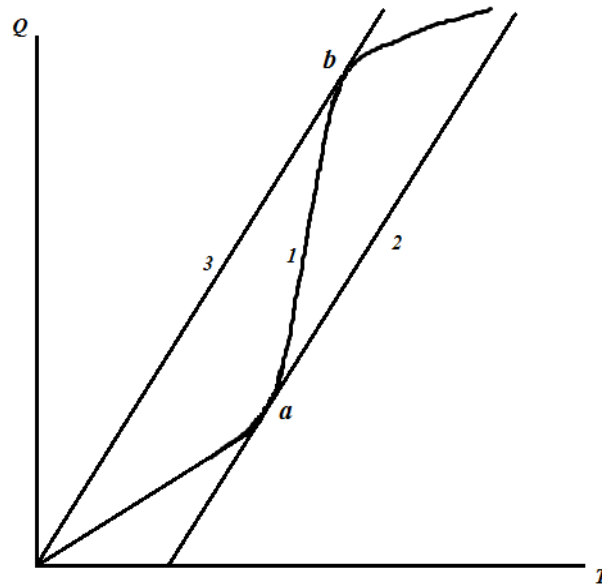


Рисунок 1.3 – Характер изменения температуры: соотношение между теплоприходом (1) и теплотерями при самовоспламенении (2) и пожаротушении (3); точка «а» соответствует температуре самовоспламенения T_{cv} ; точка «b» - температуре потухания T_{nom} [5]

Таким образом, согласно тепловой теории потухания пламени задача сводится к снижению температуры в зоне химических реакций до температуры потухания путем нарушения теплового равновесия в зоне горения.

1.2 Огнетушащие порошки

В настоящее время для тушения пожаров на предприятиях нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности и автотранспорте в подавляющем большинстве в первичных средствах пожаротушения и модульных системах применяют огнетушащие порошки. По своему назначению они условно делятся на составы общего и специального назначения.

Порошковые составы общего назначения – для тушения пожаров класса АВСЕ (согласно зарубежной и российской классификации), это соответствует пожарам: А – твердых горючих веществ и материалов, В – горючих жидкостей, С – горючих газов, Е – электроустановок, находящихся под напряжением. Порошковые составы

специального назначения применяются для тушения пожаров класса D, связанных с горением легких и щелочных металлов и их сплавов (т.е. там, где неприменима вода и все виды огнетушащих составов на водной основе).

Огнетушащие порошки представляют собой мелко измельченные минеральные соли с различными добавками, увеличивающими текучесть и препятствующими слеживанию и комкованию.

Порошки обладают рядом преимущественных свойств перед более распространенными огнетушащими средствами, такими как вода, пена и газы.

К преимуществам огнетушащих порошковых составов относятся:

- высокая огнетушащая способность;
- быстрое действие;
- низкая стоимость;
- экологическая безопасность (отсутствие токсичных компонентов, низкая коррозионная активность, химическая инертность), так как основой порошков являются вещества, применяемые в качестве минеральных удобрений;
- наносят минимальный косвенный ущерб от пожара, причиненный помещению и находящемуся в нем имуществу, – огнетушащий порошок легко удаляется пылесосом;
- возможность применения в условиях низких температур, когда использование воды, пены и других средств неэффективно, экономически невыгодно или недопустимо;
- простота технологического процесса производства порошков;
- большое время сохранения огнетушащих свойств (более 5 лет) в системах подачи порошков (огнетушители, автоматические установки пожаротушения, модульные системы).

Недостатками огнетушащих порошков являются:

- низкая огнетушащая способность тлеющих материалов;
- неспособность препятствовать повторному воспламенению уже потушенного горючего от нагретых элементов оборудования или строительных конструкций;
- склонность к слеживанию.

Тушение пожара с помощью порошков применялось в глубокой древности (тушение песком и землей). Самые ранние упоминания о применении специальных твердых порошкообразных веществ для тушения пожаров относятся к XVIII в. Первые сведения об изобретении огнетушащих порошковых составов появились около 100 лет назад [7].

Тушение пожара можно обеспечить [8]:

- охлаждением очага горения ниже определенных температур;
- изоляцией очага горения от воздуха или снижением содержания кислорода в результате разбавления воздуха инертными газами;
- механическим срывом пламени сильными струями газа или воды;
- созданием условий огнепреграждения, т.е. таких, при которых пламя проходя через узкие каналы, теряет значительную часть тепловой энергии на стенках каналов;
- интенсивным торможением скорости химических реакций в пламени (ингибированием горения).

Любое огнетушащее средство обладает определенным преимущественным механизмом огнетушащего действия.

1.3 Механизм огнетушащего эффекта порошков

На протяжении многих лет изучения огнетушащих свойств порошков по настоящее время ученые не пришли к общему мнению о доминирующих механизмах подавления пламени порошками.

Тушение пожаров порошковыми составами в [8] и [9] объясняется действием следующих факторов:

- ингибированием химических реакций, обуславливающих развитие процесса горения, газообразными продуктами испарения и разложения порошков или гетерогенным обрывом цепей на поверхности порошков или продуктов их разложения;

- разбавлением горючей среды газообразными продуктами разложения порошка или непосредственно порошкового облака;
- охлаждением зоны горения в результате затрат тепла на нагрев частиц порошка, их частичное испарение и разложение в пламени;
- эффектом огнепреграждения, достигаемым при прохождении пламени через узкие каналы, по аналогии с сетчатыми, гравийными и подобными огнепреградителями;
- экранированием поверхности горючего материала;
- изолированием зоны горения.

Преобладающим эффектом, от которого в большей степени зависит огнетушащий эффект, многие ученые считают ингибирование реакции окисления при горении [8, 10, 11, 12, 13].

Одни специалисты [14] предполагают, что тушение пламени происходит за счет гомогенного ингибирования, которое происходит из-за взаимодействия с активными центрами газообразных частиц, возникающих при испарении и разложении огнетушащих порошковых составов. Вторая группа ученых [15, 16] утверждает, что тушение пламени происходит из-за гетерогенной рекомбинации радикалов и атомарных частиц на поверхности порошков. Еще ряд специалистов [17, 18] предполагает, что в процессе тушения пламени совершается как гомогенное, так и гетерогенное ингибирование.

Особенно тщательно воздействие гомогенного ингибирования на огнетушащий эффект порошковых составов изучали Россер В., Инами С. и Вайс Х. [14]. Исследовалось влияние разнообразных порошков с размером частиц менее 10 мкм (карбонаты, бикарбонаты и галогениды щелочных и щелочноземельных металлов) на скорость распространения пламени метано-воздушной смеси. Обнаружено, что применение самых эффективных солей (карбонатов и бикарбонатов калия и натрия) уменьшает скорость горения до минимальной величины при их концентрации менее 1 мг/см³. Указывают, что мелкодисперсные порошки при прохождении через пламя успевают нагреться до температуры плавления и испариться или до температуры разложения.

Краснянским М.Е. в ходе проведенных исследований было определено, что величина прогрева и испарения частицы порошка в пламени обусловлена диаметром частицы и скорости пламени, а в случае ее разложения зависит еще и от индивидуальной для данного вещества константы скорости разложения [19].

Молекулы порошкового ингибитора, превратившиеся в газовую фазу (в случае испарения) или их «осколки» (в случае разложения), вступая в прямые реакции с активными центрами пламени (H , O , OH , CH_3 и др.) или участвуя в них в качестве «третьей» частицы, могут замедлять процесс распространения горения в газовой смеси.

При нагревании и испарении солей типа хлористого калия в газовую фазу, помимо молекул KCl , поступают и продукты их термического распада – атомы калия и хлора. При разложении фосфорно-аммонийных солей – молекулы аммиака, продукты его деструкции и окисления – радикалы NH_2 , NH , оксид NO ; при очень высоких температурах (выше $800^{\circ}C$) и более глубокой деструкции – PO_2 ; при разложении $NaHCO_3$ – CO_2 . Возможные схемы реакции гомогенного ингибирования приведены на рис. 1.4 [19].

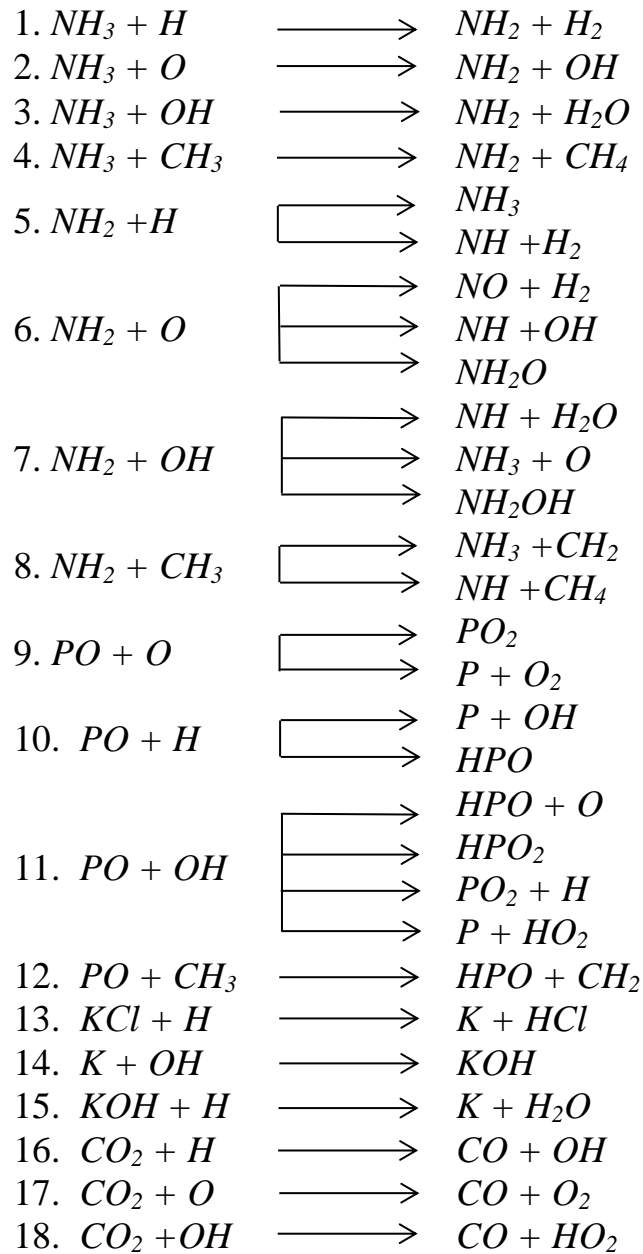


Рисунок 1.4 – Возможные схемы гомогенного ингибирования реакций горения

В работе Баратова А.Н. [16] получено яркое подтверждение гетерогенного механизма ингибирования. В процессе работы при тушении метано-воздушных смесей сравнивались огнетушащие концентрации разнообразных солей установленной дисперсности. Также проводилось сравнение констант скорости гетерогенной рекомбинации атомов кислорода и водорода на поверхности солей.

Механизм гетерогенного ингибирования химическими порошковыми составами в работе [15] объясняется представленной ниже схемой:



где: A – активная частица;

$П$ – твердая поверхность.

Чем легче ингибиторы отдают электрон радикалам, тем выше их эффективность. В связи с этим Dewitte M. высказал мнение [20], что в отличие от ковалентных соединений, соединения с ионной связью наиболее эффективны.

В последующем при проведении многих экспериментов данное предположение было подтверждено.

Возможные варианты взаимодействия АЦП (Y) с кристаллической поверхностью ингибитора ($П$) представлены на рис. 1.5.

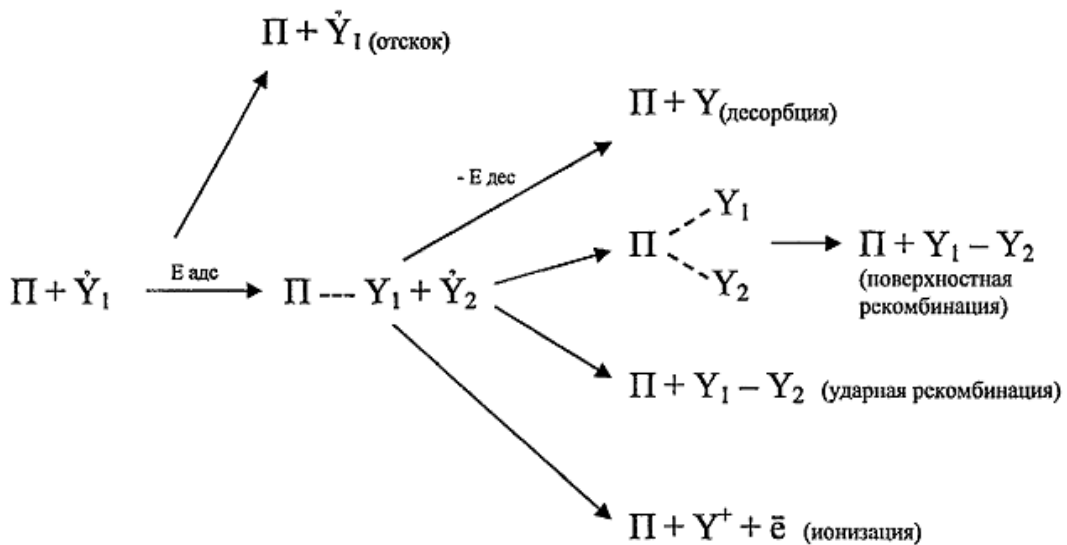


Рисунок 1.5 – Схемы гетерогенного ингибирования реакций горения

При проведении исследований в работе [21] по взаимодействию различных гетерогенных ингибиторов в процессе тушения пламенного горения смесями выявлено, что для различных комбинаций порошковых ингибиторов имеют место как взаимоусиление, так и взаимоослабление огнетушащей эффективности смеси. При этом для одних имеет место синергический эффект, для других – аддитивный эффект. Так, в смеси $KCl - (NH_4)_2SO_4$ огнетушащий эффект суммируется аддитивно,

для $KCl - NaHCO_3$ наблюдается эффект синергизма, а для $KCl - NH_4H_2PO_4$ имеет место антагонизм.

Значимость гомогенного и гетерогенного ингибирования в последующем была описана в работах [17, 18], предположено, что они могут протекать одновременно.

Соболев В. [22] допускает, что неорганические соли, имеющие в достаточном количестве дефекты кристаллической решётки и способные к полиморфным превращениям при температурах не выше 250–600⁰С, являются эффективными ингибиторами горения.

Исследование теплового взаимодействия частиц порошка с пламенем проведено в работах [23, 24, 25, 26]. Выполнив расчет испарения частиц огнетушащего порошка в пламени, авторы работы [24] сделали заключение о том, что частицы дисперсностью более 30 мкм при скорости пламени 0,1 м/с и более почти не испаряются. Однако при скорости пламени 0,3 м/с испаряется только 20% от массы частиц порошка дисперсностью меньше 10 мкм, но при скорости пламени менее 0,1 м/с они испаряются полностью. Подобные результаты получили авторы работы [23], проведя тщательный расчет для порошкового облака в пламени. Они пришли к выводам, что быстро прогреваются и испаряются частицы дисперсностью до 10 мкм, а частицы дисперсностью 100 мкм незначительно испаряются в пламени в связи с тем, что не успевают прогреться.

Результаты ряда работ [27, 28, 29, 30] приводят их авторов к выводам о том, что основным механизмом порошкового тушения пламени является не ингибирование, а охлаждение и разбавление (флегматизация) очага.

По мнению М.Е. Краснянского [19] имеющий место для порошкового тушения охлаждающий эффект не является эффектом охлаждения очага в целом, а является эффектом одновременного теплоотвода от множества реакционных микрозон в очаге, т.е. зон вокруг каждой частицы порошка. Автор полагает, что «В результате такого охлаждения падает скорость генерации АЦП, за счет чего и уменьшается теплоприход, а теплоотвод (естественный) остается неизменным (т.е. какого-либо существенного дополнительного отвода тепла от очага в целом за счет введения в него порошка нет). Такое «тепловое» ингибирование в пределах

реакционных микрон очага давно известно как эффект огнепреграждения... Реальный охлаждающий эффект порошкового облака составляет не более 10–20% тепла очага; при этом нагревание частицы происходит не только за счет конвекции и радиации, но и за счет «отъема» кинетической энергии налетающего АЦП (H, O) в акте гомогенного ингибирования» [19].

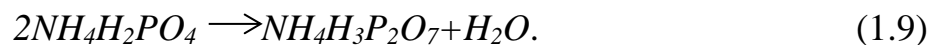
В статье [31] Абдурагимов И.М., описывая проведенные исследования по тушению газовых и газонефтяных фонтанов, предполагает, что превалирующим механизмом огнетушащего действия порошковых составов, скорее всего, является тепловой механизм, т.е. охлаждение одновременно всей зоны горения до температуры потухания (около 1000°C). Автор указывает, что: «эффект гасящей стенки (эффект «холодной» стенки), возможно, играет весьма существенную роль, потому, что в зависимости от вида и дисперсности порошка и режима его подачи критический зазор между частицами достигал 0,01–0,1 мм при «гасящем размере» сетки $d_{кр} \leq 1$ мм (или $a_{кр} \sim 1$ мм)».

В работе Б. Льюиса и Г. Эльбе [32] высказано предположение, «что при тушении порошками метано-воздушных смесей подавление пламени происходит при средних расстояниях между частицами в облаке пыли, соизмеримых с шириной пламени, это приводит к мысли о возможности использования огнепреграждающего эффекта пространственной решетки твердых частиц» [33].

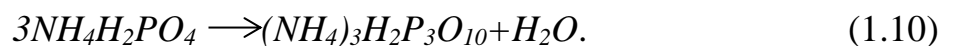
Краснянский М.Е. отмечает: «эффект огнепреграждения состоит из энергоотвода химической энергии из реакционной зоны и мгновенной (и одновременной!) по всему объему порошкового облака «тепловой» гибели АЦП на поверхности порошковых частиц». Также нет большого значения в свойствах материала порошка. В случае, если поверхность порошка к тому же химически активна, к «тепловой» теории гибели активных центров пламени присоединяется гетерогенное ингибирование (химическая гетерогенная дезактивация). В сущности, так называемый эффект огнепреграждения есть самое обыкновенное гетерогенное ингибирование, где та же медная сетка (или порошковое облако) служит «третьей частицей», без которой рекомбинация АЦП по реакции $H+H \rightarrow H_2$ невозможна» [19].

Краснянский М.Е. указывает, что «так называемый «эффект огнепреграждения» как отдельный самостоятельный эффект огнетушения не существует. Под ним имеется в виду тривиальное гетерогенное ингибирование, в котором медная сетка, кольца или порошковое облако играют роль «третьей частицы», необходимой для аккомодации энергии налетающей частицы АЦП, без чего реакция рекомбинации типа $H+H \rightarrow H_2$ невозможна. При этом энергия АЦП очень мала (десятки или сотни эВ) в сравнении с массой сетки или порошка и не может привести к заметному нагреву «стенки», а охлаждение очага достигается не за счет увеличения теплоотвода, а за счет резкого уменьшения теплоприхода вследствие мгновенной гетерогенной «тепловой» гибели большого количества АЦП одновременно по всему объему очага и прерывания цепных реакций горения» [19].

В работе [19] показано, что для прекращения или затруднения доступа кислорода к очагу горения при тушении твердых углеродсодержащих материалов (или металлов типа магниевых сплавов) нужно использовать огнетушащие порошковые составы на фосфорноаммонийной основе. Некоторые типы огнетушащих порошков при попадании на горящую или тлеющую поверхность создают на ней пленку плава, которая изолирует поверхность материала от доступа кислорода воздуха, и препятствует дальнейшему горению. Процесс образования вязкой пленки протекает следующим образом. Диамонийфосфат, содержащийся в аммофосе, при нагревании до $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ почти весь превращается в моноаммонийфосфат. Далее происходит появление пирофосфата аммония из моноаммонийфосфата, которое начинается при $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ [34]:



Появление в расплаве триполифосфата аммония начинается с $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ при полимеризации мономерных фосфатов:



Последующая полимеризация низших фосфатов до соединений типа $NH_4H_6P_5O_{16}$ протекает при повышении температуры до $440\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше. При этом может происходить разложение фосфатов с выделением P_2O_5 . Данные соединения

создают вязкие пленки на тлеющей поверхности, которые препятствуют проникновению кислорода воздуха.

1.4 Средства подачи огнетушащих порошков

Огнетушащая эффективность порошковых составов во многом зависит от средств и способа их подачи в очаг пожара [35].

В настоящее время в России используются различные виды средств порошкового пожаротушения, такие как ручные и передвижные огнетушители, пожарные автомобили, стационарные и модульные установки.

Ручные порошковые огнетушители занимают значительный удельный вес по сравнению с жидкостными, пенными, хладоновыми и углекислотными огнетушителями не только в России, но и за рубежом [36, 37, 38]. В общем объеме их выпуска на долю порошковых приходится до 80–85%. Порошковые огнетушители используются в качестве первичного средства тушения загорания пожаров класса А (твердых веществ), В (жидких веществ), С (газообразных веществ), D (металлов) и электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В – класс Е.

В России и за рубежом выпускают порошковые огнетушители различных модификаций и типоразмеров. Подробный анализ типоразмеров отечественных и зарубежных огнетушителей приведен в работе [39].

Порошковые огнетушители по типу образования давления в корпусе делятся на следующие виды:

- с газогенерирующим устройством, в которых рабочий газ образуется при запуске газогенератора непосредственно перед использованием;
- с баллоном высокого давления, в котором хранится рабочий газ;
- закачные, в которых рабочий газ хранится в корпусе совместно с порошком.

По внешнему виду огнетушители практически не отличаются (рис. 1.6). Огнетушители с баллоном высокого давления не имеют манометра.



Рисунок 1.6 – Переносные порошковые огнетушители

У огнетушителей, внутри корпуса которых имеется встроенный источник давления (газовый баллон, газогенератор), как правило, запорно-пусковые устройства сложнее, чем у огнетушителей закачного типа. Такие устройства являются довольно сложными в эксплуатации (необходимо перезаряжать огнетушитель после каждого контроля состояния заряда и массы газа в баллончике). Избыточное давление в корпусе таких огнетушителей в режиме ожидания отсутствует. Для того чтобы начать тушение пожара таким огнетушителем, нужно привести в действие источник давления.

Огнетушители закачного типа оборудованы запорно-пусковыми устройствами, позволяющими осуществлять простую подачу и прекращение порошка одной рукой, не прилагая усилий. По сравнению с огнетушителями со встроенным источником давления у огнетушителей закачного типа манометр, показывающий исправное их состояние, установлен в верхней части огнетушителя. Такие устройства имеют элементарную конструкцию и легче в эксплуатации, но при этом их корпус и запорно-пусковое устройство должны иметь высокую герметичность.

Ручные порошковые огнетушители общего назначения заряжают порошками категории ВСЕ и АВСЕ. Порошковые составы категории ABCDE применяются для

тушения пожаров класса D, при этом огнетушители оборудуют специальным пистолетом с удлинителем и успокоителем для уменьшения силы струи порошка.

К *передвижным огнетушителям* (рис. 1.7) относятся устройства с баллонами емкостью 50–250 л на одноосных тележках, укомплектованные двумя рукавами со стволами-пистолетами, расход которых составляет 2,5 кг/с.



Рисунок 1.7 – Передвижной порошковый огнетушитель

Заправку передвижных огнетушителей могут осуществлять порошком общего назначения категории ВСЕ и АВСЕ. Для тушения пожаров класса D применяют порошки специального назначения категории ABCDE, при этом заменяют стволы-пистолеты.

Характеристики переносных и передвижных порошковых огнетушителей представлены в таблице 1.3 [40].

Таблица 1.3 – Технические характеристики порошковых огнетушителей

Марка огнетушителя*	Кол-во ОТВ кг	Огнетушащая способность**	Рабочее давление***, МПа (кгс/см ²)	Время подачи ОТВ, с, не менее	Длина выброса, м	Габаритные размеры НхLxB, мм	Масса, кг	Вместимость баллона для газа, л
Переносные								
ОП-1 (б)	0,85	1А, 13В	1,2 (12)	5	3	137x100	2,2	0,06
ОП-1 (з)	1,0	1А, 13В	1,6 (16)	6	3	316x135	2,2	–
ОП-2 (з)	2,0	1А, 21В	1,6 (16)	6	3	325x150	3,7	–
ОП-3 (з)	3,0	2А, 34В	1,6 (16)	8	3	428x150	5,2	–
ОП-5 (з)	5,0	2А, 55В	1,6 (16)	10	3,5	450x320	8,2	–
ОП-5 (б)	5,0	2А, 55В	1,2 (12)	10	3,5	450x320	9	0,175
ОП-10 (з)	10,0	4А, 144 В	1,6 (16)	13	4,5	628x350	16	–
ОП-10 (б)	10,0	4А, 144 В	1,2 (12)	13	4,5	628x350	16	0,350
Передвижные								
ОП-50 (б)	42,5	10А, 233В	1,2 (12)	25	6	1020x460 x480	100	1,5
ОП-50 (з)	42,5	10А, 233В	1,2 (12)	20	6	1020x460 x480	85	–
ОП-100 (з)	85,0	15А, 233В-3	1,2 (12)	45	6	1300x700 x1000	200	–
ОП-100 (б)	90,2	15А, 233В-3	1,5 (15)	45	15	1170x630 x800	167	3
С газогенерирующим элементом								
ОП -6 (г)	5,0	2А, 55В	1,17±0,12	6	3,0	480x150	9	–
ОП-10 (г)	8,0	4А, 144В	(11,7±1) 1,17±0,12	10	4,5	730x150	13	–
Закачные специальные								
ОПА-2 (з)	2,0	2А, 21В	1,6 (16)	5	1-1,5	200x120	4	–
ОПА-3 (з)	3	2А, 34В	1,6 (16)	5	1-1,5	350x150	5,5	–
ОПА-4 (з)	4	2А, 55В	1,6 (16)	5	1-1,5	428x180	8	–
ОПА-6 (з)	6	3А, 89В	1,6 (16)	5	1-1,5	650x180	12	–
Универсальные								
ОПУ-5	4	2А, 55В	0,8 (8)	6	3	420x150	8,8	–
ОПУ-10	9	4А, 144В	0,8 (8)	9	3	420x210	15	–

* В скобках указан тип огнетушителя (з – закачной; б – с баллоном высокого давления; г – с газогенерирующим устройством).

** Способность тушения модельного очага пожара соответствующего класса по [41].

*** Рабочее давление приведено для температуры окружающего воздуха (20+5)⁰С.

Автомобили порошкового тушения. Оснащаются ПА порошкового тушения емкостью для хранения ОП, баллонами с газом или компрессорной установкой, лафетным и ручными стволами. Предназначены для проведения действий по тушению пожара, доставки к месту пожара личного состава, ПТВ и оборудования и [42].

Автомобили порошкового тушения особенно эффективны для тушения пожаров на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности, объектах газо- и нефтедобычи, а также на атомных электростанциях, электрических подстанциях и в аэропортах.

В зависимости от способа подготовки порошка к транспортированию установки порошкового тушения, используемые на ПА, разделяются на следующие типы [43]:

- с псевдосжижением порошка и непрерывной подачей сжатого газа в сосуд через пористый элемент (аэроднище);
- с псевдосжижением порошка и непрерывной подачей сжатого газа в сосуд через форсунки;
- с совместным хранением порошка и сжатого газа в сосуде (установки закачного типа).

Основные технические характеристики автомобилей порошкового тушения приведены в таблице 1.4 [44].

Таблица 1.4 – Тактико-технические характеристики автомобилей порошкового тушения

Показатели	АП-5000	АП-4000-50(43101)	АП-1000
Тип шасси	КамАЗ-53215	КамАЗ-43101	ЗИЛ-5301
Колесная формула	6×4	6×6	4×2
Мощность двигателя, кВт	176	176	80
Число мест боевого расчета	3	3	3
Масса вывозимого порошка, кг	5000	4000	1000
Расход порошка при работе лафетным стволом, кг/с	50	50	40
Дальность порошковой струи из лафетного ствола, м	50	50	35
Расход порошка при работе ручного ствола, кг/с	5	3,5	5
Рабочий газ	воздух	воздух	воздух
Число баллонов с газом, шт.	15	компрессор	6
Вместимость баллонов, л	50	–	50
Рабочее давление, МПа	1,2	1,0	0,8
Давление в баллонах, МПа	14,7	–	14,7
Полная масса, кг	18 700	14 500	6 600

Модульные установки порошкового пожаротушения. Модульная установка порошкового пожаротушения (рис. 1.8) – это установка пожаротушения, состоящая из одного или нескольких модулей, способных самостоятельно выполнять функцию пожаротушения, размещенных в защищаемом помещении или рядом с ним и объединенных единой системой обнаружения пожара и приведения в действие автоматически и дистанционно [45].

По времени действия (продолжительности подачи огнетушащего порошка) модули порошкового пожаротушения (МПП) подразделяют на:

- быстрого действия – импульсные (И);
- кратковременного действия (КД-1);
- кратковременного действия (КД-2).

По быстродействию модули порошкового пожаротушения подразделяются на четыре группы: Б-1, Б-2, Б-3, Б-4.



Рисунок 1.8 – Модуль порошкового пожаротушения

По способу хранения вытесняющего газа в корпусе модули порошкового пожаротушения подразделяются на:

- закачные (З);
- с газогенерирующим элементом (пиротехническим) элементом (ГЭ, ПЭ);
- с баллоном сжатого или сжиженного газа (БСГ).

В зависимости от марки заряженного огнетушащего порошка модули

порошкового тушения могут использоваться для подавления загораний одного или нескольких из следующих классов пожаров горючих веществ:

- твердых горючих веществ (А);
- жидких горючих веществ (В);
- газообразных горючих веществ (С);
- электрооборудования находящегося под напряжением (Е).

По способу организации подачи огнетушащего порошка модули подразделяются на два типа [46]:

- с разрушающимся, частично разрушающимся (с ослабленным сечением) корпусом (Р);
- с неразрушающимся корпусом (Н).

Все виды технических устройств доставки и подачи порошков при пожарах применяются при возникновении пожара на предприятиях нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности и автотранспорте. Наиболее часто используются огнетушители (переносные, передвижные) и модульные системы порошкового тушения. Порошковые автомобили используются очень редко.

1.5 Направления совершенствования огнетушащей способности огнетушащих порошков и способности локализовать развитие аварии разлива нефтепродуктов

Развитие аварий и пожаров, к примеру, на автозаправочных станциях (АЗС) и автозаправочных комплексах (АЗК) начинается с небольшого инцидента: разрыва шланга, отрыва заправочного пистолета колонки, разгерметизации коммуникаций с бензином и т. п. Для локализации аварии или загорания на территории АЗС имеются переносные и передвижные порошковые огнетушители и порошковые огнетушители на транспортных средствах, находящиеся на территории. Применение порошковых огнетушителей для ликвидации очага пожара в первые минуты его возникновения эффективно, о чем свидетельствуют многие события.

На территории АЗС, как правило, отсутствуют эффективные средства локализации аварий разлива жидкости, системы предотвращения воспламенения паровоздушной смеси испаряющегося бензина с поверхности разлившейся жидкости в начальный период аварии. Огнетушащий порошок и песок практически не обладают сорбционными свойствами по отношению к парам топлив и жидкостям. Огнетушащий порошок при попадании на жидкость, как правило, тонет и при повторном воспламенении не оказывает огнетушащего воздействия.

Обеспечение локализации в начальный период развития аварии и пожара «по эффекту домино» может быть достигнуто совершенствованием огнетушащих порошковых составов, так как единственное пожарно-техническое оборудование, имеющееся на АЗС, – это порошковый огнетушитель.

Высокая эффективность огнетушащих порошков связана с комплексным воздействием на зону горения как на теплоотвод, так и на теплоприход в зоне реакции. Происходит ингибирование зоны горения (преобладающий огнетушащий эффект), охлаждение, разбавление, огнепреграждение, изоляция и др.

Как отмечают авторы [19, 22], преобладающее ингибирующее воздействие на горение происходит в гомогенной фазе. При этом разлагаются в пламени частицы порошка дисперсностью менее 10 мкм. Температура, при которой происходит разложение огнетушащих порошков на основе аммофоса и сульфата аммония, составляет 200...300 °С.

При подаче порошка в зону горения происходит резкое снижение температуры за счет различных воздействий на горение (охлаждение, разбавление) и, главное, ингибирование при разложении частиц основных веществ порошка. Снижение температуры приводит и к уменьшению количества разлагающихся частиц порошка и снижению огнетушащего эффекта, что приводит к повторному воспламенению.

Прекращение горения происходит за счет нарушения теплового баланса реакции горения, т.е. при интенсивности теплопотерь, превышающей интенсивность тепловыделения:

$$Q_{\text{выдел.}} < Q_{\text{отв.}} \quad (1.11)$$

Интенсивность теплотерь ($Q_{отв.}$) определяется выражением [2]:

$$Q_{отв.} = Q_{луч.} + Q_{конв.} = \alpha F_{пл.}(T_{пл.} - T_0) + \varepsilon \sigma_0 F_{пл.}(T_{пл.}^{-4} - T_0^{-4}), \quad (1.12)$$

где $Q_{луч.}$ – теплотерь излучением, кДж/с;

$Q_{конв.}$ – теплотерь конвекцией, кДж/с;

α – коэффициент теплоотдачи, кДж/(м²с°К);

$F_{пл.}$ – площадь поверхности пламени (излучающей поверхности), м²;

$T_{пл.}$ – температура пламени, К;

T_0 – температура окружающей среды, К;

ε – коэффициент черноты излучающей поверхности;

σ_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $\sigma_0 = 5,8 \cdot 10^{-3}$ кДж/(м²сК⁴).

При тушении порошками за счет ингибирования одновременно оказывается воздействие на реакцию горения – на тепловыделение ($Q_{выд.}$), т.е.

$$Q_{выд.} = Q_n V k_0 C_г^v C_0^v \exp(-E/RT) - (Q_{инг} + Q_{сорб}), \quad (1.13)$$

где Q_n – низшая теплота сгорания, кДж/кг;

V – объем зоны реакции, м³;

k_0 – константа скорости реакции;

$C_г^v$ – концентрация горючего, %;

C_0^v – концентрация окислителя, %;

E – энергия активации реакции окисления, кДж/моль;

$Q_{инг}$ – снижение тепловыделения в зоне реакции при воздействии ингибиторов, кДж/с;

$Q_{сорб}$ – снижение тепловыделения в зоне реакции за счет снижения концентрации горючего вещества (сорбирование), кДж/с.

Обеспечить указанные выше условия возможно путем совершенствования огнетушащих порошковых составов, разработки и исследования свойств порошков с применением добавок, которые могут влиять на параметры прекращения горения.

1.6 Лабораторные установки и методы исследования огнетушащей способности порошков

Огнетушащая способность порошковых составов является их главной характеристикой. В настоящее время для определения огнетушащей способности порошков существует множество методов испытаний, которые проводят в лабораторных или натуральных условиях.

Лабораторные исследования в отличие от натуральных испытаний позволяют:

- выполнять исследования с минимальными расходами на их подготовку и проведение;
- получать результаты исследований с хорошей повторяемостью, так как при проведении исследований возможно создать одинаковые условия эксперимента.

Подробный обзор лабораторных установок и методов приведен в работе [47]. Согласно [47] определить огнетушащую способность порошковых составов можно используя метод Фридриха, Дессарта и Маларме, Дюфресса, Ли и Робертсона, Питерса. Методы разных авторов лабораторных исследований имеют свои преимущества и недостатки.

Методика, разработанная во ВНИИПО, 1982 г. [8].

Метод основан на установлении зависимости огнетушащей способности порошка от массовой скорости подачи (интенсивности). В процессе испытаний определяют залитую ЛВЖ или ГЖ площадь, которая может быть потушена единицей массы порошка, т.е. огнетушащую способность и массовую скорость подачи. Эксперимент по тушению с определенной массовой скоростью повторяют 5 раз и более. В качестве модельного очага горения применяют автомобильный бензин марки АИ-76, налитый в круглый противень 1 (рис. 1.9). Площадь противня составляет – 0,1 м², слой бензина – 7 мм. После свободного горения (25 сек) под углом 30° к горизонту, с расстояния 300 мм по горизонтали между передней кромкой противня и отверстием распылителя подают огнетушащий порошок. Предварительно на весах с точностью до 0,01 г взвешивают и засыпают в специальную емкость порцию порошка массой 200 г, далее осуществляют подачу

воздуха. Подачу порошка на тушение модельного очага начинают после достижения давления в редукторе 0.5 МПа, воздух начинает поступать в эжектор после включения электроклапана. В ходе исследований осуществляют смену насадков, что позволяет получить результаты экспериментов при разной массовой скорости подачи порошка. Время тушения модельного очага пожара в ходе исследований фиксируется секундомером. Взвешивая на весах в конце эксперимента остатки порошка в устройстве, находят количество порошкового состава, затраченного на тушение.

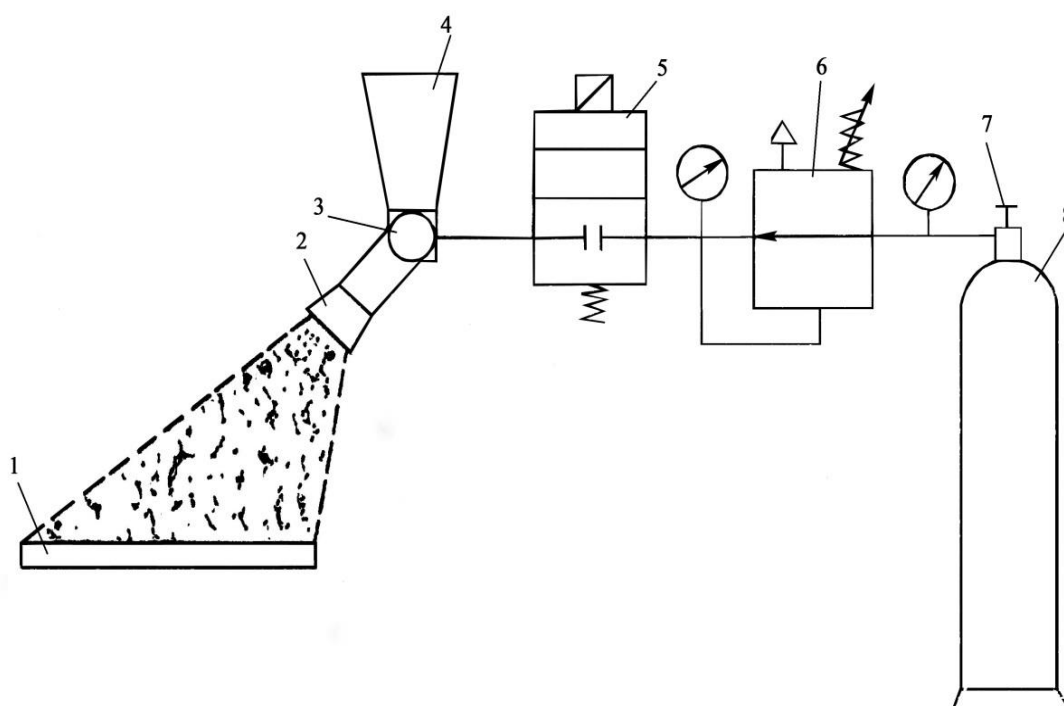


Рисунок 1.9 – Установка по определению огнетушащей способности порошков
(метод ВНИИПО)

1 – противень; 2 – сменный насадок; 3 – эжектор; 4 – емкость для порошка;
5 – электроклапан; 6 – редуктор; 7 – вентиль; 8 – баллон

Метод определения огнетушащей эффективности огнетушащих порошков, описанный М.Э. Атаманенко и др. в 1981 г. [48].

Испытания проводили на лабораторной установке из стекла с горелкой диаметром 10 мм (рис. 1.10). Порошок в пламя подавался потоком воздуха, одновременно идущим и на окисление горючего. За счет торможения порошкового

облака у среза горелки увеличивалось время его пребывания в объеме пламени. В результате значительно снизилась навеска порошка, необходимая для тушения. Последовательность операций следующая. Шлиф 3 устанавливается в положение, когда поток воздуха из сопла 2 движется вверх. Через окно 12 вносили навеску исследуемого порошка и окно закрывали. С помощью сосуда 10, соединенного с горелкой 7 гибким шлангом, регулировали необходимый уровень горючего. Кожух 9 снимали со шлифа 11 и жидкость зажигали посторонним источником. Вернув кожух на прежнее место, устанавливали требуемый расход воздуха по ротаметру 4. По шкале 8 определяли высоту пламени и после этого сопло 2 поворачивали на 180° . Таким образом, струю воздуха, идущего на окисление горючего, направляли на навеску порошка, которая уносилась в трубки 5 и 6, а затем в кожух 9. В серии экспериментов находили наименьшую массу порошка, при которой обеспечивалось тушение модельного очага пожара. Через стеклянный кожух 9 контролировали результат тушения. Время тушения составляло не более 1 с. Чтобы массу навески порошка пересчитать на объемную тушащую концентрацию, принимали, что вся порция порошка равномерно распределяется по объему кожуха, расположенного выше верхнего края горелки и имеющего высоту 10 см.

Недостатком этой методики является высокая нестабильность в повторяемости результатов испытаний. Это вызвано двумя обстоятельствами: тем, что поворот трехходового крана, обеспечивающего подачу огнетушащего порошка, осуществляется вручную; а также тем, что за объем пламени, в котором достигалось тушение, принимали объем всего кожуха, хотя пламя занимало только его часть, что также вызывает увеличение разброса в результатах.

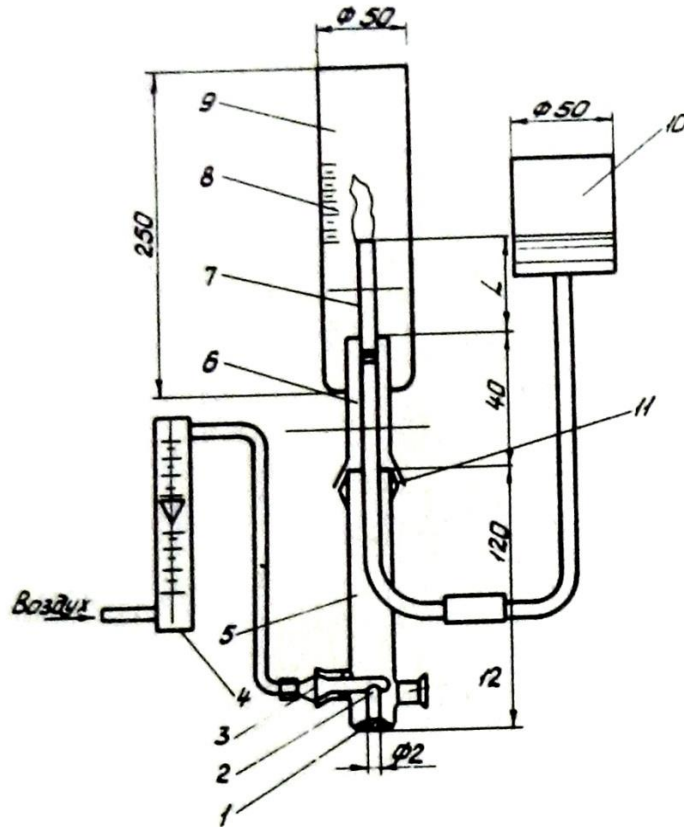


Рисунок 1.10 – Схема лабораторной установки

1 – навеска порошка; 2 – сопло; 3, 11 – шлифы; 4 – ротаметр;
 5, 6 – трубки для транспортировки порошка и воздуха; 7 – горелка; 8 – шкала для определения высоты пламени; 9 – стеклянный кожух; 10 – сосуд для регулировки уровня горючего в горелке; 12 – окно для загрузки порошка

Метод определения огнетушащей концентрации при подаче порошков в спутную струю, описанный Д.В. Бухтояровым [49, 50].

Примененная Д.В. Бухтояровым методика является доработанной методикой лабораторных исследований [48]. На рис. 1.11 показана схема лабораторной установки. При проведении исследований ведется покадровая видеосъемка.

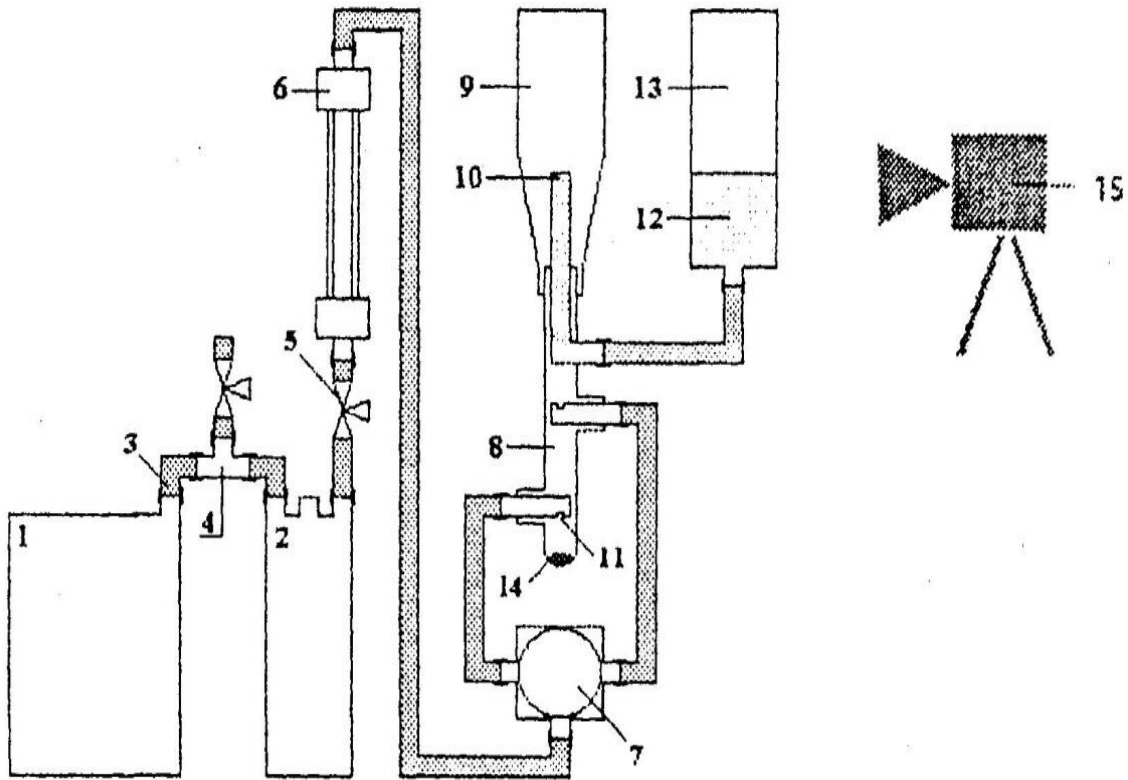


Рисунок 1.11 – Схема лабораторной установки для определения огнетушащей концентрации при подаче порошков в спутную струю

1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – шланг; 4 – тройник; 5 – вентиль;
 6 – ротаметр; 7 – электромагнитный пневмораспределитель; 8 – питатель;
 9 – стеклянный кожух; 10 – горелка; 11 – сопло; 12 – горючее; 13 – сосуд для регулировки уровня горючего в горелке; 14 – навеска порошка; 15 – видеокамера

В начале исследований на весах взвешивали необходимую массу порошка, полученную навеску размещали на штатное место 14 в лабораторной установке. Далее компрессором 1 нагнетали воздух в ресивер 2, расход воздуха регулировался ротаметром 6 и был равен 15 л/мин. Горючую жидкость в горелке 10 поджигали, после чего опускали стеклянный кожух 9, приводили в действие видеокамеру 15 и запускали электромагнитный пневмораспределитель 7. Определяли наиболее близкую к минимальной огнетушащей концентрации массу порошка при повторении в трех последовательных успешных опытах.

Д.В. Бухтояровым в работе [51, 52] представлена еще одна методика оценки огнетушащей концентрации порошковых составов. В исследованиях подача порошка на модельный очаг пожара осуществлялась сверху. На рис. 1.12 приведена схема лабораторной установки.

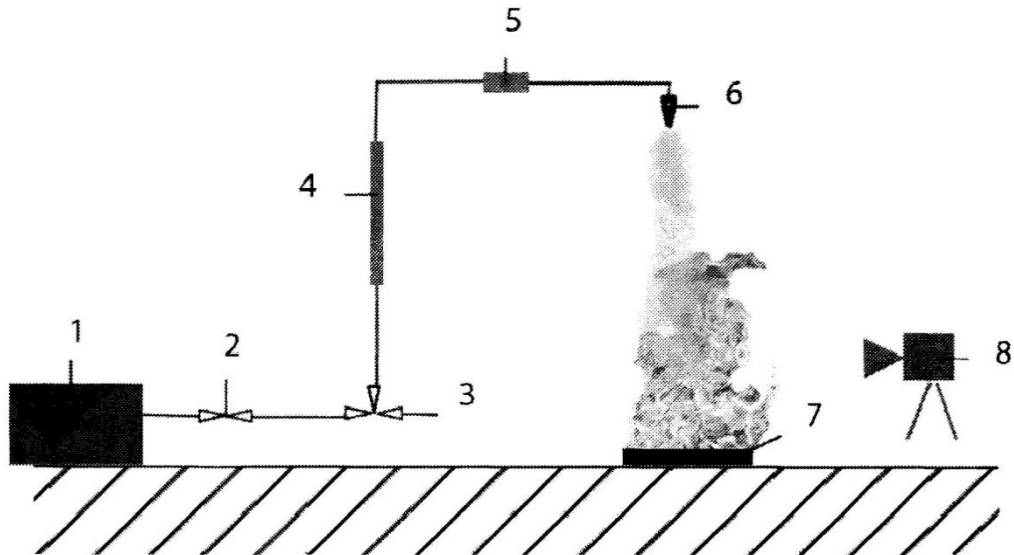


Рисунок 1.12 – Схема лабораторной установки по определению огнетушащей концентрации огнетушащих порошков при их подаче сверху

- 1 – воздухопроводка; 2 – газовый вентиль; 3 – газовый трехходовой электроклапан;
 4 – ротаметр; 5 – металлическая кювета; 6 – распылитель порошка;
 7 – металлический противень; 8 – высокоскоростная видеокамера

Исследования проводили следующим образом. В металлическую кювету 5 помещали требуемое количество порошкового состава. Подготавливали модельный очаг пожара горючей жидкости, 10 см³ которой наливали в круглый металлический противень 7 с высотой борта 10 мм и диаметром 70 мм. Затем горючую жидкость поджигали. После свободного горения (30 с) от воздухопроводки 1 через газовый трехходовой электроклапан 3 подавали воздух в металлическую кювету 5, а далее смесь порошка и воздуха через распылитель 6 поступала на модельный очаг пожара 7. С помощью газового вентиля 2 и ротаметра 4 изменяли расход воздуха.

Тушение модельного очага снимали на высокоскоростную видеокамеру. По видеозаписи находили высоту пламени, время выпуска порошка и тушения.

Сабинин О.Ю. [54], используя лабораторную установку, определял огнетушащую способность порошковых составов. Схема лабораторной установки представлена на рис. 1.13. Подача порошка на модельный очаг пожара осуществлялась сверху. По газовому ротаметру регулировалась подача порошкового состава, которая составляла 4 л/мин, 7 л/мин и 10 л/мин. В виде легковоспламеняющейся жидкости в модельном очаге пожара применен октан. Его наливали в количестве 10 см^3 в противень диаметром 70 мм с высотой бортов 10 мм.

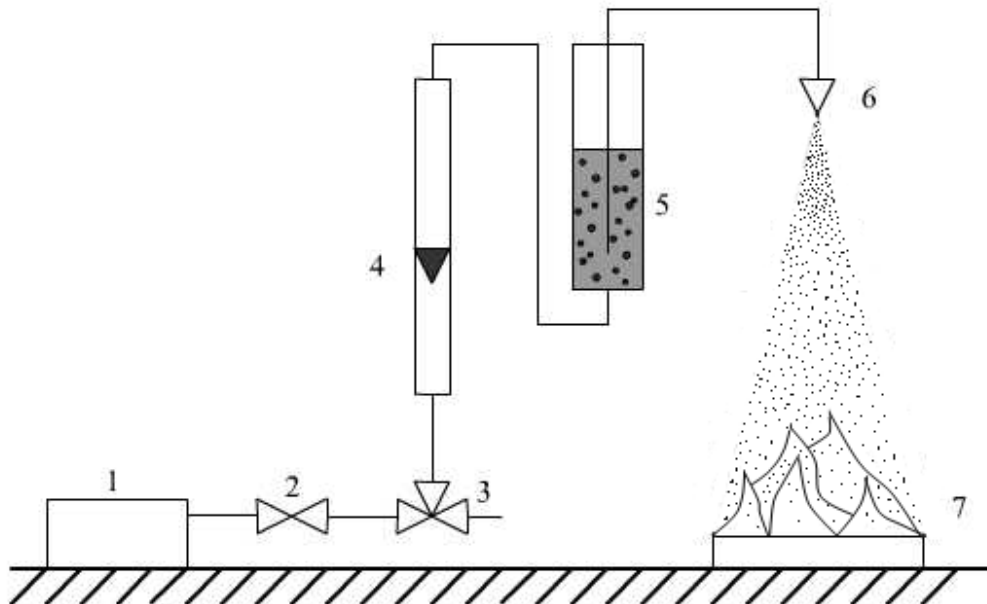


Рисунок 1.13 – Схема лабораторной установки по определению огнетушащей способности порошков

- 1 – воздухопроводка; 2 – газовый вентиль; 3 – газовый трехходовой электроклапан;
 4 – газовый ротаметр; 5 – стеклянный сосуд-огнетушитель;
 6 – распылитель порошка; 7 – модельный очаг пожара

Недостатки данного метода выражаются в его недостаточной точности. В ходе эксперимента с использованием данной установки количество огнетушащего порошка, подаваемого в зону горения, не контролируется с должной точностью. При исследовании огнетушащей способности порошковых составов необходимо

определить минимальное количество порошка, которое способно погасить модельный очаг пожара. Затем, основываясь на полученных данных, можно вычислить интенсивности подачи и массы различных порошков для защиты конкретных помещений автоматическими или модульными системами.

В Академии ГПС МЧС России, г. Москва, создан стенд для проведения испытаний огнетушащих порошков [55], схема приведена на рис. 1.14.

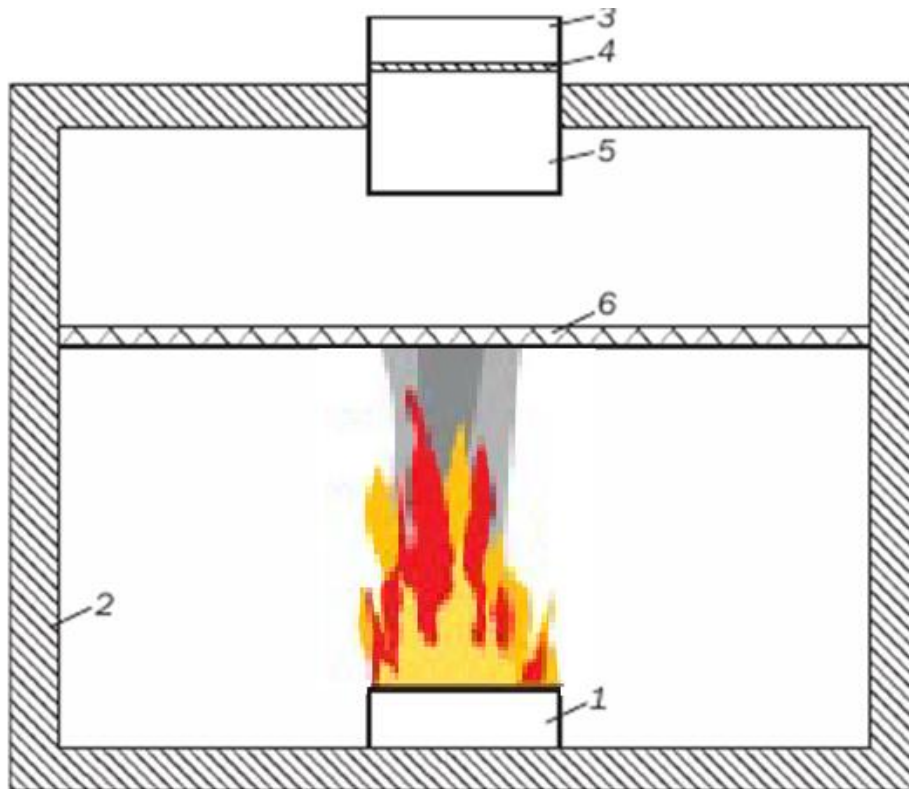


Рисунок 1.14 – Стенд для проведения испытаний огнетушащих порошков
 1 – круглый противень; 2 – корпус; 3 – воронка с огнетушащим порошком;
 4 – дозатор; 5 – направляющий элемент; 6 – рассеивающая сетка

Данный стенд обеспечивает равномерную подачу в модельный очаг пожара порошкового состава нужной дисперсности, при этом исключается воздействие окружающей среды (ветра).

Исследования проводили следующим образом. В воронку для огнетушащего порошка 3 засыпали 0,66 г порошка. Далее закрепляли рассеивающую сетку 6 на необходимую высоту. В виде легковоспламеняющейся жидкости в модельном очаге

пожара использовали бензин марки АИ-92. Его наливали в противень 1, создавая высоту слоя 20 ± 1 . Осуществляли поджог бензина и давали ему свободно гореть в течение 60 с. При помощи дозатора 4 через направляющий элемент 5 и рассеивающую сетку 6 производили подачу порошкового состава на тушение модельного очага горения. Модельный очаг считался потушенным, если в двух из трех экспериментов пламя угасало [55].

При проведении обзора методов лабораторных исследований установлено, что авторами исследований не проводились опыты по сравнительной оценке порошков и порошковых смесей, принципиальные схемы установок и методики проведения испытаний схожи, различия между ними наблюдаются лишь в отдельно взятых узлах.

Рассмотренные лабораторные установки метода Питерса, ВНИИПО, О.Ю. Сабина имеют большие погрешности в определении необходимого количества огнетушащего порошка для тушения модельного очага горения, так как прекращение подачи порошка при испытаниях осуществляется по визуальному определению прекращения горения, подача порошка отключается вручную.

1.7 Выводы по первой главе

Основываясь на анализе специальной литературы, диссертационных работ по вопросам порошкового пожаротушения и обобщая изложенное, отметим:

1. Согласно тепловой теории потухания пламени задача сводится к снижению температуры в зоне химических реакций до температуры потухания путем нарушения теплового равновесия в зоне горения.

2. Недостатками огнетушащих порошков являются:

- низкая огнетушащая способность тлеющих материалов;
- неспособность препятствовать повторному воспламенению уже потушенного горючего от нагретых элементов оборудования или строительных конструкций;
- склонность к слеживанию.

3. Тушение пожара можно обеспечить:

- охлаждением очага горения ниже определенных температур;
- изоляцией очага горения от воздуха или снижением содержания кислорода в результате разбавления воздуха инертными газами;
- механическим срывом пламени сильными струями газа или воды;
- созданием условий огнепреграждения, т.е. таких, при которых пламя, проходя через узкие каналы, теряет значительную часть тепловой энергии на стенках каналов;
- интенсивным торможением скорости химических реакций в пламени (ингибированием горения).

4. Преобладающим эффектом, от которого в большей степени зависит огнетушащий эффект, многие ученые считают ингибирование реакции окисления при горении.

5. Устранение указанных недостатков и повышение огнетушащей эффективности применяемых порошковых составов с использованием огнетушителей может быть достигнуто следующими путями:

- разработкой новых видов огнетушащих порошков;
- введением добавок в огнетушащие порошки, повышающих огнетушащую способность;
- введением добавок в огнетушащие порошки для придания им новых свойств, способствующих эффективности тушения горения и локализации аварии;
- разработкой составов огнетушащих порошков, улучшающих эксплуатационные свойства и снижающих стоимость.

6. Проанализировав существующие методы лабораторных исследований, отмечаем, что существующие лабораторные установки имеют значительные погрешности в определении огнетушащей эффективности порошкового состава для тушения модельного очага пожара. Ряд установок не позволяет контролировать постоянство параметров проведения экспериментов.

7. Рассматривая огнетушащие порошковые составы в качестве объекта исследования диссертационной работы, определяем следующие задачи:

- на основе анализа научных работ обосновать перспективные направления повышения огнетушащей эффективности порошковых составов;
- оценить влияние различных факторов на огнетушащую способность порошков;
- разработать методики и лабораторную установку для сравнительной оценки огнетушащей способности порошков с добавками;
- разработать новые составы огнетушащих порошков многоцелевого применения и двойного назначения;
- провести экспериментальные исследования по сравнительной оценке огнетушащей способности порошковых составов двойного назначения (тушение пожара и локализации аварии);
- провести оценку огнетушащей способности порошковых составов с новой гидрофобизирующей добавкой на основе торфяного сырья;
- разработать новые составы огнетушащих порошков многоцелевого применения и двойного назначения.
- определить оптимальные концентрации различных видов добавок.

ГЛАВА 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ Порошковых составов

2.1 Лабораторная установка для исследования огнетушащей способности порошковых составов

Научное предположение об эффективности применения добавок в огнетушащие порошки основывается на механизмах прекращения горения порошками.

Применение капсулированных хладонов для повышения огнетушащей эффективности основано на ингибирующем эффекте хладонов (гомогенное ингибирование) при более низких температурах в области горения, при которых частицы огнетушащего порошка не разлагаются и не оказывают ингибирующего воздействия на зону реакции. Частицы порошка разрушаются при температуре 200...300°C, а капсулы с хладоном разрушаются при нагреве до температуры 120...140 °C. Кроме того, при повторном воспламенении от высоконагретых частей конструкций или аппаратов неразрушенные капсулы под действием температуры будут разрушаться и препятствовать развитию горения. Наиболее эффективны такие огнетушащие составы при тушении волокнистых материалов (тканей, утеплителей и т.п.).

Использование сорбентов в качестве добавок в огнетушащие порошки придает универсальность порошкам для тушения горения и локализации аварии (предотвращение образования взрывоопасной паровоздушной смеси над поверхностью разлившейся жидкости). Кроме того, при тушении горения порошки наиболее эффективны при нагреве частиц до температуры не менее 200...300°C, при которой разлагаются частицы диаметром 10 мкм и менее и продукты разложения ингибируют горение. Снижение температуры в зоне реакции приводит к уменьшению ингибирующего эффекта. Преобладание теплоотдачей над тепловыделением становится неустойчивым. Применение сорбентов приведет к

снижению концентрации горючих паров (газов) за счет сорбции, что окажет влияние на эффект тушения.

Указанные предположения подтверждены проведенными лабораторными исследованиями, полигонными и промышленными испытаниями огнетушащих порошковых составов [58, 59].

Для сравнительной оценки огнетушащей способности порошков с различными добавками и для определения огнетушащей интенсивности подачи порошков на кафедре пожарной безопасности объектов защиты Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России нами разработана лабораторная установка и методика проведения исследований [60, 61, 62]. Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рис. 2.1, фото установки – на рис. 2.2.

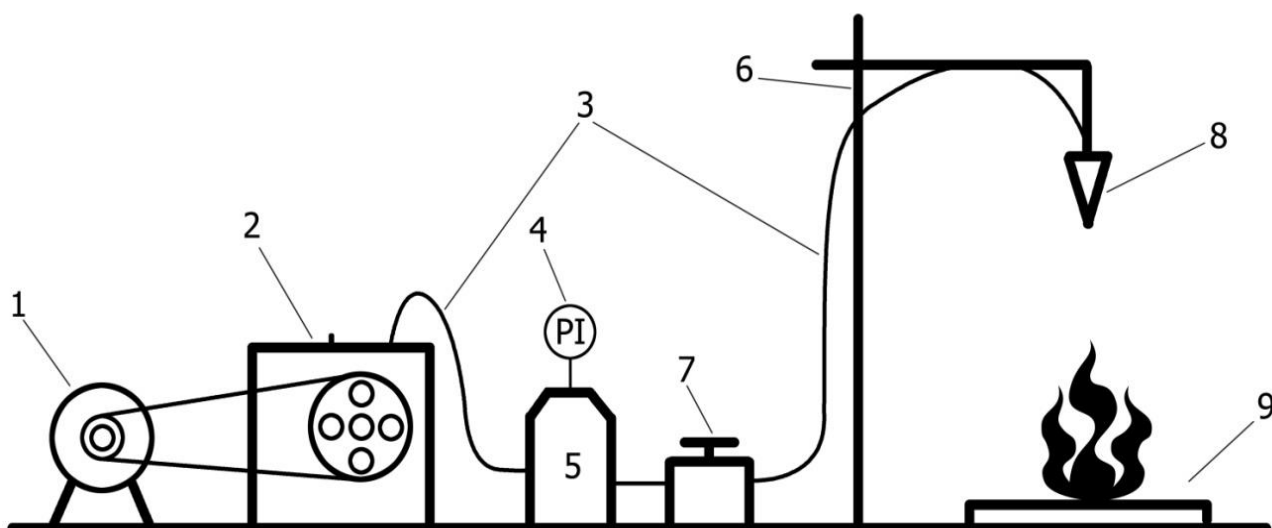


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема лабораторной установки для исследования огнетушащей способности порошковых составов

1 – электродвигатель, 2 – компрессор, 3 – шланги высокого давления, 4 – манометр,
5 – промежуточная ёмкость, 6 – штатив, 7 – электромагнитный клапан,
8 – устройство для подачи порошка, 9 – модельный очаг



Рисунок 2.2 – Общий вид лабораторной установки для исследования огнетушащей способности порошков

Порядок применения установки: в устройство для подачи порошка (8) засыпается определенное количество огнетушащего порошка (конструкция устройства приведена на рис. 2.3), масса порошка взвешивается на электронных весах марки Mettler Toledo AL54-IC [63] с точностью 0,01 г, подача (распыление) порошка в очаг горения осуществляется сжатым воздухом из промежуточной емкости (5), который поступает в устройство для подачи порошка (8) через электромагнитный клапан (7). Избыточное давление воздуха в емкости (5) создается компрессором (2), привод компрессора осуществляется электродвигателем (1). Воздух подается по шлангам высокого давления (3). Давление в промежуточной ёмкости (5) контролируется по манометру (4). При открытии электромагнитного клапана доза огнетушащего порошка, которая содержится в резервуаре устройства для подачи порошка (8), переходит во взвешенное состояние и выбрасывается на модельный очаг горения (9). Высота устройства для подачи порошка относительно модельного очага может регулироваться с помощью штатива (6).

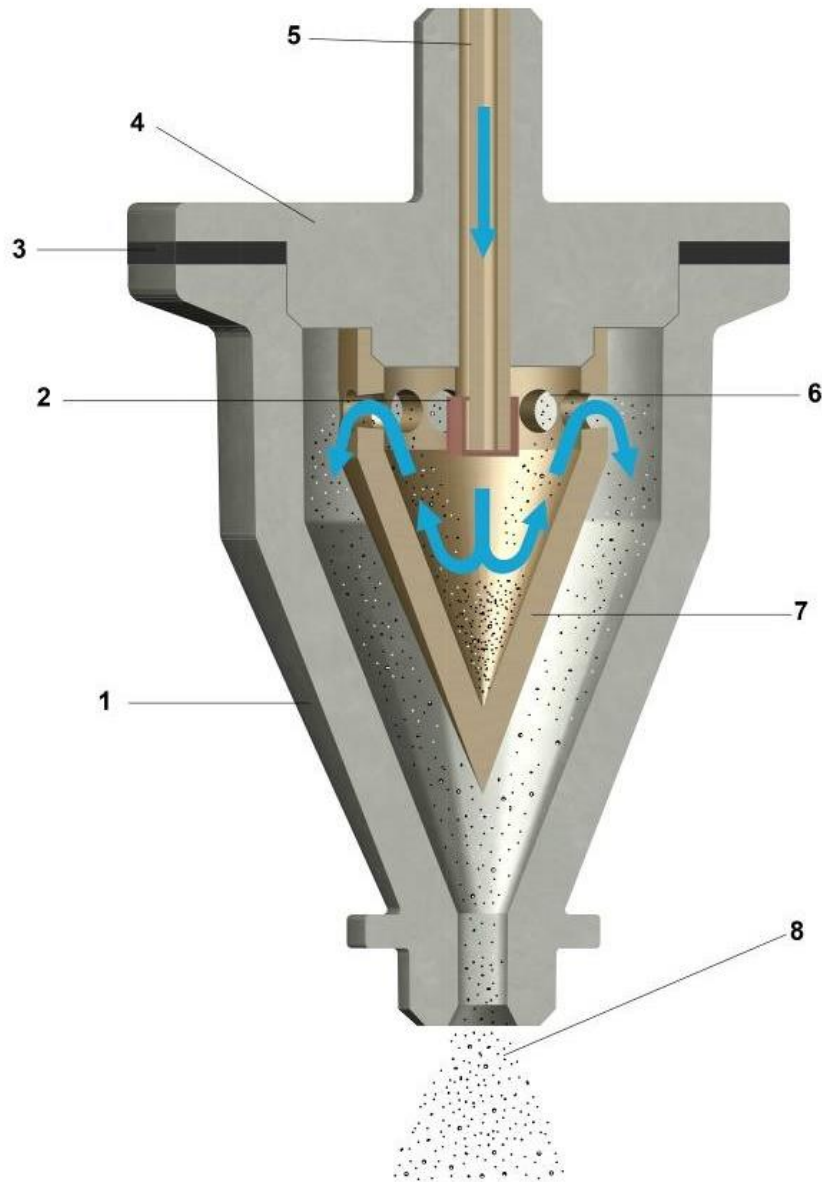



Рисунок 2.3 – Конструкция устройства для подачи порошка

1 – корпус; 2 – насадка; 3 – прокладка; 4 – основание; 5 – трубка; 6 – выходное отверстие для порошка; 7 – резервуар; 8 – газопорошковая смесь;

 – движение сжатого воздуха

Преимущества разработанной лабораторной установки следующие:

1. Изменяемый угол атаки газопорошковой струи позволяет проводить эксперимент, в ходе которого может моделироваться тушение огнетушителем, либо с помощью модулей порошкового пожаротушения.

2. Возможность выбора модельного очага пожара, позволяющего проводить эксперименты как с жидкими, так и с твердыми горючими нагрузками. Площадь

модельного очага с жидким топливом может устанавливаться путем изменения диаметра ограничивающего кольца. Размеры модельного очага с твердой горючей нагрузкой выбираются путем изменения площади, высоты штабеля, размера элементов загрузки.

3. Возможность подачи в зону горения строго контролируемого количества огнетушащего порошка. Это позволяет более точно провести сравнительную оценку огнетушащей способности порошковых составов для прекращения горения. Данное преимущество установки обеспечивается за счет особой конструкции устройства для подачи порошка, показанного на рис. 2.3.

4. Возможность изменения расхода воздуха, подаваемого на выброс огнетушащего порошка из устройства для подачи порошка, при этом изменяется интенсивность подачи.

5. Возможность изменения интенсивности подачи порошкового состава на тушение модельного очага пожара. Это достигается за счет смены насадок, имеющих определенный диаметр (рис. 2.3).

Применение устройства для подачи порошка в конструкции, приведенной на рис. 2.3, позволяет создавать распыленную струю с одинаковой концентрацией по сечению струи с постоянным углом распыления. Угол распыления струи порошков на лабораторной установке составляет $18...20^\circ$, рис. 2.4.

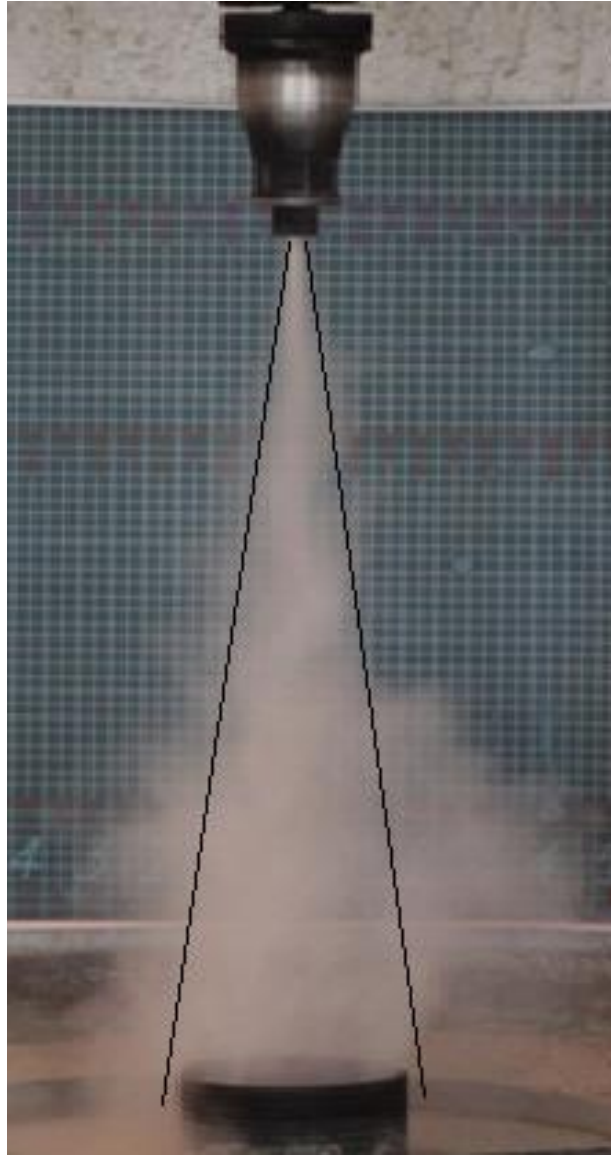


Рисунок 2.4 – Угол распыления порошковой струи на установке
(площадь зеркала жидкости 0,03 м²)

Для обеспечения полного выброса огнетушащего порошка из резервуара (7) экспериментальным способом определена длина трубки (5) с насадкой (2), которая выступает из основания устройства для подачи порошка (4) на 10 мм. Резервуар (7) с максимальной вместимостью огнетушащего порошка около 10 г в верхней части имеет 19 отверстий (6) диаметром 3 мм для выброса газопорошковой смеси.

В качестве исследуемых использовались огнетушащие порошковые составы на основе аммофоса и сульфата аммония с микрокапсулированным хладоном, с добавками сорбентов (добавок окисленного графита марки EG-350, шунгита, оксида

кремния), с добавками вспучивающихся веществ и с гидрофобизирующим веществом на основе торфяного сырья.

В исследованиях использованы модельные очаги пожара:

твёрдого горючего материала (древесина хвойных пород). Размер штабеля 80x80 мм из брусков сечением 5x5 мм в 8 слоев по 5 брусков, уложенных под углом в 90° [60, 61, 64, 65]. Общий вид модельного очага пожара из твёрдого горючего материала приведен на рис. 2.5;

горючей жидкости (бензин марки АИ-92). Площадь 0,005 м² и 0,025 м², объем жидкости – 20 мл. Модельный очаг пожара горючей жидкости приведен на рис. 2.6.



Рисунок 2.5 – Модельный очаг пожара из твёрдого горючего материала (древесина)



Рисунок 2.6 – Модельный очаг пожара горючей жидкости

Разработанная лабораторная установка отличается от применяемых ранее разными исследователями установок возможностью с более высокой точностью провести сравнительную оценку огнетушащей способности различных порошковых составов в сравнении с порошками, выпускаемыми промышленностью. Лабораторная установка позволяет оценить критическое значение интенсивности подачи порошков в зону горения, минимальное количество порошка, необходимого для тушения.

2.2 Методика проведения лабораторных исследований по определению огнетушащей способности порошковых составов

При исследовании огнетушащей способности порошковых составов определялось минимальное количество порошка, которое способно погасить модельный очаг пожара.

Огнетушащая способность порошковых составов оценивалась при исследованиях в сравнении с огнетушащим порошком, выпускаемым на производстве.

При исследованиях, для обеспечения точной воспроизводимости опытов, установлены следующие постоянные параметры лабораторной установки:

- высота размещения распыляющей головки от поверхности горючего материала модельного очага пожара 40 мм;

- начальное избыточное давление воздуха в промежуточной емкости 0,07 МПа;

- модельный очаг пожара из твердого горючего материала (древесина) в исследованиях принят размером штабеля 80x80 мм из брусков сечением 5x5 мм в 8 слоев по 5 брусков, уложенных под углом в 90°;

- модельный очаг пожара жидкости принимался площадью 0,005 м² и 0,025 м², в качестве горючей жидкости принят бензин АИ-92, объем – 20 мл.

Подготовка модельного очага горения:

пожар класса А1 (горение твердых веществ, сопровождаемое тлением) – в качестве горючего материала использовались 40 брусков из дерева хвойных пород длиной 80 мм и с квадратным сечением 5x5 мм. Влажность древесины около 6 %;

пожар класса В1 (горение жидких веществ, нерастворимых в воде) – в качестве горючей жидкости использовали бензин марки АИ-92. В поддон установки наливается вода до уровня покрытия зеркалом воды дна поддона. Устанавливая кольцо-ограничитель (в исследованиях площадь, ограничиваемая кольцом, принята, но при необходимости может изменяться), фиксировали площадь горения. Далее с

помощью мерника на водную поверхность внутри кольца заливается $20 \pm 0,1$ мл горючей жидкости (бензин АИ-92). Количество жидкости в испытаниях неизменно.

Диаметр выходного отверстия трубки, подающей воздух в резервуар для подачи порошка, изменяли с помощью насадка с нужным диаметром выходного отверстия (данная операция производилась в экспериментах для изменения интенсивности подачи огнетушащего порошка). В резервуар устройства для подачи порошка насыпается предварительно взвешенная порция порошка. Высота размещения распылителя порошка от модельного очага пожара до нижнего среза устройства для подачи порошка регулировалась таким образом, чтобы при запуске установки основание конуса струи, выходящей из устройства для подачи порошка (рис. 2.3), было равным диаметру ограничивающего кольца и составляло 0,35 м. Далее компрессором в промежуточную емкость нагнетается воздух до достижения избыточного давления 0,7 атм. Выбор такой величины, определенной экспериментально, обусловлен тем, что это минимальное давление, которое необходимо для выброса всей порции порошковой смеси из резервуара при запуске установки.

Далее следовал поджог горючего. Время свободного горения устанавливается от класса модельного очага. Для древесины время свободного горения принято 1 мин, а для бензина – 10 с (горение модельных очагов представлено на рис. 2.7, рис. 2.8). После стабилизации процесса горения с помощью электромагнитного клапана осуществляется подача воздуха в распыляющее устройство и производится пуск огнетушащего порошка. При срабатывании клапана воздух по шлангам высокого давления подается в резервуар устройства для подачи порошка. В момент попадания воздуха в камеру на порцию порошка воздействует гидравлический удар, в результате которого огнетушащий порошок переходит в псевдосжиженное состояние и под давлением выбрасывается в зону горения модельного очага пожара (рис. 2.9, рис. 2.10). После выброса порции порошка из устройства на очаг возможны два варианта развития процесса тушения. Во-первых, это прекращение горения (рис. 2.11, рис. 2.12). В этом случае считается, что масса порошка достаточна для тушения. Во-вторых, после рассеивания струи порошка горение

может не прекратиться либо возможно повторное воспламенение очага. В этом случае делается вывод, что массы порошка недостаточно для ликвидации горения.

По каждой навеске проводилось по 10 опытов. Принималось достижение эффекта тушения, если из 10 опытов в 8 достигалось прекращение горения.



Рисунок 2.7 – Свободное горение модельного очага с ЛВЖ

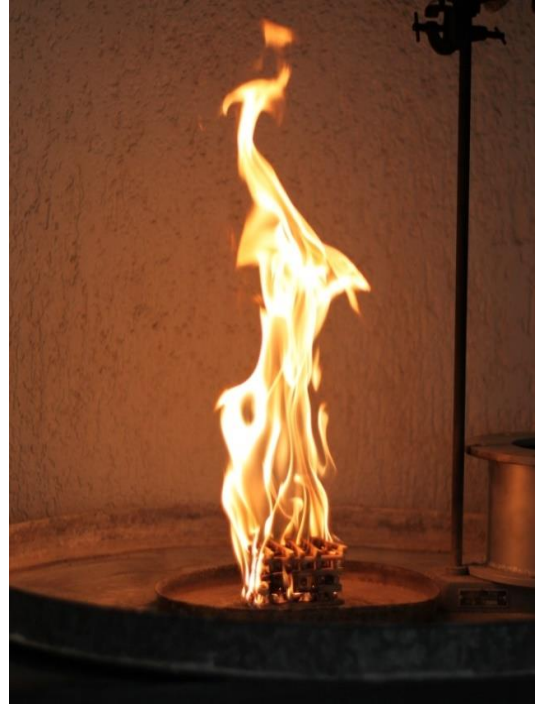


Рисунок 2.8 – Свободное горение модельного очага с ТГМ



Рисунок 2.9 – Тушение
модельного очага с ЛВЖ



Рисунок 2.10 – Тушение
модельного очага с ТГМ



Рисунок 2.11 – Потухание
модельного очага с ЛВЖ
в результате воздействия ОПС



Рисунок 2.12 – Потухание
модельного очага с ТГМ
в результате воздействия ОПС

Приведенная конструкция лабораторной установки и методика проведения опытов позволяют определять сравнительную огнетушащую эффективность порошковых составов с применением добавок в сравнении с промышленным порошком, а также определять минимальную огнетушащую интенсивность подачи порошка и другие параметры.

При проведении лабораторных исследований применены в виде добавок в огнетушащий порошок следующие вещества:

- Микрокапсулированный хладон, оказывающий ингибирующее воздействие (гомогенное ингибирование) на зону реакции горения. Микрокапсулы с хладоном представляют собой желатиновые капсулы, внутри которых заключен хладон 114В2. Капсулы разрушаются при нагреве до температуры 120...140 °С. Размер капсул 50–400 мкм, содержание хладона в капсулах 92–93% (масс.);

- Сорбенты, способные за счет адсорбции снизить концентрацию горючих паров (газов):

а) Окисленный графит. Окисленный графит (Graft EG-350) при низких температурах от 140–150 °С обладает уникальным свойством терморасширения (вспучивания) – увеличением собственного объема в сотни раз с образованием вспененного графита. При терморасширении графита выделяется смесь газов (оксиды азота, серы и др.). Терморасширенный графит обладает адсорбционными свойствами.

б) Шунгит – аморфный, некристаллизирующийся, фуллереноподобный (содержание фуллеренов до 0,01 мас. %) углерод, содержащий природный минерал, обладающий высокой адсорбционной активностью. В исследованиях использовался тонкодисперсный порошок шунгита черного цвета с насыпной плотностью 400–500 г/дм³ и фракцией от 0,10 до 0,20 мкм. Не горюч. Удельная адсорбционная поверхность составляет 15-20 м²/г;

в) Оксид кремния (IV) представляет собой высокодисперсный (прохождение через сито 0063 составляет 100%) SiO₂ со значительной (не менее 20% по весу) примесью углерода. Вещество представляет собой измельченный продукт термолиза (сжигания) рисовой шелухи при температурах 400–500 °С. Вследствие своего происхождения продукт является материалом с крайне высокой степенью развития поверхности, т.к. он представляет собой остатки клеточных стенок рисовой шелухи. В состав продукта кроме углерода входит также оксид железа (не более 2%) и незначительное количество других неорганических соединений, содержание

которых не превышает 0,1–0,2%. Способность к адсорбции нефтепродуктов весьма высокая.

2.3 Выводы по второй главе

1. Предложена методика сравнительной оценки огнетушащей способности порошков с добавками, позволяющая определять огнетушащую эффективность порошковых составов с применением добавок в сравнении с промышленным порошком, а также определять минимальную огнетушащую интенсивность подачи порошка.

2. Разработана лабораторная установка, отличающаяся от существующих установок возможностью с более высокой точностью проводить сравнительную оценку огнетушащей способности различных порошковых составов в сравнении с порошками, выпускаемыми промышленностью. Лабораторная установка позволяет оценить критическое значение интенсивности подачи порошков в зону горения, минимальное количество порошка, необходимого для тушения.

ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЯ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВ

3.1 Лабораторные исследования по сравнительной оценке огнетушащей эффективности порошковых составов

Лабораторные исследования по сравнительной оценке изменения огнетушащего эффекта проводили с подготовленными порошковыми составами в сравнении с промышленно выпускаемым огнетушащим порошком.

Исследовались подготовленные порошковые составы:

- огнетушащий порошок с микрокапсулами хладона, который оказывает ингибирующее воздействие (гомогенное ингибирование) на зону реакции горения;
- огнетушащие порошки двойного назначения, обладающие сорбционными свойствами к ГЖ и ЛВЖ;
- огнетушащий порошок с микрокапсулами хладона и сорбентом в соотношении 1:1.

3.1.1 Результаты исследований по тушению модельного очага пожара с твердым горючим материалом (древесина)

Проведены исследования по определению влияния микрокапсулированных добавок с хладоном, добавок окисленного графита марки EG-350, шунгита, оксида кремния и шунгита с микрокапсулами хладона (5%, 10%, 15%, 20%) на огнетушащий эффект огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» [67] по тушению модельного очага из древесины.

Лабораторные исследования огнетушащей способности порошковых смесей в сравнении с огнетушащей способностью порошка «Волгалит-АВС» осуществлялись по количеству смеси (порошка), использованной из устройства для подачи порошка по тушению модельного очага пожара с ТГМ (древесина).

Лабораторные исследования проводились с целью сравнительной оценки изменения огнетушащей способности огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» при различном процентном содержании исследуемых добавок.

После определения необходимого количества чистого огнетушащего порошка для тушения модельного очага были испытаны смеси порошка Волгалит АВС с микрокапсулированными добавками хладона, добавками окисленного графита и оксида кремния в различных концентрациях.

Модельный очаг пожара из твердого горючего материала (древесина) в опытах принят с размером штабеля из брусков 80x80 мм сечением брусков 5x5 мм в 8 слоев по 5 штук, уложенных под углом в 90 °.

Диаметр микрокапсул с хладоном 50...150 мкм, внешний увеличенный вид микрокапсул приведен на рис. 3.1.

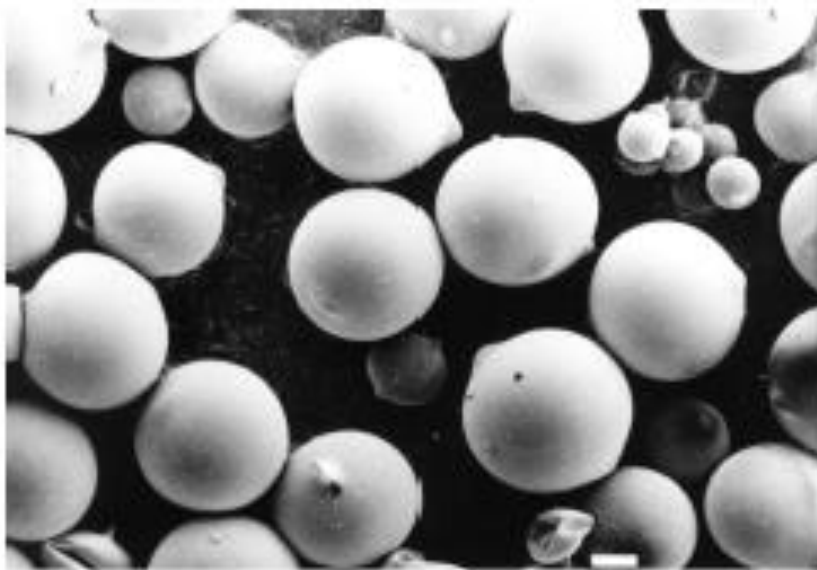


Рисунок 3.1 – Внешний вид микрокапсул с хладоном

Пример результатов испытаний по определению количества огнетушащего порошка, необходимого для тушения модельного очага пожара, представлен в таблице 3.1 и таблице 3.2. Аналогично опыты по тушению горения проводились с порошком с добавками. Результаты исследований представлены на графиках, рис. 3.2–3.6.

Таблица 3.1 – Результаты исследований по определению количества порошка Волгалит-АВС, необходимого для тушения модельного очага пожара ТГМ

№ п/п	Масса порошка Волгалит-АВС, в г	Результаты испытаний в опытах (достижение эффекта прекращения горения)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	1,6	–	+	–	–	–	–	+	–	–	–
2.	1,7	–	–	–	–	+	+	+	–	–	+
3.	1,8	+	+	+	–	+	+	+	+	+	–
4.	1,9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–
5.	2,0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Принята минимальная масса порошка Волгалит-АВС, необходимого для тушения модельного очага пожара ТГМ – 1,8 г.

Таблица 3.2 – Результаты исследований по определению количества порошка Волгалит-АВС с микрокапсулами (5 %), необходимого для тушения модельного очага пожара ТГМ

№ п/п	Масса порошка Волгалит-АВС, в г	Результаты испытаний в опытах (достижение эффекта прекращения горения)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	1,8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	1,7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3.	1,6	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+
4.	1,5	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5.	1,4	–	+	–	+	+	+	+	+	–	–

Принята минимальная масса порошка Волгалит-АВС + микрокапсулы (5 %), необходимого для тушения модельного очага пожара ТГМ – 1,5 г.

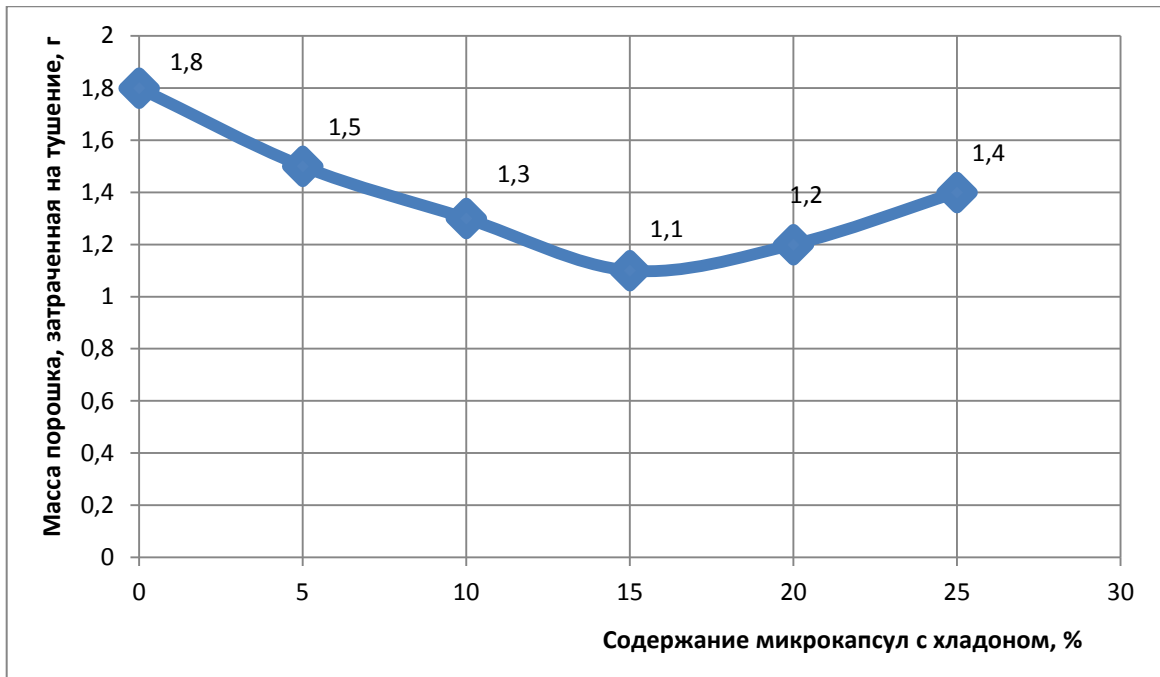


Рисунок 3.2 – Изменение огнетушащей способности порошка Волгалит-АВС от процентного содержания в смеси добавки – микрокапсулированный хладон на модельном очаге с ТГМ (древесина)

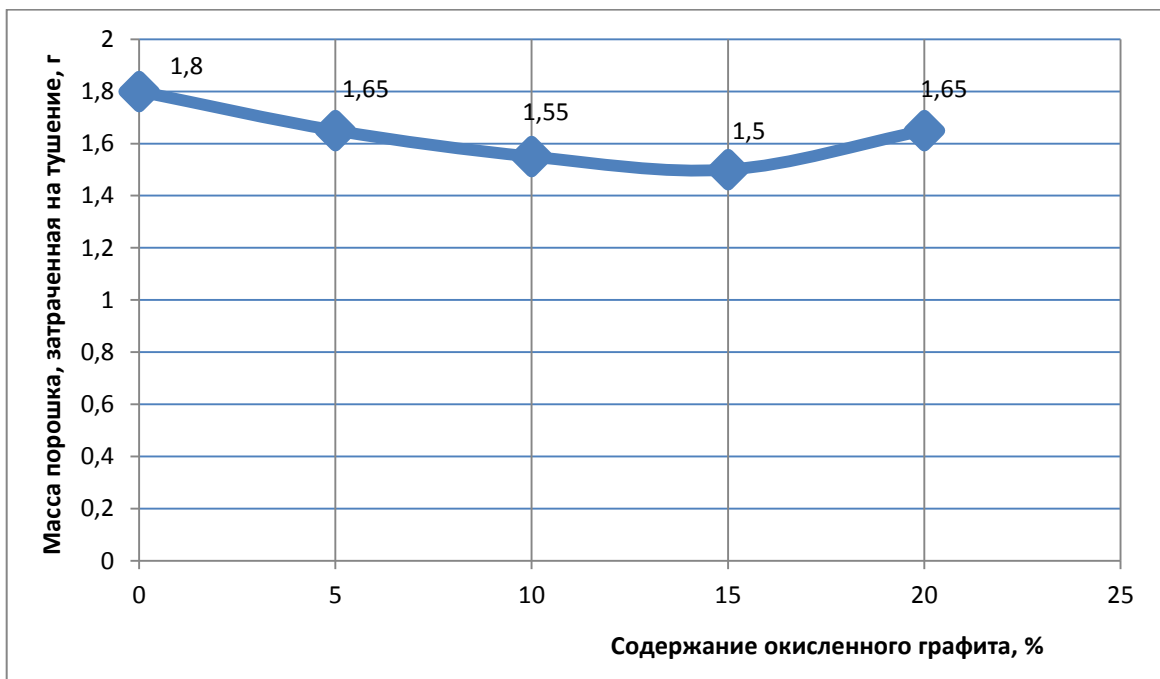


Рисунок 3.3 – Изменение огнетушащей способности порошка Волгалит-АВС от процентного содержания в смеси добавки – окисленный графит марки EG-350 на модельном очаге с ТГМ (древесина)

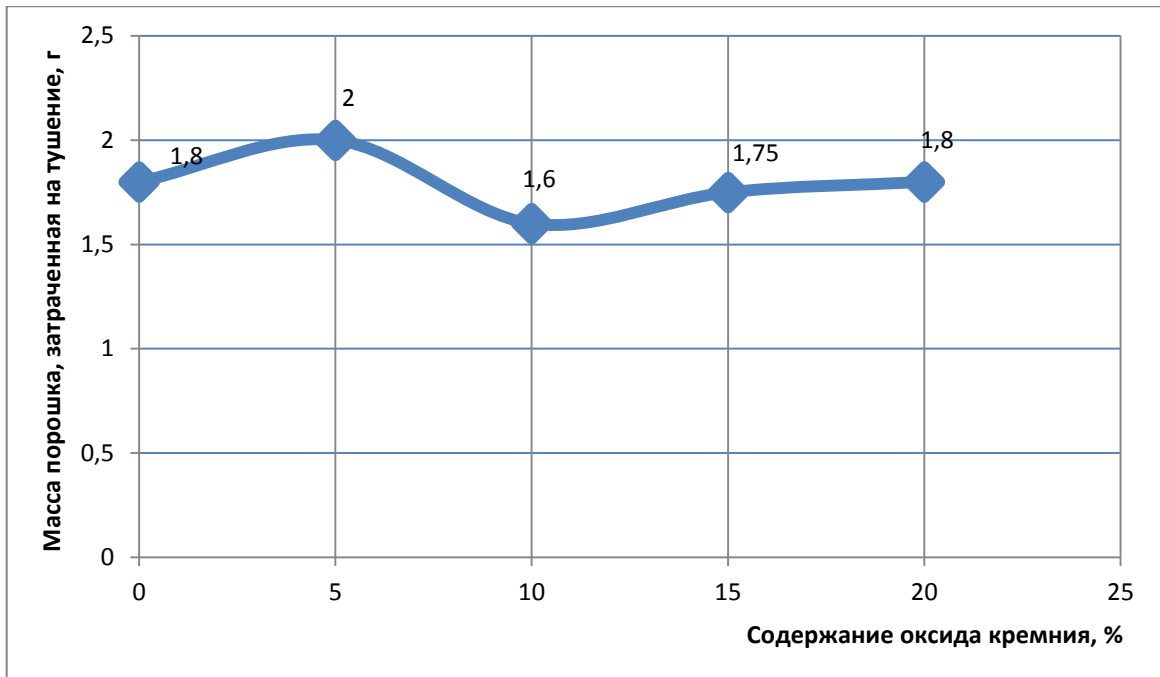


Рисунок 3.4 – Изменение огнетушащей способности огнетушащего порошка Волгалит-АВС в смеси с добавкой – оксид кремния на модельном очаге с ТГМ (древесина)

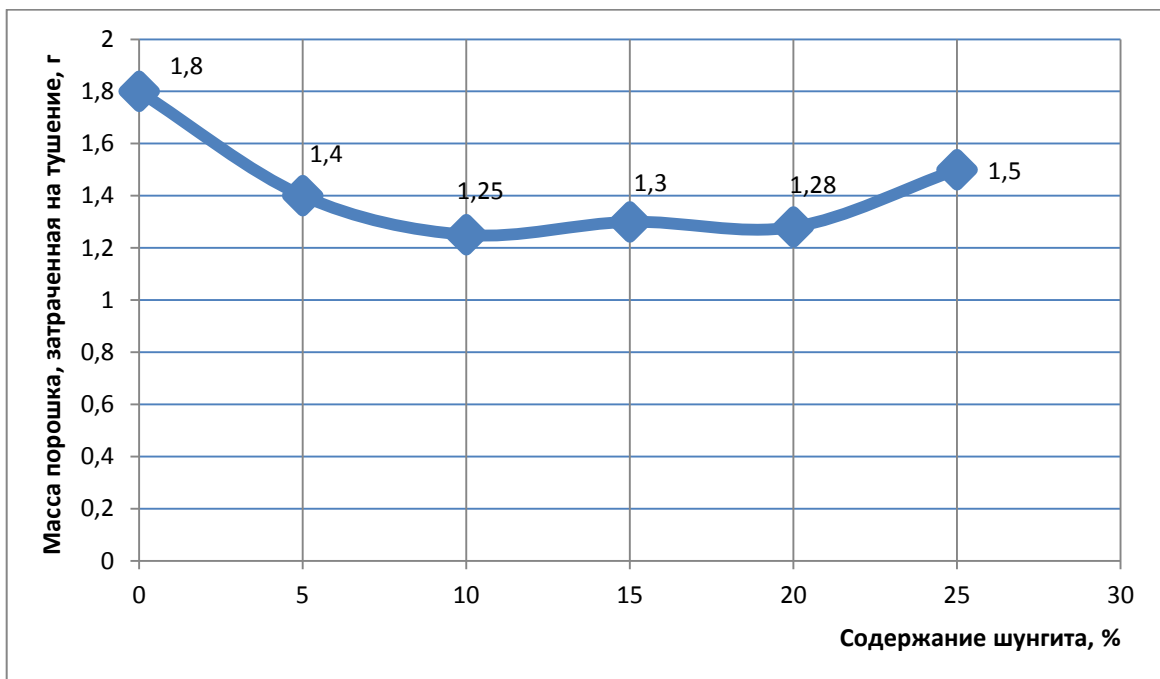


Рисунок 3.5 – Изменение огнетушащей способности огнетушащего порошка Волгалит-АВС в смеси с добавкой – шунгит на модельном очаге с ТГМ (древесина)

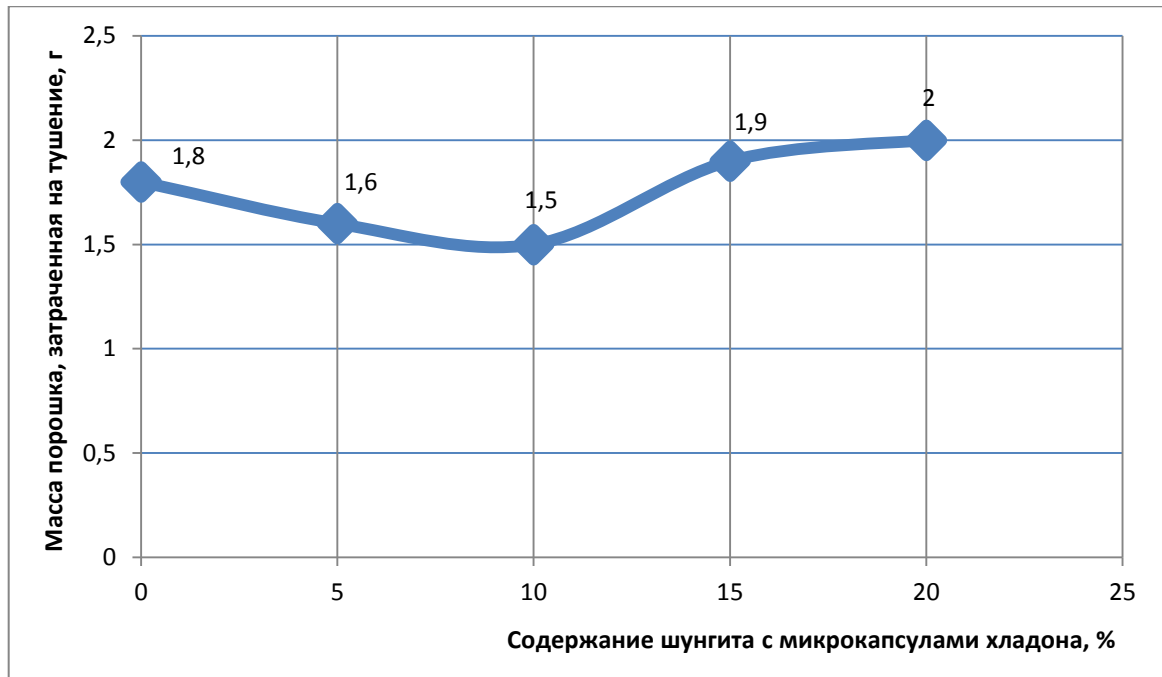


Рисунок 3.6 – Изменение огнетушащей способности огнетушащего порошка Волгалит-АВС в смеси с добавкой – микрокапсулы хладона в смеси с шунгитом в соотношении 1:1 на модельном очаге с ТГМ (древесина)

Исследования выявили положительный эффект при тушении модельного очага пожара (горение штабеля древесины) порошком с микрокапсулами хладона, окисленным графитом, оксидом кремния, шунгитом и шунгитом с микрокапсулами хладона.

При тушении ТГМ наибольший огнетушащий эффект наблюдался при 15 % концентрации микрокапсулированных добавок. При этом порошковой смеси потребовалось на 39 % меньше, чем при тушении порошком «Волгалит-АВС». Применение добавки микрокапсул в огнетушащем порошке вызывает прекращение тления древесины после подачи порошкового состава, так как микрокапсулы (не разрушенные при воздействии пламени) на поверхности тлеющей древесины от воздействия температуры разрушаются, что приводит к прекращению тления.

Порошковые составы с добавками сорбентов по огнетушащей способности эффективнее промышленно выпускаемого порошка:

- с 15% добавкой окисленного графита порошковой смеси потребовалось на 17 % меньше, чем при тушении порошком «Волгалит-АВС»;

- с 10% добавкой оксида кремния – на 11 %;
- с 10% добавкой шунгита – на 31 %;
- с 10 % добавкой шунгит+микрокапсулы с хладоном в соотношении 1:1 – на 17 %.

3.1.2 Результаты исследований по тушению модельного очага пожара с легковоспламеняющейся жидкостью

Проведены лабораторные исследования по определению влияния микрокапсулированных добавок с хладоном, добавок окисленного графита, оксида кремния, шунгита, шунгита с микрокапсулами хладона (5%, 10%, 15%, 20%) на огнетушащий эффект огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» по тушению модельного очага легковоспламеняющейся жидкости. Исследования огнетушащей способности порошковых смесей в сравнении с огнетушащей способностью порошка «Волгалит-АВС» осуществлялись по количеству смеси (порошка), использованной из устройства для подачи порошка для тушения модельного очага пожара при тушении ЛВЖ. Площадь зеркала горючей жидкости в экспериментах принята 0,03 м².

Лабораторные исследования проводились с целью сравнительной оценки изменения огнетушащей способности огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» при различном процентном содержании микрокапсулированных добавок с хладоном, окисленного графита и оксида кремния, шунгита, шунгита с микрокапсулами хладона.

Результаты этих испытаний приведены на графиках рис. 3.7–3.11.

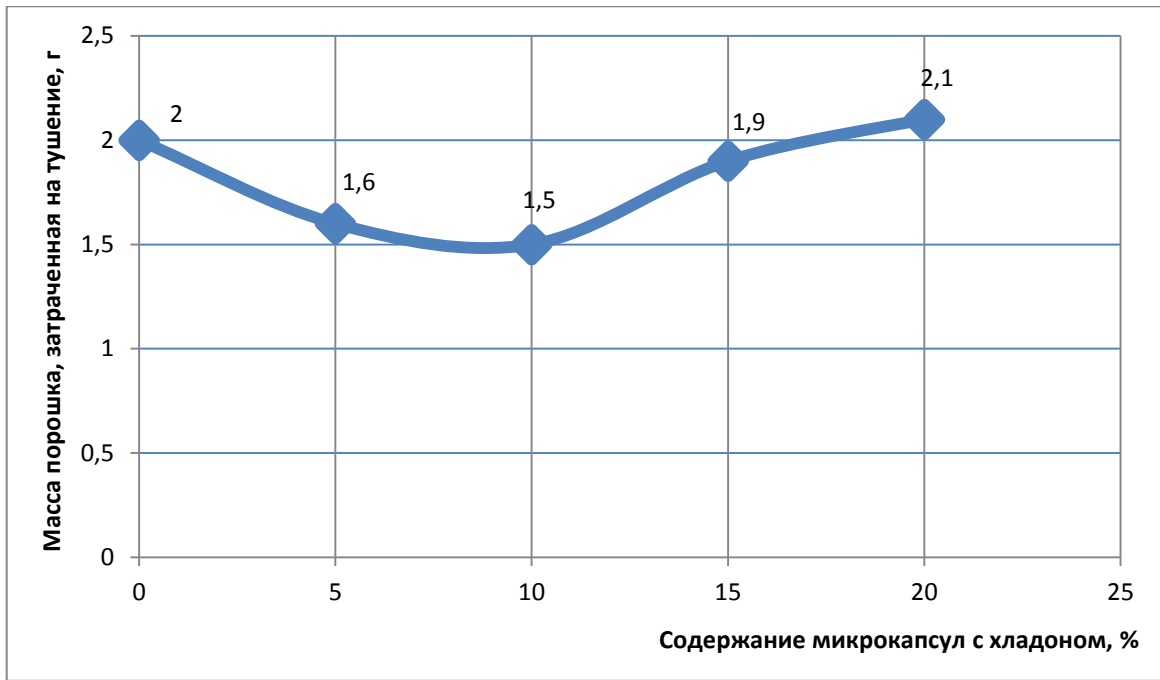


Рисунок 3.7 – Изменение огнетушащей способности огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» в смеси с микрокапсулированной добавкой на модельном очаге с легковоспламеняющейся жидкостью

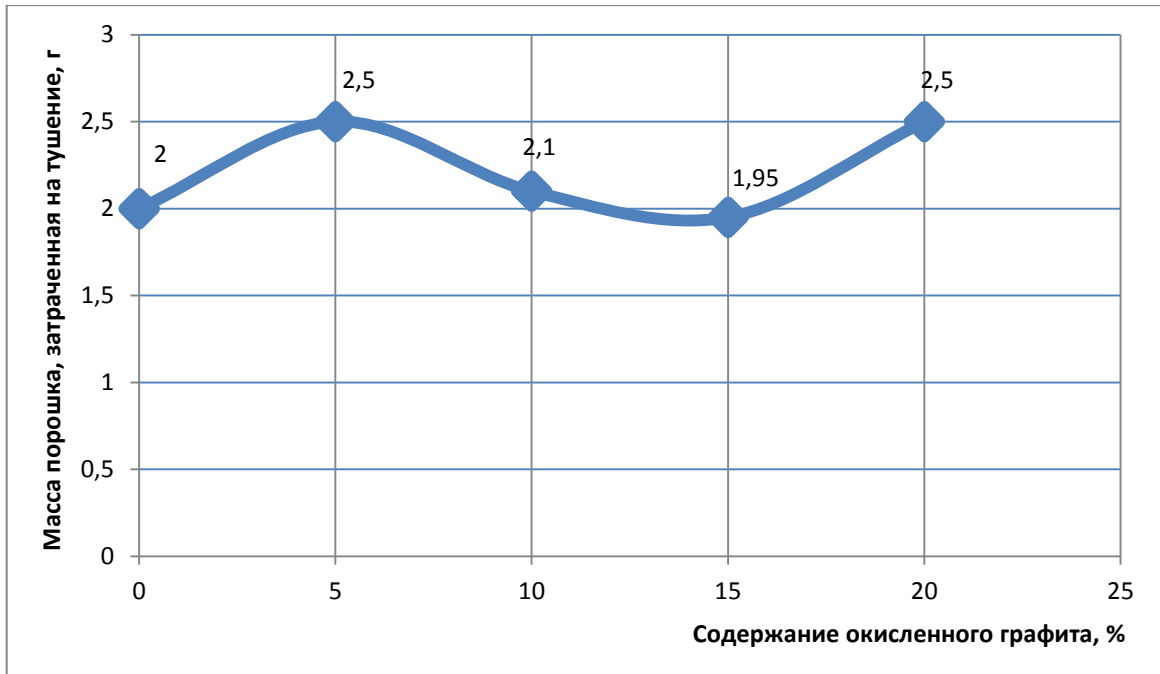


Рисунок 3.8 – Изменение огнетушащей способности огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» в смеси с добавкой – окисленный графит на модельном очаге с легковоспламеняющейся жидкостью

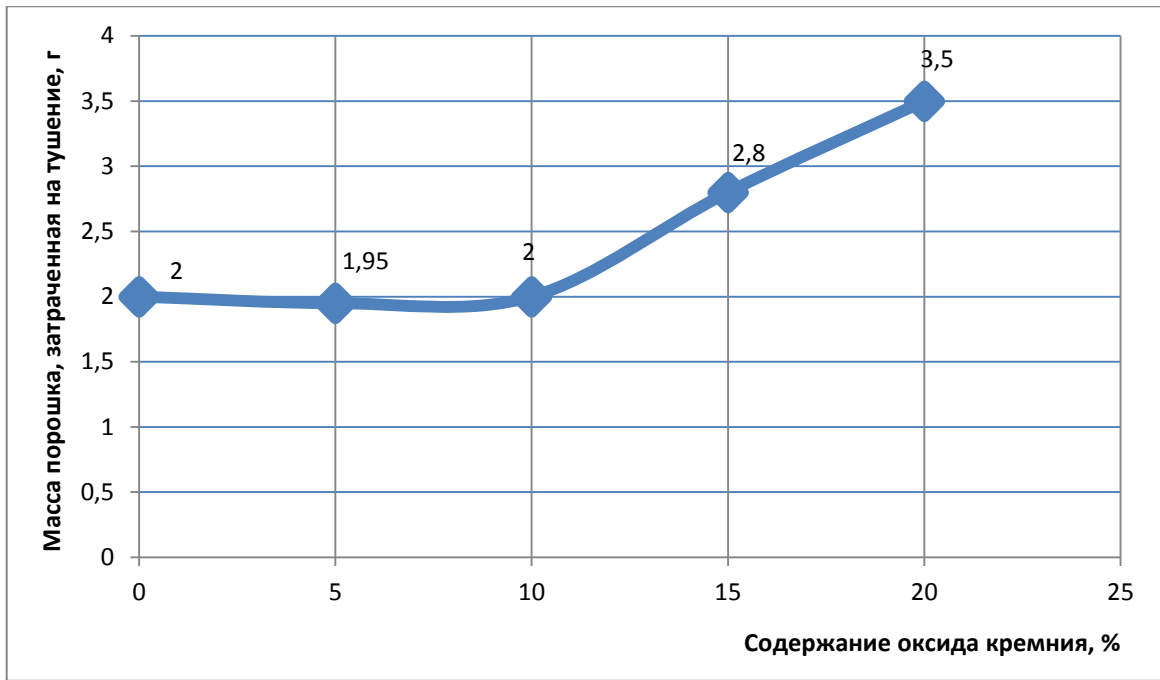


Рисунок 3.9 – Изменение огнетушащей способности огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» в смеси с добавкой – оксид кремния на модельном очаге с легковоспламеняющейся жидкостью

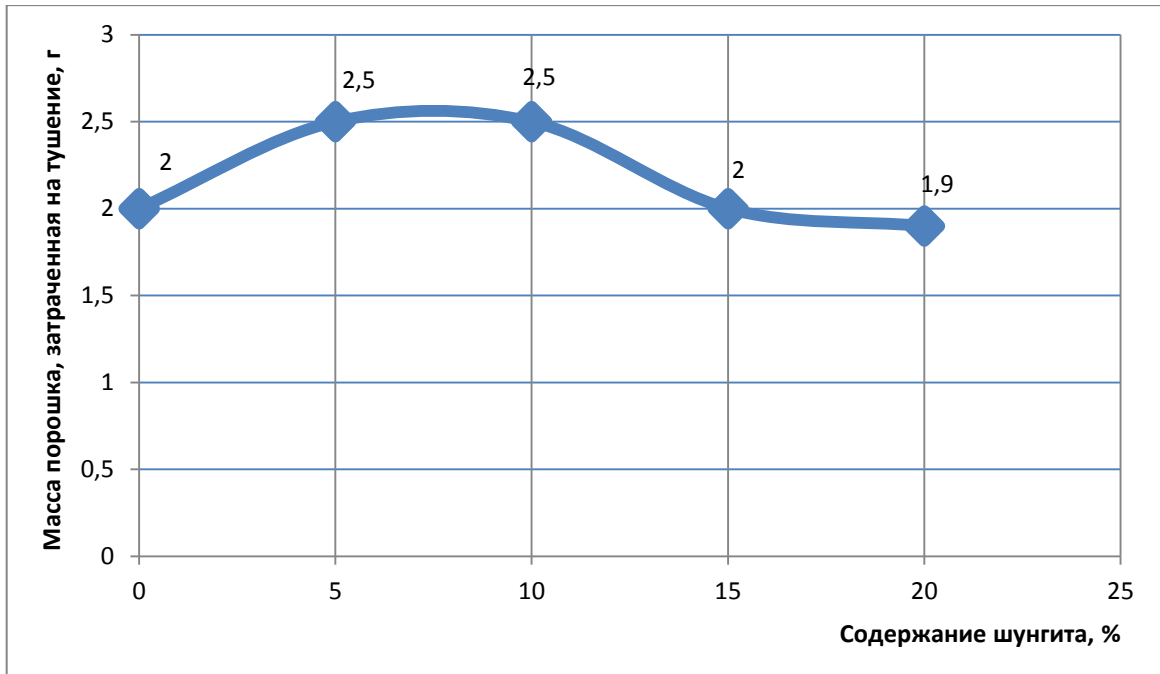


Рисунок 3.10 – Изменение огнетушащей способности огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» в смеси с добавкой – шунгит на модельном очаге с легковоспламеняющейся жидкостью

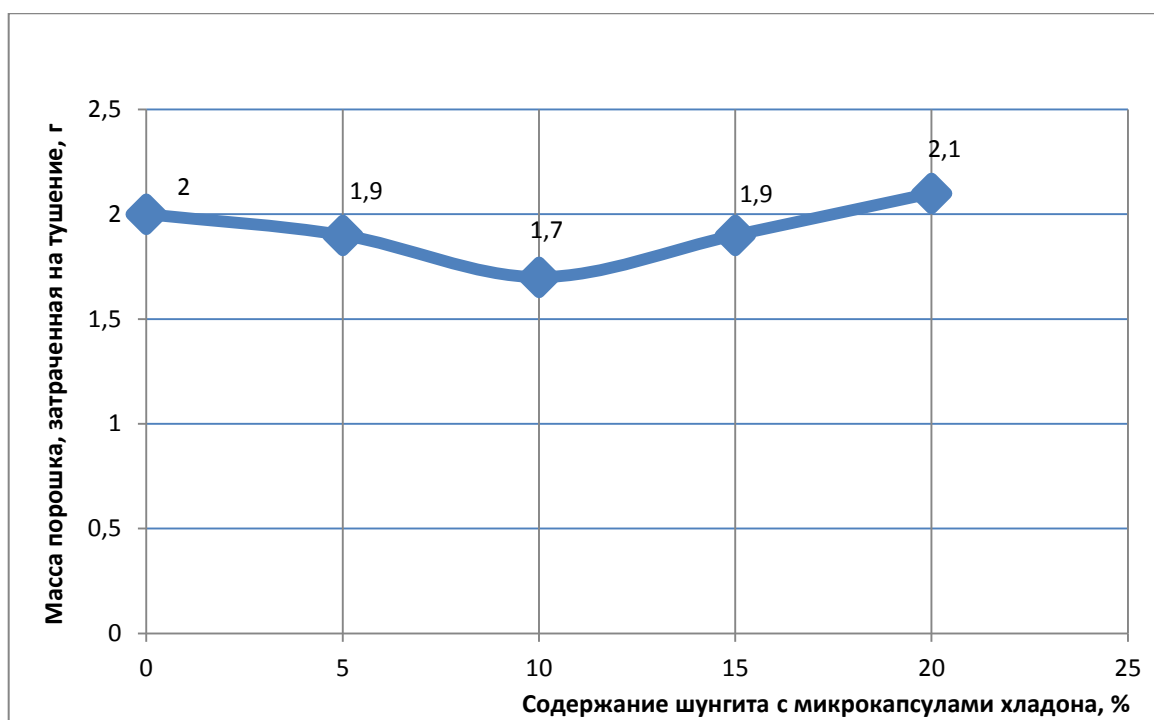


Рисунок 3.11 – Изменение огнетушащей способности огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» в смеси с добавкой – шунгит с микрокапсулами хладона в соотношении 1:1 на модельном очаге с легковоспламеняющейся жидкостью

Исследования выявили положительный эффект при тушении модельного очага пожара (горение легковоспламеняющейся жидкости) порошком с микрокапсулами хладона, окисленным графитом, оксидом кремния, шунгитом и шунгитом с микрокапсулами хладона.

При тушении легковоспламеняющейся жидкости огнетушащим порошком с применением указанных добавок наибольший огнетушащий эффект наблюдался при 10 % концентрации микрокапсулированных добавок. При этом порошковой смеси потребовалось на 25 % меньше, чем при тушении порошком «Волгалит-АВС».

Порошковые составы с добавками сорбентов по огнетушащей способности эффективнее промышленно выпускаемого порошка:

- с 15% добавкой окисленного графита порошковой смеси потребовалось на 2,5 % меньше, чем при тушении порошком «Волгалит-АВС»;
- с 5% добавкой оксида кремния – на 2,5%;
- с 20% добавкой шунгита – на 5%;

- с 10% добавкой шунгит+микрокапсулы с хладоном в соотношении 1:1 – на 15%.

3.2 Регрессионный анализ экспериментальных данных

С целью оценки влияния на эффективность тушения массы порошка и процентного соотношения добавок проведен регрессионный анализ результатов экспериментов.

Уравнение множественной регрессии определялось известными методиками статистических данных (метод наименьших квадратов) [68].

Определим уравнение множественной регрессии для эксперимента по тушению ЛВЖ огнетушащим порошком Волгалит-АВС в смеси с микрокапсулированной добавкой.

Уравнение регрессии (оценка уравнения регрессии):

$$Y = -1,1833 + 1,3286X_1 - 0,03867X_2. \quad (3.1)$$

Интерпретация коэффициентов регрессии. Константа оценивает агрегированное влияние прочих (кроме учтенных в модели x_i) факторов на результат Y и означает, что Y при отсутствии x_i составила бы $-1,1833$. Коэффициент b_1 указывает, что с увеличением x_1 на 1, Y увеличивается на $1,3286$. Коэффициент b_2 указывает, что с увеличением x_2 на 1, Y снижается на $0,03867$.

Матрица парных коэффициентов корреляции R . Находим парные коэффициенты корреляции.

$$r_{xy} = \frac{\bar{x}\cdot\bar{y} - \bar{x}\cdot\bar{y}}{s(x)\cdot s(y)}; \quad (3.2)$$

$$r_{yx_1} = \frac{1,191 - 1,75\cdot 0,658}{0,171\cdot 0,387} = 0,586. \quad (3.3)$$

Значения парного коэффициента корреляции свидетельствует об умеренной линейной связи между x_1 и y .

$$r_{yx_2} = \frac{7,021 - 12,5\cdot 0,658}{5,59\cdot 0,387} = -0,558. \quad (3.4)$$

Значения парного коэффициента корреляции свидетельствует об умеренной линейной связи между x_2 и y .

$$r_{x_1x_2} = \frac{21,875 - 12,5 \cdot 1,75}{5,59 \cdot 0,171} = 0. \quad (3.5)$$

Значения парного коэффициента корреляции, представленного в таблице 3.3, свидетельствуют о низкой линейной связи между x_2 и x_1 .

Таблица 3.3 – Значения парного коэффициента корреляции

Признаки x и y	$\sum x_i$	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	$\sum y_i$	$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$	$\sum x_i \cdot y_i$	$\overline{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n}$
Для y и x_1	42	1,75	15,8	0,658	28,58	1,191
Для y и x_2	300	12,5	15,8	0,658	168,5	7,021
Для x_1 и x_2	300	12,5	42	1,75	525	21,875

Дисперсии и среднеквадратические отклонения, и матрица парных коэффициентов корреляции R представлены в таблицах 3.4. и 3.5.

Таблица 3.4 – Дисперсии и среднеквадратические отклонения

Признаки x и y	$D(x) = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2$	$D(y) = \frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2$	$s(x) = \sqrt{D(x)}$	$s(y) = \sqrt{D(y)}$
Для y и x_1	0,0292	0,15	0,171	0,387
Для y и x_2	31,25	0,15	5,59	0,387
Для x_1 и x_2	31,25	0,0292	5,59	0,171

Таблица 3.5 – Матрица парных коэффициентов корреляции R

-	y	x_1	x_2
y	1	0,586	- 0,5582
x_1	0,586	1	0
x_2	- 0,5582	0	1

На основании частных коэффициентов можно сделать вывод об обоснованности включения переменных в регрессионную модель. Если значение коэффициента мало или он незначим, то это означает, что связь между данным фактором и результативной переменной либо очень слаба, либо вовсе отсутствует, поэтому фактор можно исключить из модели.

Частные коэффициенты корреляции вычисляются по формуле:

$$r_{ij,s} = -\frac{R_{ij}}{\sqrt{R_{ii} \cdot R_{jj}}}, \quad (3.6)$$

где R_{ij} – алгебраическое дополнение элемента r_{ij} матрицы R .

$$r_{yx_1/x_2} = \frac{r_{yx_1} - r_{yx_2} \cdot r_{x_1x_2}}{\sqrt{(1-r_{yx_2}^2)(1-r_{x_1x_2}^2)}}; \quad (3.7)$$

$$r_{yx_1/x_2} = \frac{0,586 - (-0,558) \cdot 0}{\sqrt{(1-0,558^2) \cdot (1-0^2)}} = 0,706. \quad (3.8)$$

Теснота связи сильная.

$$r_{yx_2/x_1} = \frac{r_{yx_2} - r_{yx_1} \cdot r_{x_2x_1}}{\sqrt{(1-r_{yx_1}^2)(1-r_{x_2x_1}^2)}}; \quad (3.9)$$

$$r_{yx_2/x_1} = \frac{-0,558 - 0,586 \cdot 0}{\sqrt{(1-0,586^2) \cdot (1-0^2)}} = -0,689. \quad (3.10)$$

Теснота связи умеренная.

$$r_{x_1x_2/y} = \frac{r_{x_1x_2} - r_{x_1y} \cdot r_{x_2y}}{\sqrt{(1-r_{x_1y}^2)(1-r_{x_2y}^2)}}; \quad (3.11)$$

$$r_{x_1x_2/y} = \frac{0 - 0,586 \cdot (-0,558)}{\sqrt{(1-0,586^2) \cdot (1-0,558^2)}} = 0,487. \quad (3.12)$$

Теснота связи несильная.

Модель регрессии в стандартном масштабе предполагает, что все значения исследуемых признаков переводятся в стандарты (стандартизованные значения) по формулам:

$$t_j = \frac{x_{ji} - \bar{x}_j}{s(x_j)}, \quad (3.13)$$

где x_{ji} – значение переменной x_{ji} в i -ом наблюдении.

$$t_y = \frac{y_i - \bar{y}}{s(y)}. \quad (3.14)$$

Таким образом, начало отсчета каждой стандартизованной переменной совмещается с ее средним значением, а в качестве единицы изменения принимается ее среднее квадратическое отклонение S .

Если связь между переменными в естественном масштабе линейная, то изменение начала отсчета и единицы измерения этого свойства не нарушат, так что и стандартизованные переменные будут связаны линейным соотношением:

$$t_y = \sum \beta_j t_{x_j}. \quad (3.15)$$

Для оценки β -коэффициентов применяем МНК. При этом система нормальных уравнений будет иметь вид:

$$\begin{aligned} r_{x_1y} &= \beta_1 + r_{x_1x_2} \beta_2 + \dots + r_{x_1x_m} \beta_m; \\ r_{x_2y} &= r_{x_2x_1} \beta_1 + \beta_2 + \dots + r_{x_2x_m} \beta_m; \\ &\dots \\ r_{x_my} &= r_{x_mx_1} \beta_1 + r_{x_mx_2} \beta_2 + \dots + \beta_m. \end{aligned} \quad (3.16)$$

Для наших данных (берем из матрицы парных коэффициентов корреляции):

$$\begin{aligned} 0,586 &= \beta_1 + 0\beta_2; \\ -0,558 &= 0\beta_1 + \beta_2. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Данную систему линейных уравнений решаем методом Гаусса: $\beta_1 = 0,586$; $\beta_2 = -0,558$;

Искомое уравнение в стандартизованном масштабе: $t_y = \beta_1 t_{x_1} + \beta_2 t_{x_2}$.

Расчет β -коэффициентов можно выполнить и по формулам:

$$\beta_1 = \frac{r_{yx_1} - r_{yx_2} r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2} = \frac{0,586 - (-0,558) \cdot 0}{1 - 0^2} = 0,586; \quad (3.18)$$

$$\beta_2 = \frac{r_{yx_2} - r_{yx_1} r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2} = \frac{-0,558 - 0,586 \cdot 0}{1 - 0^2} = -0,558. \quad (3.19)$$

Стандартизованная форма уравнения регрессии имеет вид:

$$t_y = 0,586 t_{x_1} - 0,558 t_{x_2}. \quad (3.20)$$

Найденные из данной системы β -коэффициенты позволяют определить значения коэффициентов в регрессии в естественном масштабе по формулам:

$$b_j = \beta \cdot \frac{S(y)}{S(x_j)}; \quad (3.21)$$

$$a = \bar{y} - \sum b_j \cdot \bar{x}_j. \quad (3.22)$$

Перейдем к статистическому анализу полученного уравнения регрессии: проверке значимости уравнения и его коэффициентов, исследованию абсолютных и относительных ошибок аппроксимации. Параметры уравнения регрессии представлены в таблице 3.6.

Для несмещенной оценки дисперсии проводим следующие вычисления: несмещенная ошибка $\varepsilon = Y - Y(x) = Y - X \cdot s$ (абсолютная ошибка аппроксимации).

Таблица 3.6 – Параметры уравнения регрессии

Y	Y(x)	$\varepsilon = Y - Y(x)$	ε^2	$(Y - Y_{cp})^2$	$ \varepsilon : Y $
1	1,28	-0,28	0,0787	0,117	0,28
1	1,148	-0,148	0,0218	0,117	0,148
0,9	1,015	-0,115	0,0132	0,0584	0,128
1	0,882	0,118	0,0139	0,117	0,118
0,9	0,749	0,151	0,0228	0,0584	0,168
0,1	0,616	-0,516	0,266	0,312	5,162
0,9	0,423	0,477	0,228	0,0584	0,53
1	0,556	0,444	0,197	0,117	0,444
1	0,689	0,311	0,097	0,117	0,311
1	0,821	0,179	0,0319	0,117	0,179
1	0,954	0,0457	0,00209	0,117	0,0457
1	1,087	-0,0871	0,00759	0,117	0,0871
0,1	0,23	-0,13	0,0168	0,312	1,295
0,1	0,362	-0,262	0,0688	0,312	2,624
0,3	0,495	-0,195	0,0381	0,128	0,651
0,5	0,628	-0,128	0,0164	0,0251	0,256
1	0,761	0,239	0,0571	0,117	0,239
1	0,894	0,106	0,0113	0,117	0,106
0	0,0362	-0,0362	0,00131	0,433	
0	0,169	-0,169	0,0286	0,433	
0,2	0,302	-0,102	0,0104	0,21	0,51
0,4	0,435	-0,0348	0,00121	0,0667	0,0869

Y	Y(x)	$\varepsilon = Y - Y(x)$	ε^2	$(Y - Y_{\text{ср}})^2$	$ \varepsilon : Y $
0,6	0,568	0,0324	0,00105	0,0034	0,054
0,8	0,7	0,0995	0,0099	0,0201	0,124
			1,241	3,598	13,547

Средняя ошибка аппроксимации:

$$A = \frac{\sum |\varepsilon : Y|}{n} \cdot 100\% = \frac{13,547}{24} \cdot 100\% = 56,44\%. \quad (3.23)$$

Оценка дисперсии равна:

$$s_e^2 = (Y - Y(X))^T (Y - Y(X)) = 1,241. \quad (3.24)$$

Несмещенная оценка дисперсии равна:

$$s^2 = \frac{1}{n-m-1} \cdot s_e^2 = \frac{1}{24-2-1} \cdot 1,241 = 0,05912. \quad (3.25)$$

Оценка среднеквадратичного отклонения (стандартная ошибка для оценки Y):

$$S = \sqrt{s^2} = \sqrt{0,05912} = 0,243. \quad (3.26)$$

Находим оценку ковариационной матрицы вектора $k = S^2 \cdot (X^T X)^{-1}$:

$$k(x) = 0,0591 \begin{vmatrix} 4,625 & -2,5 & -0,0167 \\ -2,5 & 1,429 & 0 \\ -0,0167 & 0 & 0,00133 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,273 & -0,148 & -0,000985 \\ -0,148 & 0,0845 & 0 \\ -0,000985 & 0 & 7,9E-5 \end{vmatrix}. \quad (3.27)$$

Дисперсии параметров модели определяются соотношением $S^2_i = K_{ii}$, т.е. это элементы, лежащие на главной диагонали

$$S_{b0} = \sqrt{0,273} = 0,523; \quad (3.28)$$

$$S_{b1} = \sqrt{0,0845} = 0,291; \quad (3.29)$$

$$S_{b2} = \sqrt{7,9E-5} = 0,00888. \quad (3.30)$$

Тесноту совместного влияния факторов на результат оценивает индекс множественной корреляции.

Чем плотнее фактические значения y_i располагаются относительно линии регрессии, тем меньше остаточная дисперсия и, следовательно, больше величина $R_{y(x_1, \dots, x_m)}$.

Таким образом, при значении R близком к 1, уравнение регрессии лучше описывает фактические данные и факторы сильнее влияют на результат. При

значении R близком к 0 уравнение регрессии плохо описывает фактические данные и факторы оказывают слабое воздействие на результат.

$$R = \sqrt{1 - \frac{s_e^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}} = \sqrt{1 - \frac{1,241}{3,6}} = 0,8093. \quad (3.31)$$

Коэффициент множественной корреляции определяем через матрицу парных коэффициентов корреляции:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\Delta_r}{\Delta_{r11}}}, \quad (3.32)$$

где Δ_r – определитель матрицы парных коэффициентов корреляции; Δ_{r11} – определитель матрицы межфакторной корреляции.

$$\Delta_r = \begin{vmatrix} 1 & 0,586 & -0,558 \\ 0,586 & 1 & 0 \\ -0,558 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0,345; \quad (3.33)$$

$$\Delta_{r11} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = 1. \quad (3.34)$$

Коэффициент множественной корреляции:

$$R = \sqrt{1 - \frac{0,345}{1}} = 0,8093. \quad (3.35)$$

Аналогичный результат получаем при использовании других формул:

$$R = \sqrt{1 - (1 - r_{yx1}^2) \cdot (1 - r_{yx2|x1}^2)}; \quad (3.36)$$

$$R = \sqrt{1 - (1 - 0,586^2) \cdot (1 - 0,689^2)} = 0,8093. \quad (3.37)$$

Связь между признаком Y и факторами X_i сильная.

Расчёт коэффициента корреляции выполняем, используя известные значения линейных коэффициентов парной корреляции и β -коэффициентов:

$$R = \sqrt{\sum r_{yxi} \beta_{yxi}} = \sqrt{r_{yx1} \beta_{yx1} + r_{yx2} \beta_{yx2}}; \quad (3.38)$$

$$R = \sqrt{0,586 \cdot 0,586 + (-0,558) \cdot (-0,558)} = \sqrt{0,655} = 0,809. \quad (3.39)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,8093^2 = 0,655$.

Более объективной оценкой является скорректированный коэффициент детерминации:

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{n-1}{n-m-1}; \quad (3.40)$$

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - 0,655) \cdot \frac{24-1}{24-2-1} = 0,622. \quad (3.41)$$

Чем ближе этот коэффициент к единице, тем больше уравнение регрессии объясняет поведение Y .

Проверим гипотезы относительно коэффициентов уравнения регрессии (проверка значимости параметров множественного уравнения регрессии).

Число $\nu = n - m - 1$ называется числом степеней свободы. Считается, что при оценивании множественной линейной регрессии для обеспечения статистической надежности требуется, чтобы число наблюдений, по крайней мере, в 3 раза превосходило число оцениваемых параметров.

$$T_{табл}(n-m-1; \alpha/2) = (21; 0,025) = 2,414; \quad (3.42)$$

$$t_i = \frac{b_i}{S_{bi}}; \quad (3.43)$$

$$t_0 = \frac{-1,183}{0,523} = 2,263 < 2,414. \quad (3.44)$$

Статистическая значимость коэффициента регрессии b_0 не подтверждается.

$$t_1 = \frac{1,329}{0,291} = 4,572 > 2,414. \quad (3.45)$$

Статистическая значимость коэффициента регрессии b_1 подтверждается.

$$t_2 = \frac{-0,0387}{0,00888} = 4,355 > 2,414. \quad (3.46)$$

Статистическая значимость коэффициента регрессии b_2 подтверждается.

Определим доверительные интервалы коэффициентов регрессии, которые с надежностью 95% будут следующими:

$$(b_i - t_{табл} \cdot S_{bi}; b_i + t_{табл} \cdot S_{bi}); \quad (3.47)$$

$$b_0: (-1,183 - 2,414 \cdot 0,523; -1,183 + 2,414 \cdot 0,523) = (-2,446; 0,0789). \quad (3.48)$$

Поскольку найденный интервал включает 0, то коэффициент b_0 незначим.

$$b_1: (1,329 - 2,414 \cdot 0,291; 1,329 + 2,414 \cdot 0,291) = (0,627; 2,03); \quad (3.49)$$

$$b_2: (-0,0387 - 2,414 \cdot 0,00888; -0,0387 + 2,414 \cdot 0,00888) = (-0,0601; -0,0172). \quad (3.50)$$

Оценка значимости уравнения множественной регрессии осуществляется путем проверки гипотезы о равенстве нулю коэффициента детерминации, рассчитанного по данным генеральной совокупности: R^2 или $b_1 = b_2 = \dots = b_m = 0$

(гипотеза о незначимости уравнения регрессии, рассчитанного по данным генеральной совокупности).

Для ее проверки используем F -критерий Фишера.

По таблицам распределения Фишера-Снедекора находим критическое значение F -критерия ($F_{кр}$). Для этого задаемся уровнем значимости α (берем равным 0,05) и двумя числами степеней свободы $k_1=m$ и $k_2=n-m-1$.

F -статистика. Критерий Фишера:

$$R^2 = 1 - \frac{s_e^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{1,241}{3,6} = 0,655. \quad (3.51)$$

Проверяем гипотезу об общей значимости – гипотезу об одновременном равенстве нулю всех коэффициентов регрессии при объясняющих переменных:

$$H_0: R^2 = 0; \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_m = 0; \quad (3.52)$$

$$H_1: R^2 \neq 0. \quad (3.53)$$

Проверку этой гипотезы осуществляем с помощью F -статистики распределения Фишера (правосторонняя проверка).

Если $F < F_{кр} = F_{\alpha; n-m-1}$, то нет оснований для отклонения гипотезы H_0 .

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m} = \frac{0,655}{1 - 0,655} \cdot \frac{24 - 2 - 1}{2} = 19,935. \quad (3.54)$$

Табличное значение при степенях свободы $k_1 = 2$ и $k_2 = n - m - 1 = 24 - 2 - 1 = 21$, $F_{кр}(2;21) = 3,49$.

Поскольку фактическое значение $F > F_{кр}$, то коэффициент детерминации статистически значим и уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты b_i совместно значимы).

В результате расчетов было получено уравнение множественной регрессии: $Y = 1,3286X_1 - 0,03867X_2$. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Установлено, что в исследуемой ситуации 65,5% общей вариабельности Y объясняется изменением факторов X_j . Установлено также, что b_0 статистически не значим.

В дальнейших исследованиях уравнения регрессии для каждого эксперимента были получены по аналогичным методам статистической обработки данных. Эти уравнения представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Уравнения регрессии для экспериментов

Эксперимент	Регрессионное уравнение	Оптимум функции
Волгалит ABC в смеси с микрокапсулированной добавкой с хладоном на модельном очаге с ТГВ (древесина)	$Y = -21,1067 + 28,9091\sqrt{X_1} - 10,6569X_1 + 1,5772\sqrt{X_2}$	Масса: 1,84 % содержание: 9
Волгалит ABC в смеси с добавкой – окисленный графит марки EG-350 на модельном очаге с ТГВ (древесина)	$Y = -1,0278891 + 1,09253731X_1$	Масса: 1,51 % содержание: 14
Волгалит ABC в смеси с добавкой – оксид кремния на модельном очаге с ТГВ (древесина)	$Y = -16,3812 + 9,2350\sqrt{X_1} - 0,3739X_1 + 2,7486\sqrt{X_2}$	Масса: 1,75 % содержание: 14
Волгалит ABC в смеси с добавкой – шунгит на модельном очаге с ТГВ (древесина)	$Y = -40,5933 + 65,0515\sqrt{X_1} - 25,5739X_1$	Масса: 1,28 % содержание: 9
Волгалит ABC в смеси с добавкой – микрокапсулы хладона в смеси с шунгитом на модельном очаге с ТГВ (древесина)	$Y = -2,78949 + 1,89108X_1 + 0,00197 X_1^2$	Масса: 1,54 % содержание: 18,5
Волгалит ABC в смеси с добавкой – окисленный графит на модельном очаге с легковоспламеняющейся жидкостью	$Y = -7,53818 + 2,80087\sqrt{X_1} - 0,33345X_2 + 2,42194\sqrt{X_2}$	Масса: 2,1 % содержание: 14,2
Волгалит ABC в смеси с добавкой – шунгит на модельном очаге с легковоспламеняющейся жидкостью	$Y = -22,7221 + 25,9468\sqrt{X_1} - 7,655X_1 - 0,1247X_2$	Масса: 2,05 % содержание: 18,9

3.3 Исследование влияния гидрофобно-модифицирующей добавки на эксплуатационные свойства и огнетушащую способность порошка

Одним из наиболее значимых недостатков огнетушащих порошковых составов является склонность к слеживанию и комкообразованию при поглощении влаги. Это приводит к затруднению или невозможности подачи порошкового состава в очаг горения.

С целью повышения эксплуатационных характеристик, а именно для улучшения антислеживающих свойств огнетушащих порошков предлагается использовать гидрофобно-модифицирующую добавку на основе органического вещества торфа в качестве гидрофобизатора в огнетушащем порошке [65, 69, 70] (рис. 3.12).

Гидрофобно-модифицирующие добавки серии ГМД, использованные в качестве добавки к огнетушащему порошку, представляют собой продукт процесса низкотемпературной термохимической деструкции органического вещества измельченного торфа (размер частиц менее 50 мкм), основанного на разложении органических соединений и сорбции выделяемых жидких продуктов (битумных компонентов) на поверхности высокодисперсных торфяных частиц [71].



Рисунок 3.12 – Фото гидрофобно-модифицирующей добавки на основе торфяного сырья

Основной научный подход, применяемый при получении гидрофобно-модифицирующих добавок из торфа, – это использование природных битумов, а также термохимическое воздействие на органическое вещество торфа с целью дополнительного их получения и равномерного распределения на органическом носителе, которым являются твердые частицы торфа. Групповой химический состав ГМД: битумы (до 5 %), термобитумы (до 10 %), термодеструктурированные гуминовые вещества (до 40 %), лигнин (до 30 %), органоминеральные комплексы

(до 15 %) [72, 73]. Гидрофобные свойства добавки обуславливаются присутствием битумных компонентов, сорбирующихся в виде пленок на поверхности частиц порошка.

Такая система обладает чрезвычайно высокой степенью гидрофобности и при внесении в любой другой дисперсный материал существенно замедляет процесс поглощения им капельно-жидкой и парообразной влаги. Внесение можно осуществлять простым механическим перемешиванием, но наиболее эффективным является внесение ГМД в шаровую мельницу при получении порошкообразных материалов, в том числе и при производстве огнетушащих порошков.

Кроме непосредственного влияния твердых компонентов на минеральные зерна в ходе совместного измельчения гидрофобной добавки и компонентов порошка происходит протекание дополнительного процесса нанесения битумных пленок на поверхность порошка, улучшающего его водоотталкивающие свойства. Таким образом, при оптимизации параметров процесса помола возможно создание дискретных пленочных образований на модифицируемых минеральных частицах, которые позволят достаточно эффективно изолировать их от воздействия капельно-жидкой и парообразной влаги [74].

Для придания антислеживающих свойств огнетушащим порошкам была проведена серия экспериментов, в которых модификатор вносился вместе с ингредиентами при приготовлении огнетушащего состава методом совместного помола в шаровой мельнице. В качестве контрольных образцов были использованы два состава: первый – отечественный промышленно выпускаемый огнетушащий порошок, в котором в качестве антислеживающей добавки применяется аэросил; второй – этот же порошок, в качестве антислеживающего компонента применялись гидрофобные модификаторы серии ГМД на основе торфа. Приготовление всех (кроме промышленно выпускаемого) порошков осуществлялось методом совместного помола на лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности $400 \text{ м}^2/\text{кг}$. Время помола составляло 25 минут [65, 75]. Гидрофобные модификаторы серии ГМД вносились в огнетушащий порошок в концентрациях от 1 до 2%.

3.3.1 Определение эксплуатационных свойств огнетушащего порошка, гидрофобизированного гидрофобно-модифицирующей добавкой

Национальным стандартом ГОСТ Р 53280.4-2009 [41] установлены методы испытаний по определению ряда эксплуатационных свойств огнетушащих порошков.

Метод определения кажущейся плотности неуплотненных и уплотненных порошков основан на определении отношения массы свободно засыпаемого и уплотненного вибрацией в течение определенного времени порошка к занимаемому им объему.

Кажущуюся плотность неуплотненного порошка при свободной засыпке ρ_n в килограммах на кубический метр вычисляют по формуле:

$$\rho_n = \frac{m}{V_1} \cdot 1000, \quad (3.55)$$

где m – фактическая масса навески порошка, г;

V_1 – объем, занимаемый навеской порошка после отстаивания в течение (180 ± 5) с, см³.

Кажущуюся плотность уплотненного порошка ρ_y в килограммах на кубический метр вычисляют по формуле:

$$\rho_y = \frac{m}{V_2} \cdot 1000, \quad (3.56)$$

где V_2 – объем, занимаемый навеской порошка после его уплотнения, см³.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных определений.

Метод ситового анализа основан на количественном определении остатка порошка на ситах после просева с последующим вычислением его содержания в процентах от общей массы навески, взятой для отсева.

Содержание остатка после просева на каждом сите X в процентах вычисляют по формуле:

$$X = \frac{m_c}{m} 100, \quad (3.57)$$

где m_c – масса остатка порошка на сите, г;

m – общая масса навески, г.

За результат испытаний принимают среднеарифметическое результатов трех параллельных испытаний.

Метод определения содержания влаги основан на определении отношения массы влаги, содержащейся в навеске порошка, к массе этой навески.

Влажность порошка W в процентах вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100 \quad (3.58)$$

где m – масса исходной навески порошка, г;

m_1 – масса стаканчика с порошком до сушки, г;

m_2 – масса стаканчика с порошком после сушки, г.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных определений.

Метод определения склонности к влагопоглощению и слеживанию основан на определении отношения массы влаги, поглощенной навеской порошка, к массе этой навески и последующей визуальной оценке его склонности к слеживанию.

Склонность порошка к влагопоглощению B в процентах вычисляют по формуле:

$$B = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100, \quad (3.59)$$

где m – масса исходной навески порошка, г;

m_1 – масса стаканчика с навеской после выдержки (увлажнения), г;

m_2 – масса стаканчика с навеской до выдержки (увлажнения), г.

За результат испытаний принимают среднеарифметическое результатов трех параллельных определений.

Склонность порошка к слеживанию C в процентах вычисляют по формуле

$$C = \frac{m_k}{m} \cdot 100, \quad (3.60)$$

где m_k – масса образовавшихся комков, г.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных определений.

Метод определения способности к водоотталкиванию основан на визуальной оценке способности сохранения капли воды во времени на поверхности слоя порошка.

Порошок считается прошедшим испытание на способность к водоотталкиванию, если хотя бы две капли из трех скатываются по поверхности порошка.

Метод определения текучести и остатка порошка основан на измерении массового расхода огнетушащего порошка при истечении его из испытательного прибора типа огнетушителя под давлением рабочего газа, а также на измерении массовой доли остатка порошка в нем.

Заряженный огнетушитель жестко закрепляют на столе вибростенда и подвергают воздействию вибрации при частоте (100 ± 5) Гц и виброускорения (120 ± 5) м/с² в течение (600 ± 5) с или виброускорения (60 ± 5) м/с² в течение (1200 ± 10) с. Снимают огнетушитель с вибростенда и определяют его массу (с порошком). Производят выпуск порошка в течение 6 с, после чего выпускной клапан перекрывают и взвешивают огнетушитель.

Процедура определения остатка порошка аналогична вышеописанной, за исключением того, что клапан удерживается открытым до полного прекращения выброса порошка. Кроме того, дополнительно определяют массу огнетушителя без порошка. Допускается в случае отсутствия вибростенда производить уплотнение порошка вручную (500 ударов в течение 10 мин), ударяя испытательный прибор с высоты 10–15 мм о твердую поверхность.

Текучесть порошка T в килограммах в секунду вычисляют по формуле:

$$T = \frac{m_1 - m_2}{6}, \quad (3.61)$$

где m_1 – масса испытательного прибора с порошком, кг;

m_2 – масса испытательного прибора с остатком порошка после выпуска в течение фиксированного времени, кг.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных определений.

В случае если весь порошок выходит менее чем за 6 с, он считается прошедшим испытание на текучесть.

Массовую долю остатка порошка O_c в процентах вычисляют по формуле:

$$O_c = \frac{m_3 - m_4}{m_1 - m_4} \cdot 100, \quad (3.62)$$

где m_3 – масса огнетушителя с остатком порошка (после полного выпуска), кг;

m_4 – масса огнетушителя без порошка, кг.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных определений.

Определение способности тушения модельного очага пожара класса А и расхода порошка, прошедшего на тушение.

Огнетушащая способность порошка оценивается по его способности тушить модельный очаг класса 1А при подаче порошка из испытательного прибора типа огнетушителя.

Испытания проводят на открытом воздухе при скорости ветра не более 3 м/с или в помещении высотой не менее 10 м и объемом не менее 1000 м³.

Выкладывают деревянный штабель и под него помещают поддон, в который заливают слой воды толщиной (30 ± 2) мм и 1,1 дм³ бензина. Заряжают огнетушитель ОП-3.

С помощью факела зажигают горючее в поддоне. Время свободного горения штабеля (без учета времени горения бензина) должно быть равным (7 ± 1) мин. После этого оператор приступает к тушению с расстояния 1,5–0,5 м (с фасада модельного очага). В процессе тушения это расстояние по возможности уменьшают. Во время тушения оператор передвигается вокруг штабеля, направляя струю порошка на верхнюю, нижнюю и боковые поверхности штабеля (за исключением стороны, противоположной фасаду). Допускается прерывать подачу порошка на очаг горения.

Очаг считается потушенным, если повторное воспламенение не произошло в течение 10 мин в двух из трех параллельных определениях.

Определение способности тушения модельного очага пожара класса В и расхода порошка, пошедшего на тушение.

Испытание проводят на открытом воздухе при скорости ветра не более 3 м/с или в помещении высотой не менее 10 м и объемом не менее 1000 м³.

Заряжают огнетушитель ОП-3. Противень устанавливают на ровную горизонтальную, земляную или бетонную площадку и заливают в него (110 ± 2) дм³ воды и (55 ± 1) дм³ бензина.

С помощью факела зажигают горючее в противне и выдерживают время свободного горения (60 ± 5) с. С расстояния (2,0 ± 0,5) м начинают подачу порошка в очаг горения. В процессе тушения это расстояние может уменьшаться, оператор может перемещаться вокруг очага. Допускается прерывать подачу порошка.

Подачу порошка в очаг следует производить так, чтобы сплошное облако порошка начало распространение над очагом от его ближнего борта с одной из сторон до другой, и при этом полностью перекрывать очаг по ширине в каждый отдельный момент тушения.

Очаг считается потушенным, если в двух из трех параллельных определений не наблюдается повторное воспламенение.

Расход порошка P в килограммах на м² вычисляют по формуле:

$$P = \frac{m_1 - m_2}{S_2}, \quad (3.63)$$

где m_1 – масса испытательного прибора с порошком, кг;

m_2 – масса испытательного прибора с остатком порошка после тушения, кг;

S_2 – площадь поверхности бензина (1,73 м²).

За результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений.

В таблице 3.8 представлены результаты проведенных исследований по определению эксплуатационных свойств огнетушащих порошков.

Таблица 3.8 – Результаты исследования по определению эксплуатационных свойств огнетушащих порошков

№ п/п	Наименование показателей	Норматив	Результаты анализов			Метод контроля
			«Волгалит ABC»	Экспериментальный с «ГМД–20NT» 1%	Экспериментальный с «ГМД–20NT» 2%	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Кажущаяся плотность неуплотненного порошка, кг/м ³ , не менее	700	819	793	833	п.5.2 ГОСТ Р 53280.4-2009
2.	Кажущаяся плотность уплотненного порошка, кг/м ³ , не менее	1000	1282	1219	1315	п.5.2 ГОСТ Р 53280.4-2009
3.	Гранулометрический состав, %: сито 1000 мкм сито 100 мкм, не более сито 50 мкм, не более	отс. 45 60	отс. 31,1 17,9	отс. 34,7 14,8	отс. 37,0 16,4	п.5.3 ГОСТ Р 53280.4-2009
4.	Массовая доля влаги, %, не более	0,35	0,16	0,59	0,72	п.5.4 ГОСТ Р 53280.4-2009
5.	Склонность к влагопоглощению, %, не более	3	0,41	0,42	0,20	п.5.5 ГОСТ Р 53280.4-2009
6.	Склонность к слеживанию, %, не более	2	соотв.	соотв.	соотв.	п.5.5 ГОСТ Р 53280.4-2009
7.	Способность к водоотталкиванию, мин, не менее	120	120	120	120	п.5.6 ГОСТ Р 53280.4-2009
8.	Массовая доля фосфатионов (в пересчете на Р ₂ О ₅), %, не менее	15	26,1	–	–	п.1 и п.8 ГОСТ 20851.2-75
9.	Удельная поверхность, см ² /г		3016	2382	2294	Инструкция к прибору Т-3
10.	Удельный вес, см ² /г			1,8956	1,9887	

Проведенные оценки эксплуатационных свойств огнетушащего порошка, гидрофобизированного добавкой ГМД-20 NT в исследованных концентрациях, показали, что введение добавок серии ГМД в качестве антислеживающих, гидрофобизирующих компонентов позволяет придавать гидрофобные свойства компонентам огнетушащего порошка, уменьшать до минимума склонность к влагопоглощению и слеживанию. Добавки серии ГМД являются хорошими интенсификаторами помола и позволяют увеличивать условную удельную поверхность частиц (при прочих равных условиях) как минимум на 5–10 %.

В исследуемых образцах выявлено содержание массовой доли влаги, превышающее норматив 0,35 % (п. 5.4 ГОСТ Р 53280.4-2009). Данный показатель был превышен искусственно для проверки характеристик огнетушащего порошка в неблагоприятных условиях (хранение компонентов порошка в условиях высокой относительной влажности) [78].

Массовая доля влаги является важным показателем качества огнетушащих порошков, от которого зависят их эксплуатационные свойства (текучесть, слеживаемость, влагопоглощение, огнетушащая способность и др.).

При проведении исследований установлено, что экспериментальные порошки с превышением массовой доли влаги (0,59 и 0,72 %) соответствуют требованиям ГОСТ Р [34] (таблица 3.8).

При тушении модельных очагов экспериментальные огнетушащие составы по своим качественным характеристикам соответствуют промышленно выпускаемому огнетушащему порошку «Волгалит-ABC».

В исследовании приняты модельные очаги пожара:

- класса А (ТГМ):

- 1) штабель из 40 брусков древесины хвойной породы, длиной 80 мм и квадратным сечением 5 мм, влажностью около 6% [62, 65];
- 2) площадь поверхности горючего материала в исследованиях принята 0,025 м²;
- 3) масса древесины 20±1 г;
- 4) количество бензина для розжига – 5 мл;

- 5) избыточное давление воздуха в емкости $P_{атм} = 0,7$ атм;
- б) время свободного горения модельного очага – 1 мин 50 с;
- 7) высота устройства для подачи порошка над модельным очагом – 35 см;
- класса В (ЛВЖ):
- 1) площадь модельного очага составляла $0,005 \text{ м}^2$;
 - 2) давление воздуха $P_{атм} = 0,7$;
 - 3) высота устройства для подачи порошка над модельным очагом – 23 см;
 - 4) количество бензина марки АИ-92 – 5 мл;
 - 5) время свободного горения модельного очага – 15 с.

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 3.13–3.14.

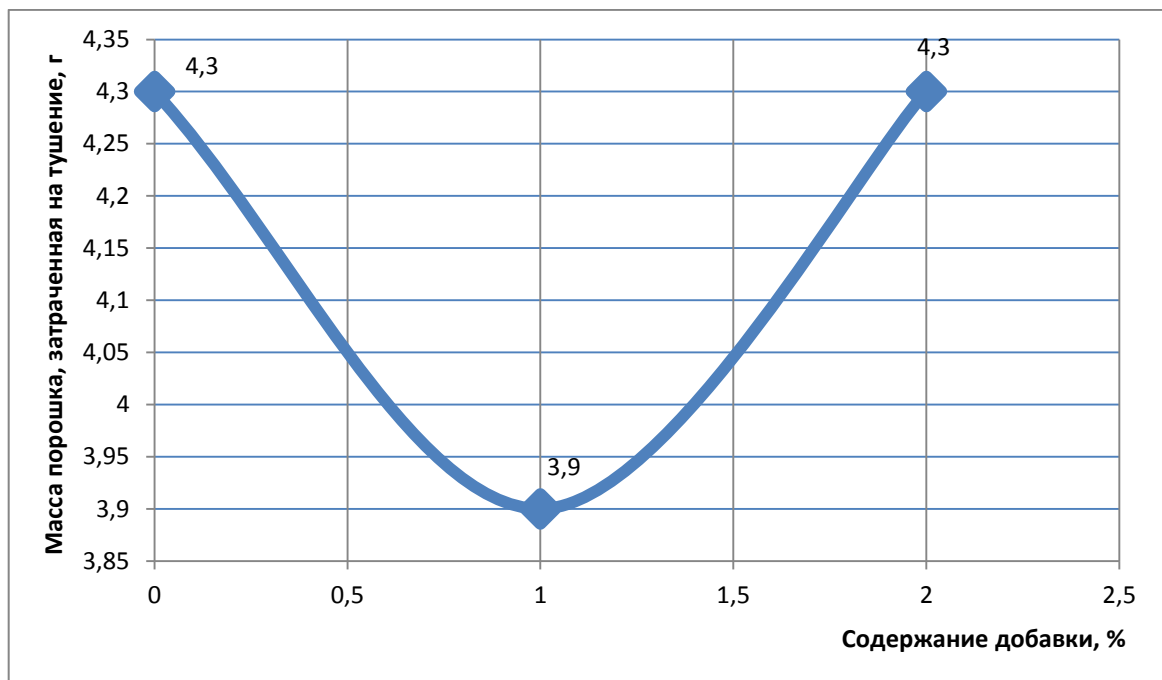


Рисунок 3.13 – Изменение огнетушащей способности от содержания гидрофобизирующей добавки ГМД-20NT при тушении модельного очага класса А (ТГМ)

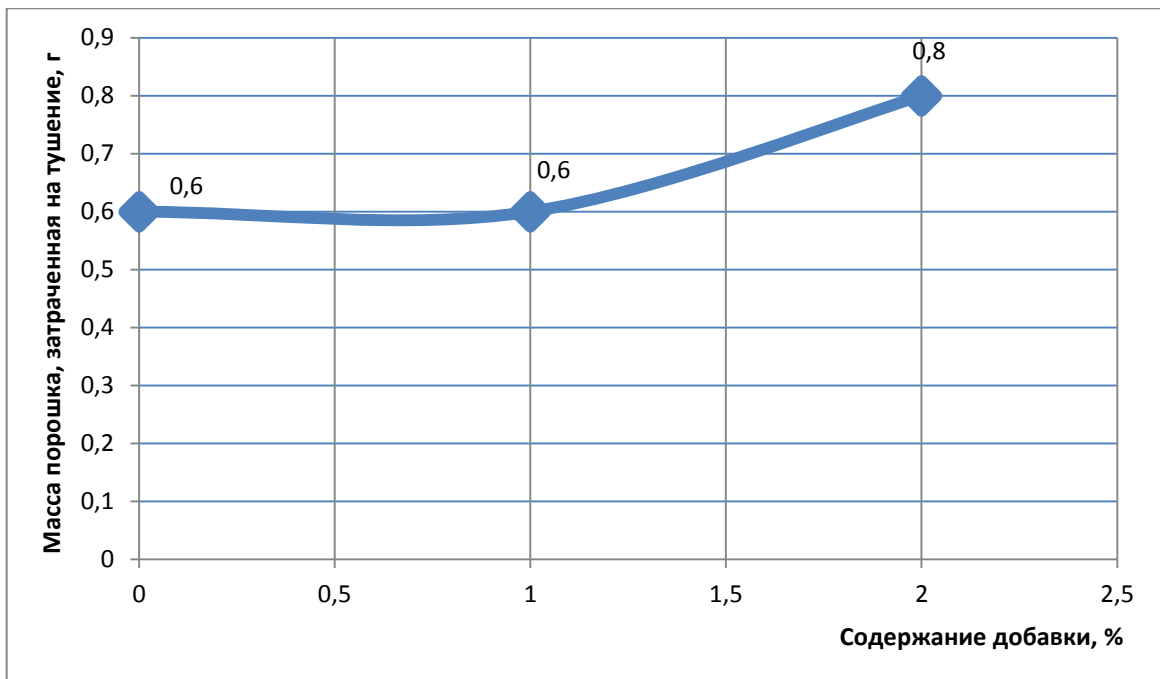


Рисунок 3.14 – Изменение огнетушащей способности от содержания гидрофобизирующей добавки ГМД-20NT при тушении модельного очага класса В (ЛВЖ)

На огнетушащую способность порошка с ГМД положительно влияет наличие в добавке ГМД гуминовых кислот (порядка 40%). Неустойчивые к термическому воздействию гуминовые кислоты разлагаются с выделением воды и углекислого газа при повышении температуры до 100 °С, при дальнейшем повышении температуры выделение CO_2 увеличивается [79].

С целью проверки возможности выпуска огнетушащего порошкового состава с новой гидрофобизирующей добавкой на основе торфа на производственной линии без изменения оборудования и технологии производства осуществлен выпуск опытно-промышленной партии огнетушащего порошкового состава на основе Волгалит-АВС с гидрофобно-модифицирующей добавкой марки «ГМД-20NT» на производственной линии ЗАО «В.В.П.» [69].

Концентрация гидрофобно-модифицирующей добавки в огнетушащем порошке принята 1,5 % (по массе) согласно рекомендации производителя данной добавки.

Результаты испытаний порошка по определению эксплуатационных свойств приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Результаты исследования по определению эксплуатационных свойств огнетушащего порошка с ГМД-20NT

№	Наименование показателей	«Волгалит-АВС» с «ГМД» 1,5%	Норма по ГОСТ Р 53280.4-2009
1.	Кажущаяся плотность, кг/м ³ неуплотненного уплотненного	833 1282	Не менее 700 Не менее 1000
2.	Склонность к слеживанию, %	0	Не более 2
3.	Способность к водоотталкиванию, мин	≥120	Не менее 120
4.	Склонность к влагопоглощению, %	0,53	Не более 3,0
5.	Массовая доля влаги, %	0,35	Не более 0,35
6.	Гран. состав, % 1000 мкм 100 мкм 50 мкм	0 34,5 20,3	0 Не более 45,0 Не более 60,0
7.	Массовая доля Р ₂ О ₅ , %	49,0	-
8.	Огнетушащая способность по тушению модельного очага пожара – по классу 1А – по классу 55 В Расход огнетушащего порошка:	Потушено 2 из 3-х Потушено 3 из 3-х 0,9 кг/м ² (максимальный из 3-х испытаний)	Тушение 2-х из 3-х параллельных определений Не более 1 кг/м ²
9.	Текучесть, кг/с	0,41	Не менее 0,28
10.	Остаток порошка после полного выброса, %	7,4	Не более 10

Огнетушащая способность порошкового состава на основе Волгалит-АВС с ГМД определялась в соответствии с положениями ГОСТ Р 53280.4-2009. Испытания проводились на полигоне ЗАО «В.В.П.» по тушению модельных очагов пожара класса 1А и 55В огнетушителем ОП-3 с массой порошка 3 кг [69].

В результате испытаний установлено, что огнетушащая способность порошкового состава с ГМД удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 53280.4-2009 (данные по испытаниям приведены в разделах 3.8.1 и 3.8.2).

Применение в производстве огнетушащего порошка с гидрофобно-модифицирующей добавкой на основе торфа способствует сокращению времени помола и увеличению производительности выпускаемого продукта на 7%.

3.3.2 Исследование микроструктуры частиц огнетушащего порошка с гидрофобно-модифицирующей добавкой методом рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии

С целью определения влияния добавки ГМД на гидрофобные свойства огнетушащего порошкового состава были проведены рентгенофазовый анализ и сканирующая электронная микроскопия. На рентгеновском дифрактометре D2 PHASER фирмы BRUKER были получены рентгенограммы:

- огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» (Образец № 1);
- гидрофобно-модифицирующей добавки «ГМД-20NT» (Образец № 2);
- огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» с гидрофобно-модифицирующей добавкой марки «ГМД-20NT» [80] (Образец № 3).

Полученные рентгенограммы представлены на рис. 3.15–3.17. Как видно на рис. 3.15, положения пиков данных образцов совпадают частично. Образование нового вещества не наблюдается. Анализ рентгенограмм проводился с использованием программного пакета DIFFRAC.EVA фирмы BRUKER.

Кристалличность исследуемых образцов: образец № 1 – 90,2%; образец № 3 – 88%.

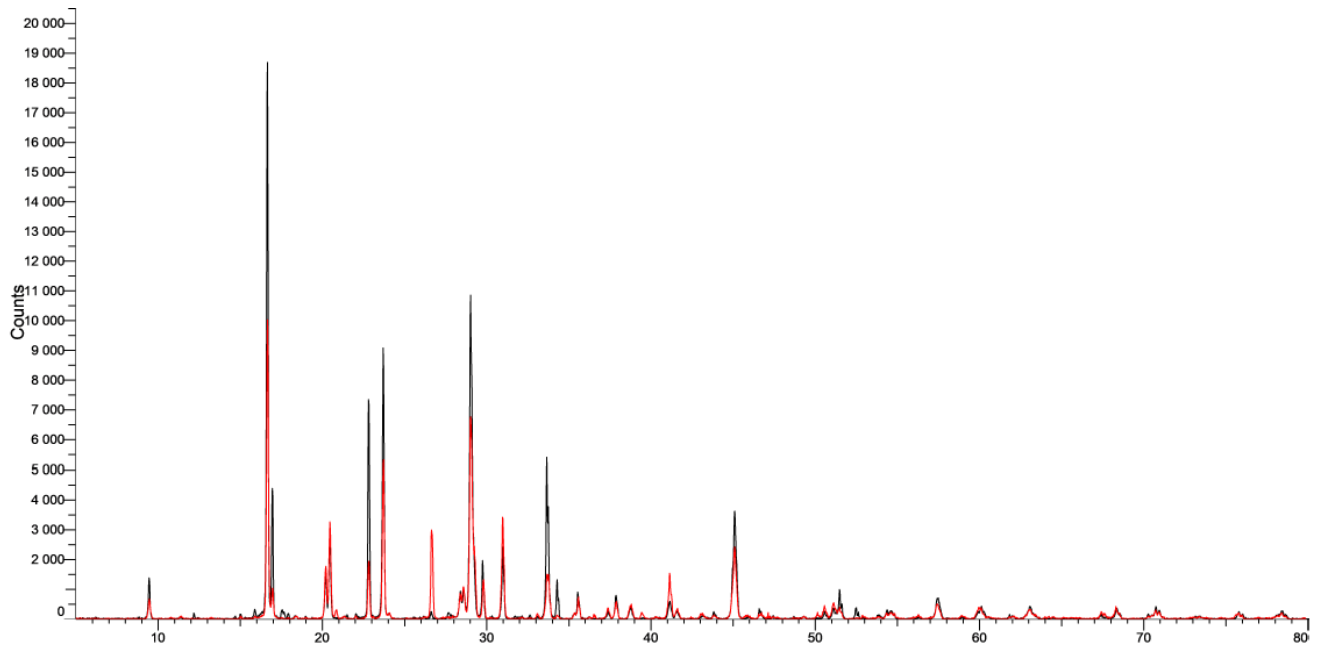


Рисунок 3.15 – Рентгенограмма образца № 1 (черный) и образца № 3 (красный)

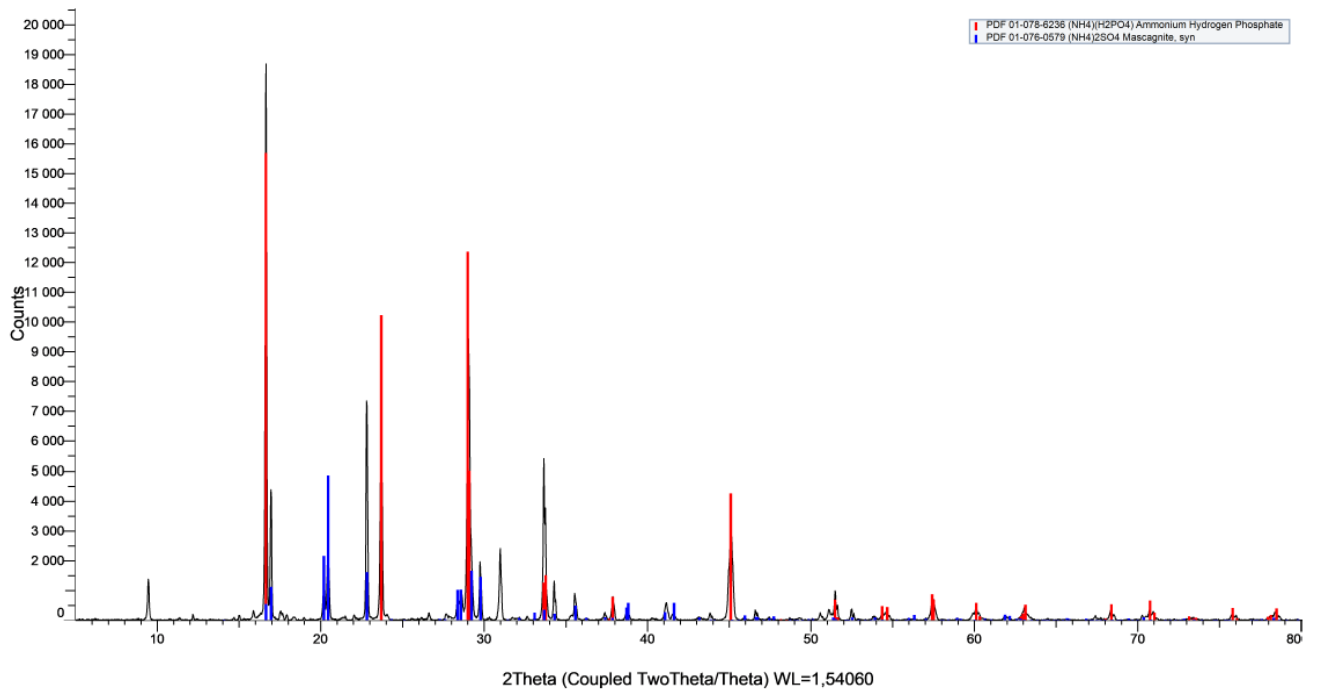


Рисунок 3.16 – Рентгенограмма образца № 1

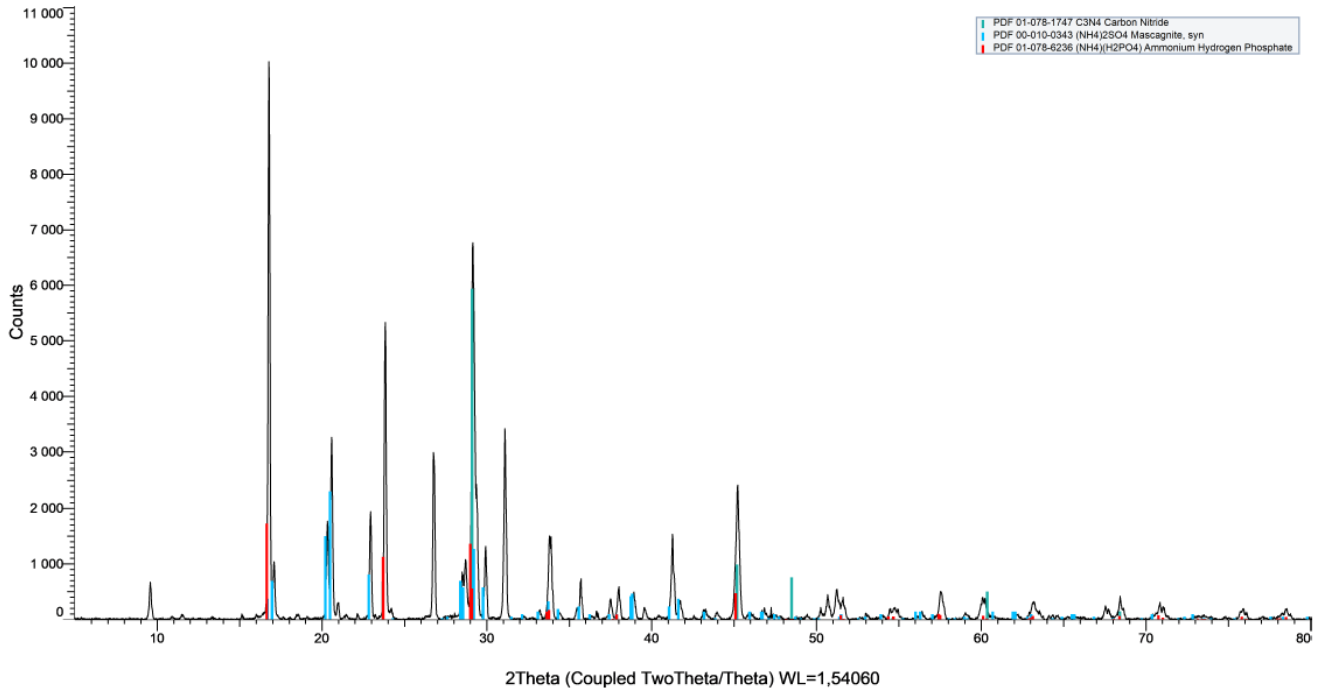


Рисунок 3.17 – Рентгенограмма образца № 3

Образцы № 1, 2, 3 исследовались при помощи электронного сканирующего микроскопа Quattro S, который предназначен для измерений линейных размеров элементов микро- и нанорельефа поверхности различных твердотельных объектов, в том числе биологических в режиме сверхнизкого вакуума естественной среды. Анализ элементного состава представленных образцов проводился на системе энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS Thermo Fisher Scientific) для микроскопа Quattro S. В исследованиях использовалась напылительная установка с роторной откачкой Q150R ES Plus производства Quorum Technologies Ltd, предназначенная для подготовки образцов для электронной микроскопии. В приложении № 1 приведены микрофотографии образцов (исследуемых порошковых составов и добавки ГМД) с различным увеличением, а также результаты элементного анализа образцов.

При анализе образцов по данным электронной дифракции установлено, что вещество образца № 2 представляет собой скопления частиц органических соединений. В образце № 3 данное вещество находится на поверхности частиц

вещества образца № 1. Причем на рис. 3.18 прослеживается фазовый контакт веществ образцов № 1 и № 2 в образце № 3.

В таблице 3.10. приведен состав исследованных образцов.

Таблица 3.10 – Состав образцов по данным рентгеноспектрального рентгеновского микроанализа

Элемент	Содержание элементов (атомные проценты)		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
C	-	50,49 ± 0,5	1,99 ± 0,5
O	67,98 ± 0,5	49,51 ± 0,5	54,77 ± 0,5
S	2,27 ± 0,5	-	21,20 ± 0,5
N	9,57 ± 0,5	-	21,85 ± 0,5
P	19,62 ± 0,5	-	0,19 ± 0,5
Si	0,57 ± 0,5	-	-

На рис. 3.18 и 3.19 представлены микрофотографии образцов № 1 и № 3, полученные с использованием системы энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS Thermo Fisher Scientific) для микроскопа Quattro S. На рис. 3.19 показаны частицы огнетушащего порошка образца № 1. На рис. 3.18 голубым цветом показано распределение вещества образца № 2 на поверхности частиц порошкового состава образца № 1.

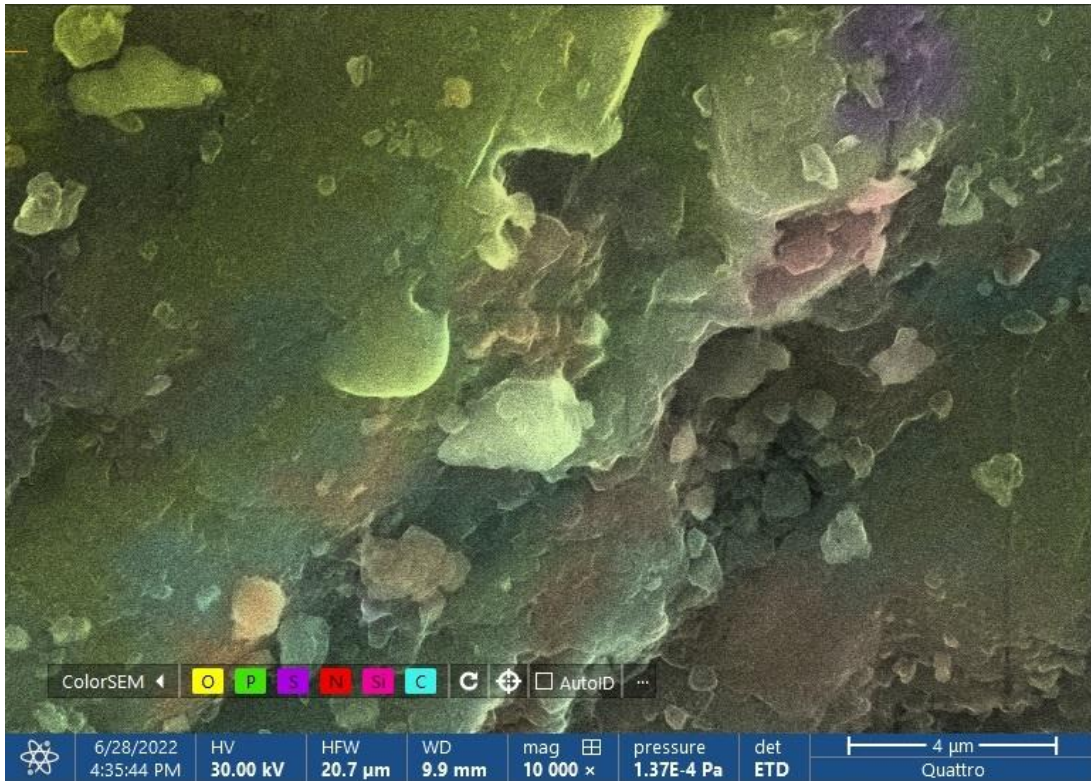


Рисунок 3.18 – Микрофотография образца № 3 (огнетушащий порошок «Волгалит-АВС» с гидрофобно-модифицирующей добавкой марки «ГМД-20NT»)

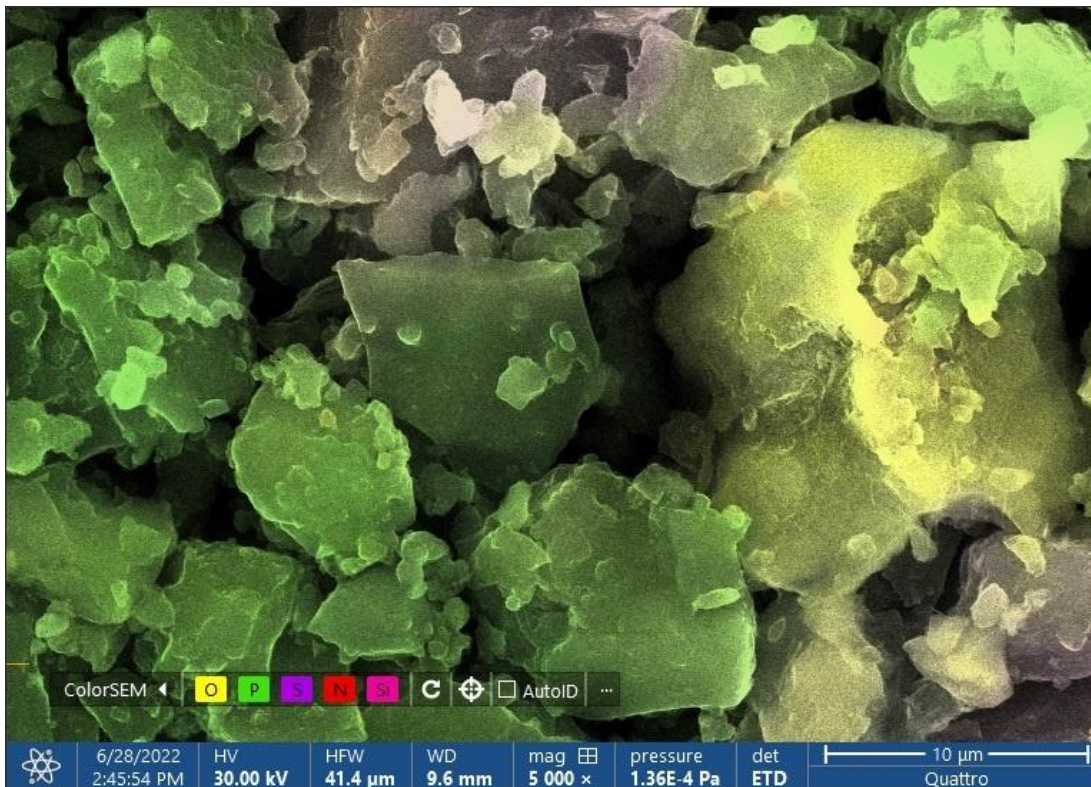
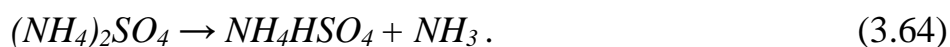


Рисунок 3.19 – Микрофотография образца № 1 (огнетушащий порошок «Волгалит-АВС»)

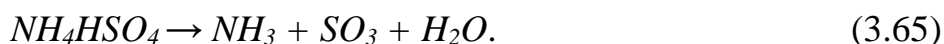
3.3.3 Исследование процессов термического разложения порошковых составов

Для оценки влияния добавки ГМД на огнетушащие свойства порошка проведено исследование процессов термического разложения порошковых составов. Исследование проводилось на термическом анализаторе Setsys Evolution 16 методом синхронного термического анализа (термогравиметрия и дифференциальная сканирующая калориметрия) с использованием двойной термопары Pt/PtRh (10%) в азотно-кислородной среде (содержание кислорода составляло 21%). Предварительно высушенные образцы массой 10 мг помещались в тигли из Al_2O_3 . Скорость нагрева составляла $10\text{ }^{\circ}C/\text{мин}$.

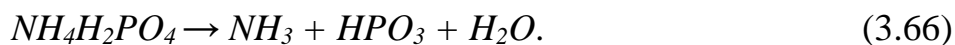
Компонентами огнетушащего порошка являются сульфат аммония, моноаммоний фосфат и мелкодисперсный кварцевый песок. При нагревании в зависимости от температуры, разложение сульфата аммония описывается следующими процессами (3.64–3.65). При температуре $147\text{ }^{\circ}C$ сульфат аммония разлагается с выделением гидросульфата аммония и аммиака:



При температуре более $500\text{ }^{\circ}C$ образовавшийся по реакции (3.64) гидросульфат аммония разлагается на аммиак, триоксид серы и воду:



Моноаммонийфосфат при температуре выше $250\text{ }^{\circ}C$ разлагается по следующей реакции:



Выделяющийся при разложении аммиак в присутствии кислорода окисляется по следующей реакции:



Разложение компонентов порошка (3.64–3.66) на рис. 3.20 в интервале температур $200\text{--}350\text{ }^{\circ}C$ является эндотермическим процессом. При тушении очага пожара происходит охлаждение зоны горения. Выделяющийся при разложении компонентов порошка аммиак вытесняет кислород из контактной зоны горения и при высоких температурах окисляется с образованием азота по реакции (3.67), что

также способствует уменьшению локальной концентрации кислорода. Снижение локальной концентрации кислорода способствует эффективному тушению пожара по причине удаления из зоны горения окислителя.

Выделяющийся при разложении гидросульфата аммония триоксид серы (3.65) является гигроскопическим веществом, способным «улавливать» молекулы воды из окружающего пространства. Образующийся «комплекс» триоксида серы с молекулами воды обладает большими размерами, что будет препятствовать диффузии молекул кислорода в контактную зону из окружающего пространства.

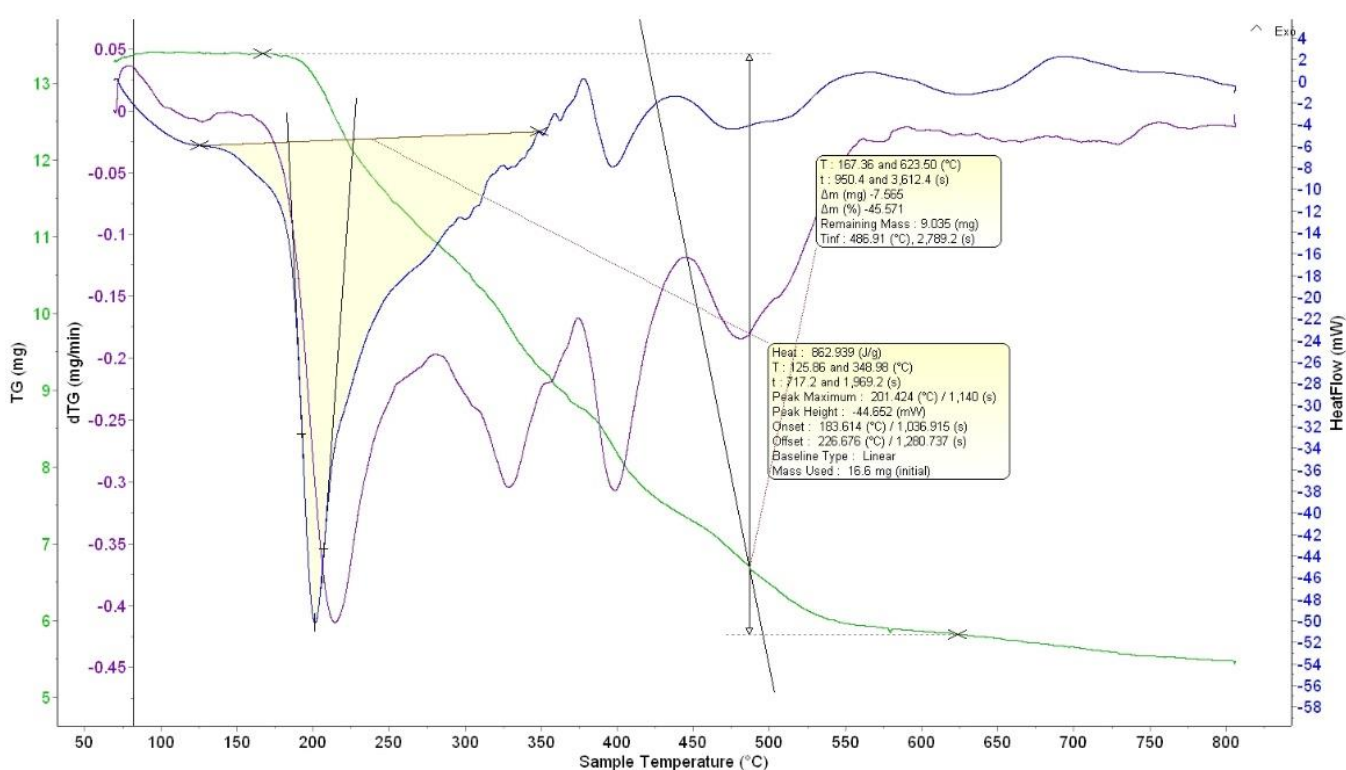


Рисунок 3.20 – Кривые ТГА и ДСК для огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» в азотно-кислородной среде (содержание кислорода – 21%)

Термическое разложение торфяной добавки к порошку рис. 3.21 в интервале температур 170–700 °С сопровождается выделением большого количества тепла.

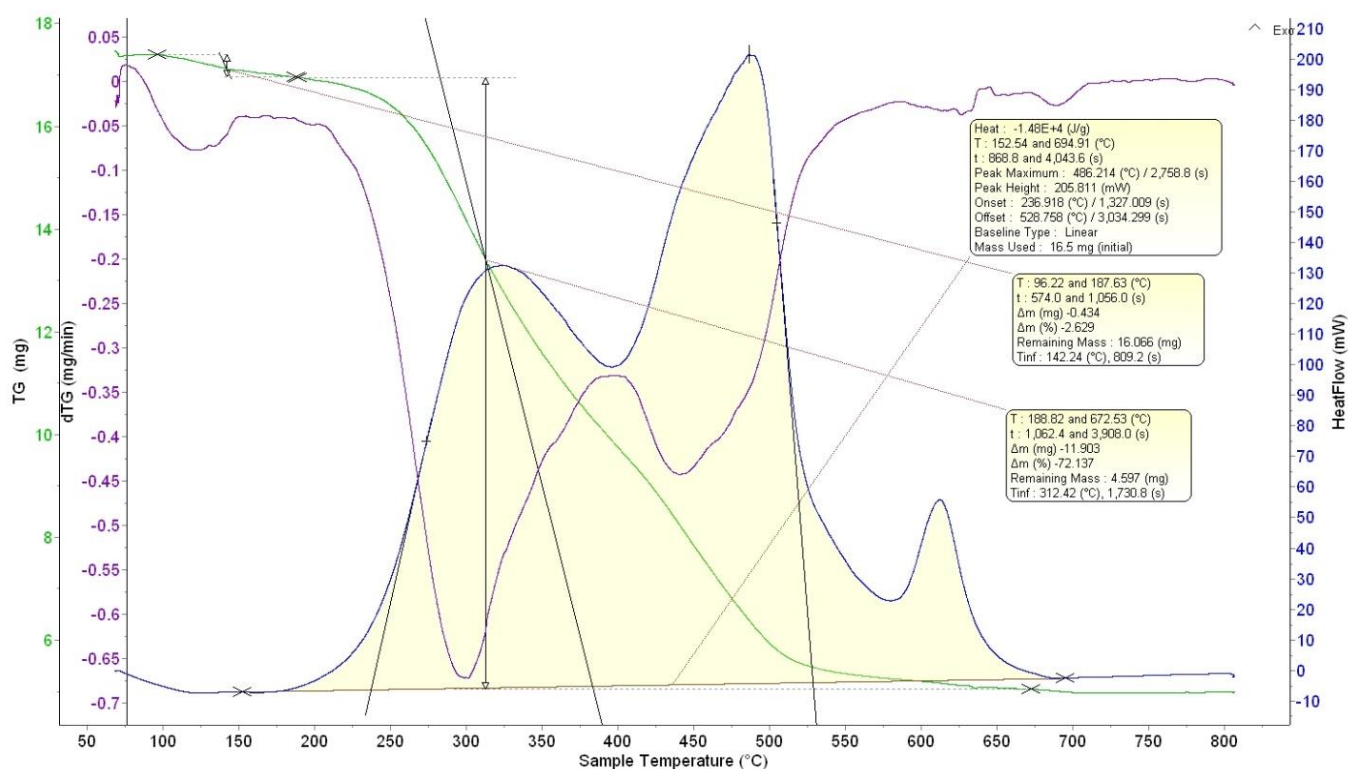


Рисунок 3.21 – Кривые ТГА и ДСК для гидрофобно-модифицирующей добавки «ГМД-20NT» в азотно-кислородной среде (содержание кислорода – 21%)

На рис. 3.22 показано термическое разложение огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» с гидрофобно-модифицирующей добавкой марки «ГМД-20NT». Кривая убыли массы по своему характеру в целом соответствует кривой убыли массы чистого порошка. Однако, в интервале температур 200–350 °С наблюдается меньшее поглощение тепла при разложении компонентов порошка (860 Дж/г и 830 Дж/г соответственно), что обуславливается экзотермическим характером разложения торфяной добавки в данном интервале температур.

Следовательно, в составе порошка выделяющееся тепло при разложении добавки будет ускорять процесс термической деструкции компонентов порошка, не подвергшихся термическому разложению, что обуславливает более высокую огнетушащую способность модифицированного порошка по сравнению с промышленно выпускаемым. Данное свойство выявлено нами в ходе проведенных исследований.

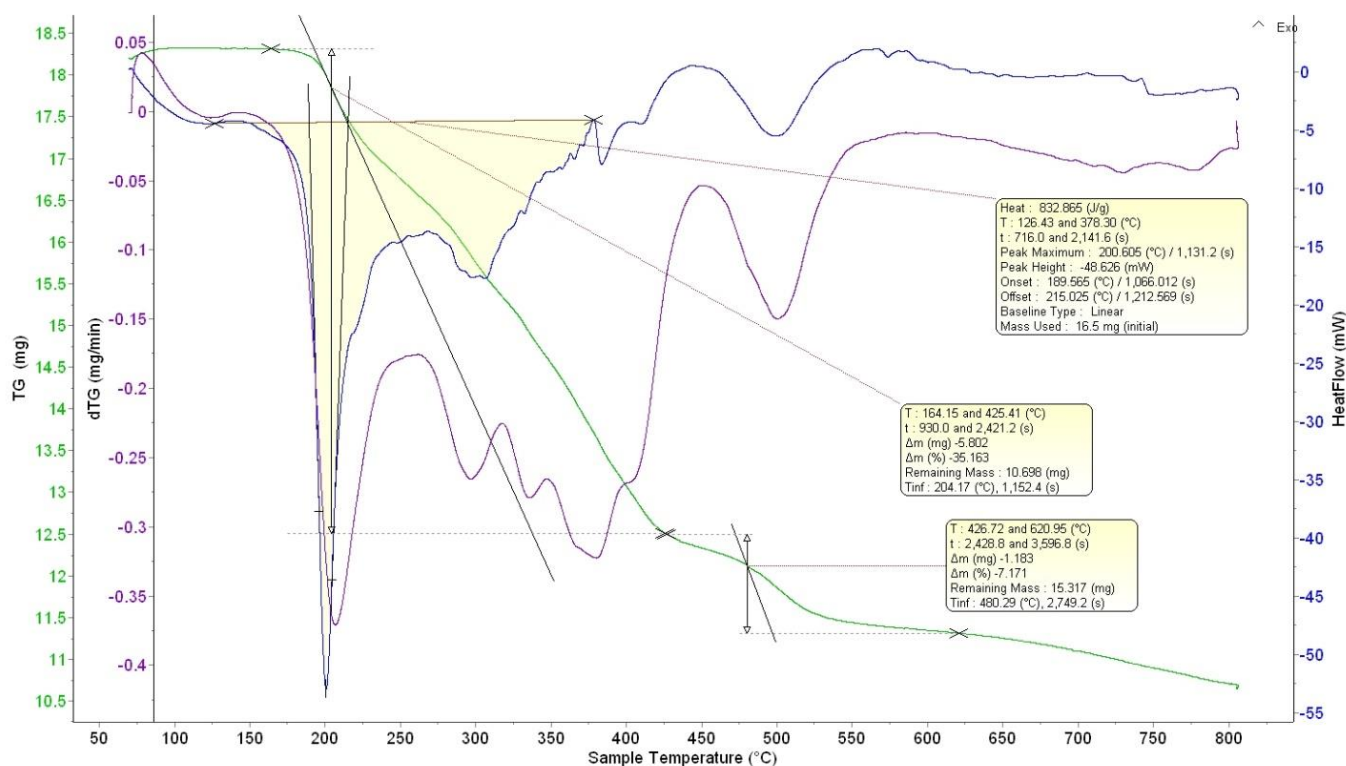


Рисунок 3.22 – Кривые ТГА и ДСК для огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» с гидрофобно-модифицирующей добавкой марки «ГМД-20NT» в азотно-кислородной среде (содержание кислорода – 21%)

Таким образом, повышение огнетушащей эффективности порошка с добавкой «ГМД-20NT» обуславливается следующими процессами:

- эндотермическое разложение компонентов порошка, вызывающее охлаждение зоны горения;
- снижение локальной концентрации кислорода по причине выделяющегося аммиака в результате разложения порошка и его последующего окисления до азота и воды (3.67);
- ускорение процесса термического разложения компонентов порошка за счет экзотермического разложения торфяной добавки.

В заключении следует отметить, что выделение газов, способствующих тушению пожара, происходит в результате разложения твердых компонентов порошка. Сам процесс термической деструкции активных компонентов огнетушащего порошка носит эндотермический характер (рис. 3.20). Следовательно,

достигается некоторое «охлаждение» зоны горения. При этом для обеспечения эффективного прекращения горения необходим транспорт активных компонентов огнетушащего порошка (частиц высокой дисперсности 5–10 мкм) в зону горения. Транспортную функцию выполняют более крупные компоненты огнетушащего порошка. Перечисленные процессы деструкции и транспорта, очевидно, относятся к гетерогенному процессу, обуславливающему прекращение горения.

Таким образом, тушение пожара имеет комплексный характер, включающий как гетерогенные процессы, так и гомогенные. Термическая деструкция твердых активных компонентов огнетушащего порошка происходит вместе с выделением газов и сопровождается интенсивным процессом ингибирования, поглощением тепла из пламени и снижением локальной концентрации кислорода. Указанные процессы дополняют друг друга и повышают эффективность процесса тушения. По нашему мнению, преобладающее ингибирующее воздействие порошков происходит в гомогенной фазе на этапе прекращения процесса горения.

3.4 Влияние интенсивности подачи порошкового состава на тушение модельного очага пожара с легковоспламеняющейся жидкостью

Большинство авторов, исследовавших процессы прекращения горения огнетушащими порошками [47, 51, 46, 83, 84, 85, 86, 87], определяют количество порошка, необходимого для тушения реальных пожаров. Ученые принимают во внимание массу порошка необходимого для прекращения 1 м² горения с произвольной интенсивностью подачи. Баратов А.Н. и Молчадский И.С. [5] отмечают, что режим подачи характеризуется минимальным удельным количеством порошка, временем тушения и интенсивностью подачи. Авторы в работе [5] выдвигают утверждение о критической интенсивности подачи, ниже которой эффект тушения не может быть достигнут. Кроме того, при тушении газового фонтана установлена зависимость удельного расхода от интенсивности подачи в виде параболы (рис. 5.22 [5]).

Оптимальную интенсивность предлагается определять по формуле (формула 5.92 [5]):

$$I_{opt} = 2b/a, \quad (3.68)$$

где: I_{opt} – оптимальная интенсивность подачи огнетушащего порошка в зону горения, кг/м²с;

b и a – опытные константы.

Минимальный расход (G_{min} , кг/м²) огнетушащего порошка (формула 5.93 [5]):

$$G_{min} = 4b/a. \quad (3.69)$$

Для проверки утверждения о параболической зависимости удельного расхода от интенсивности подачи порошка при тушении горячей жидкости проведено исследование на лабораторной установке.

Для определения минимальной интенсивности подачи огнетушащего порошка в зону горения в качестве огнетушащего вещества был взят промышленно выпускаемый порошок «Волгалит-АВС» АО «В.В.П.» г. Нижний Новгород.

Исследования проводились на лабораторной установке, описанной в работах [60, 61, 64, 65]. Площадь горячей поверхности горючей жидкости в экспериментах принята 0,028 м².

Результаты этих испытаний приведены на рис. 3.23.

На графике зависимости количества порошка, необходимого для прекращения горения, от интенсивности подачи огнетушащего порошка установлен минимум, то есть, при оптимальной интенсивности подачи достигается наибольшая эффективность тушения.

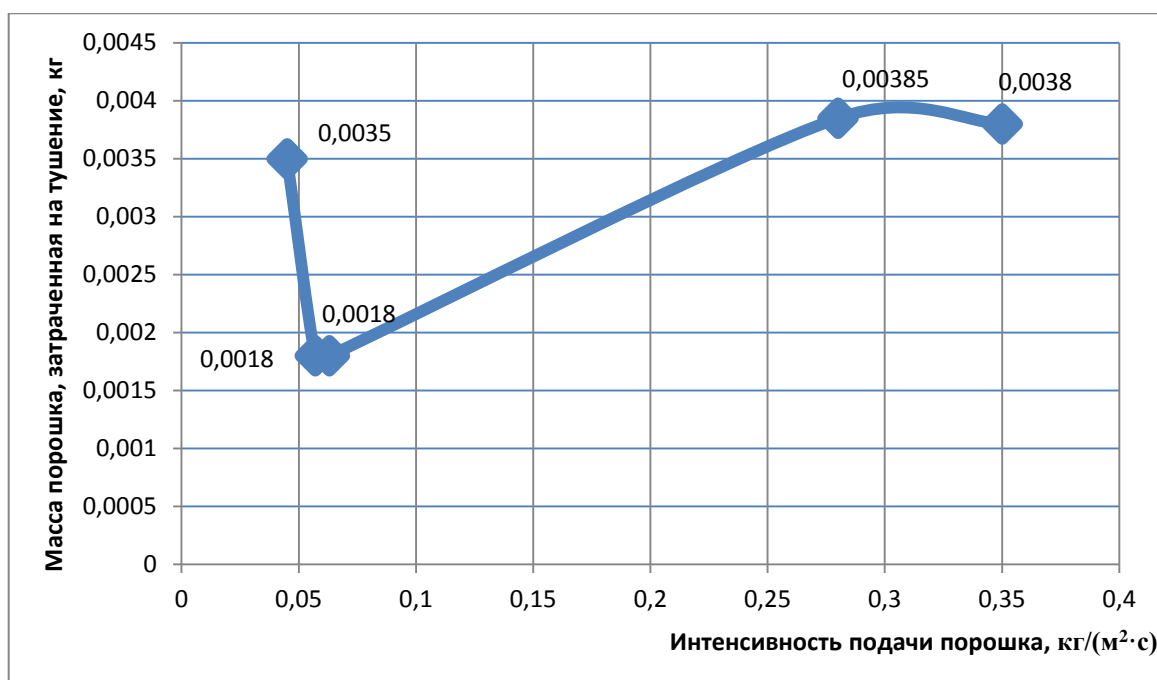


Рисунок 3.23 – Изменение массы порошка, необходимой для тушения, в зависимости от интенсивности подачи

Подобные результаты были описаны в работах А.Н. Баратова, В.В. Добрикова и других [5, 9, 88] при изучении закономерности тушения горючих жидкостей огнетушащими порошковыми составами [89, 90]. Время тушения (τ , с) и удельное количество (Q , кг·м⁻²) состава, необходимое для тушения, зависят от интенсивности подачи порошка (I , кг·м⁻²·с⁻¹). При этом в выражении зависимости $Q=f(I)$ имеет место явно выраженный минимум, то есть, при оптимальной интенсивности подачи достигается наибольшая эффективность тушения. Для любого порошка существует оптимальная удельная интенсивность подачи, при которой удельный расход ОПС минимален [89, 90].

В работе [91] ученые объясняют наличие максимального значения огнетушащей способности порошковых составов, как и снижение темпа уменьшения времени тушения при увеличении интенсивности подачи ОПС, особенностью действия ингибиторов. Она заключается в том, что малые добавки последних во фронт пламени сильно уменьшают скорость реакции окисления горючего, при дальнейшем увеличении концентрации ингибиторов снижение скорости реакции окисления становится менее значительным.

В работе О.Ю. Сабина [92] по итогам проведения лабораторных исследований сделаны выводы о возрастании огнетушащей способности газопорошковой струи при увеличении ее скорости в зоне горения. В работе [83] описана серия экспериментов в лабораторной камере объемом 1 м³, имеющей прямоугольное основание размером 1400x715 мм и высоту 1000 мм. В центре камеры на высоте 650 мм от основания размещался распылитель. Давление подачи порошка изменялось и составляло 1,5; 2 и 4 атм. Площадь горения изменялась и составляла 0,031; 0,045; 0,047 и 0,059 м². Указано, что устойчивое тушение достигалось после увеличения давления подачи газопорошковой смеси до 4 атм. По результатам опытов сделаны выводы, что тушения удалось добиться при повышении интенсивности подачи огнетушащего порошка и увеличении скоростных характеристик газопорошкового потока [83].

Мы же на графике (рис. 3.23) наблюдаем обратное – при ограниченном количестве огнетушащего вещества последующее увеличение интенсивности отрицательно влияет на тушение модельного очага [94].

В исследованиях на лабораторной установке определено оптимальное значение интенсивности подачи огнетушащего порошка.

Исходя из проведенных опытов, обеспечение предприятий химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности порошковыми огнетушителями следует осуществлять с учетом оптимальной интенсивности подачи порошка для прекращения горения. Оптимальную интенсивность подачи рекомендуется определять по формуле:

$$I_{opt} = I_{табл} \cdot K, \quad (3.70)$$

где: I_{opt} – оптимальная интенсивность подачи огнетушащего порошка в зону горения, кг/м² с;

$I_{табл}$ – табличное значение интенсивности подачи огнетушащего порошка в зону горения, кг/м² с;

K – коэффициент, учитывающий отличие табличного значения от оптимальной интенсивности (определяется опытным путем).

Полученная оптимальная интенсивность подачи огнетушащего порошка на лабораторной установке ($0,052 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) сопоставима с экспериментальными данными А.Н. Баратова. Так, например, в исследованиях [88] интенсивность ОПС для марки ПМ составила $0,073 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

3.5 Определение преобладающего огнетушащего эффекта огнетушащего порошка

Способность огнетушащих порошков оказывать влияние на процессы теплоприхода (ингибирования реакции горения) и теплоотвода (охлаждение зоны реакции частицами порошка, отбор тепла при испарении частиц и огнепреграждающий эффект) определяет высокую огнетушащую способность и скорость прекращения горения.

Среди ученых, занимающихся исследованиями процессов прекращения горения огнетушащими порошками, есть различные мнения о преобладающем огнетушащем эффекте порошков.

С целью определения преобладающего огнетушащего эффекта проведены лабораторные исследования с использованием порошка Волгалит-АВС. Исследования проводились на лабораторной установке по тушению ЛВЖ, приведенной на рис. 2.10 (см. Глава 2 настоящего диссертационного исследования). Для исследований огнетушащий порошок Волгалит-АВС разделили ситовым методом на фракции до 40 мкм, от 40 мкм до 70 мкм и свыше 70 мкм [98].

Результаты исследований приведены на рис. 3.24.

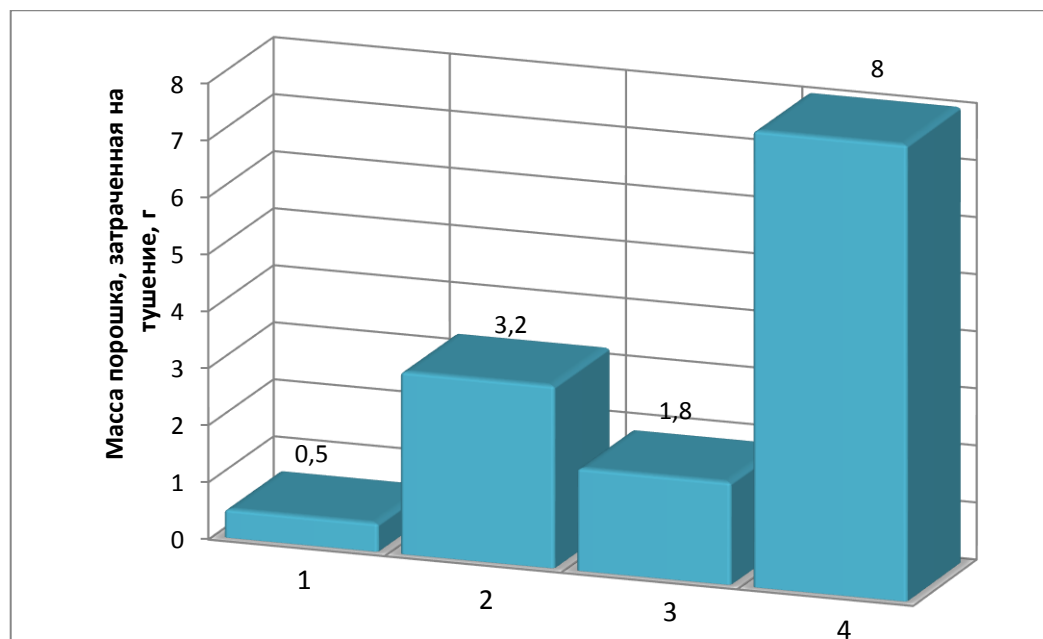


Рисунок 3.24 – Зависимость огнетушащей способности огнетушащего порошка от дисперсности

1 – порошок дисперсностью менее 40 мкм; 2 – порошок дисперсностью 40–70 мкм; 3 – порошок Волгалит-АВС, выпускаемый предприятием; 4 – порошок дисперсностью более 70 мкм

Установлено, что для прекращения горения ЛВЖ одинаковой площади огнетушащего порошка дисперсностью до 40 мкм потребовалось 0,5 г, дисперсностью от 40 до 70 мкм – 3,2 г, стандартным порошком – 1,8 г. Прекращение горения порошком дисперсностью более 70 мкм, массой 8 г на лабораторной установке не достигнуто. На диаграмме условно показано тушение при подаче 8 г [98].

По результатам проведенных лабораторных исследований можно сделать вывод в подтверждение следующего положения ученых [14, 19]: определяющими и преобладающими процессами при тушении порошками являются процессы ингибирования в гомогенной фазе. Происходит ингибирование продуктами испарения при разложении порошков. Исследователями [23, 24] установлено, что при тушении подвергаются разложению частицы дисперсностью 5...20 мкм при температуре более 600 К. В разделе 3.3.3 данного диссертационного исследования установлено, что добавка «ГМД-20NT» способствует разложению более крупных

частиц порошка, при этом увеличивается содержание газообразных продуктов разложения, влияющих на прекращение горения. Лабораторные исследования свидетельствуют о преобладающем ингибирующем воздействии порошков в гомогенной фазе при тушении модельного очага.

3.6 Определение интенсивности испарения легковоспламеняющейся жидкости при покрытии поверхности слоем огнетушащих порошковых составов

Для оценки влияния добавок сорбентов на интенсивность испарения при ликвидации разлива ЛВЖ в лабораторных условиях проведены исследования при покрытии поверхности слоем огнетушащих составов с различными видами добавок и с различной концентрацией их в огнетушащем порошке по методике [99].

Исследования проведены при температуре 24 °С, атмосферном давлении 745 мм, влажности 45 % (отн.). В качестве ЛВЖ использовался бензин АИ-92, диаметр емкости – 92 мм. Интенсивность испарения определялась по потере массы ЛВЖ на электронных весах марки Mettler Toledo AL54-IC [63].

Результаты исследований приведены на рис. 3.25, 3.26. На рис. 3.25 приведены данные при толщине слоя порошковых составов 6,0 мм, на рис. 3.26 – 15 мм.

Лабораторные исследования показали, что наиболее эффективно покрытие огнетушащими составами поверхности испарения ЛВЖ в начальное время. Слой огнетушащего порошка с добавкой графита (15 %) толщиной 15 мм снижает интенсивность испарения на 45 %, следовательно, при разлившейся жидкости, к примеру, на территории АЗС эффективным способом предотвращения воспламенения может быть покрытие ЛВЖ огнетушащим порошком с добавкой сорбентов.

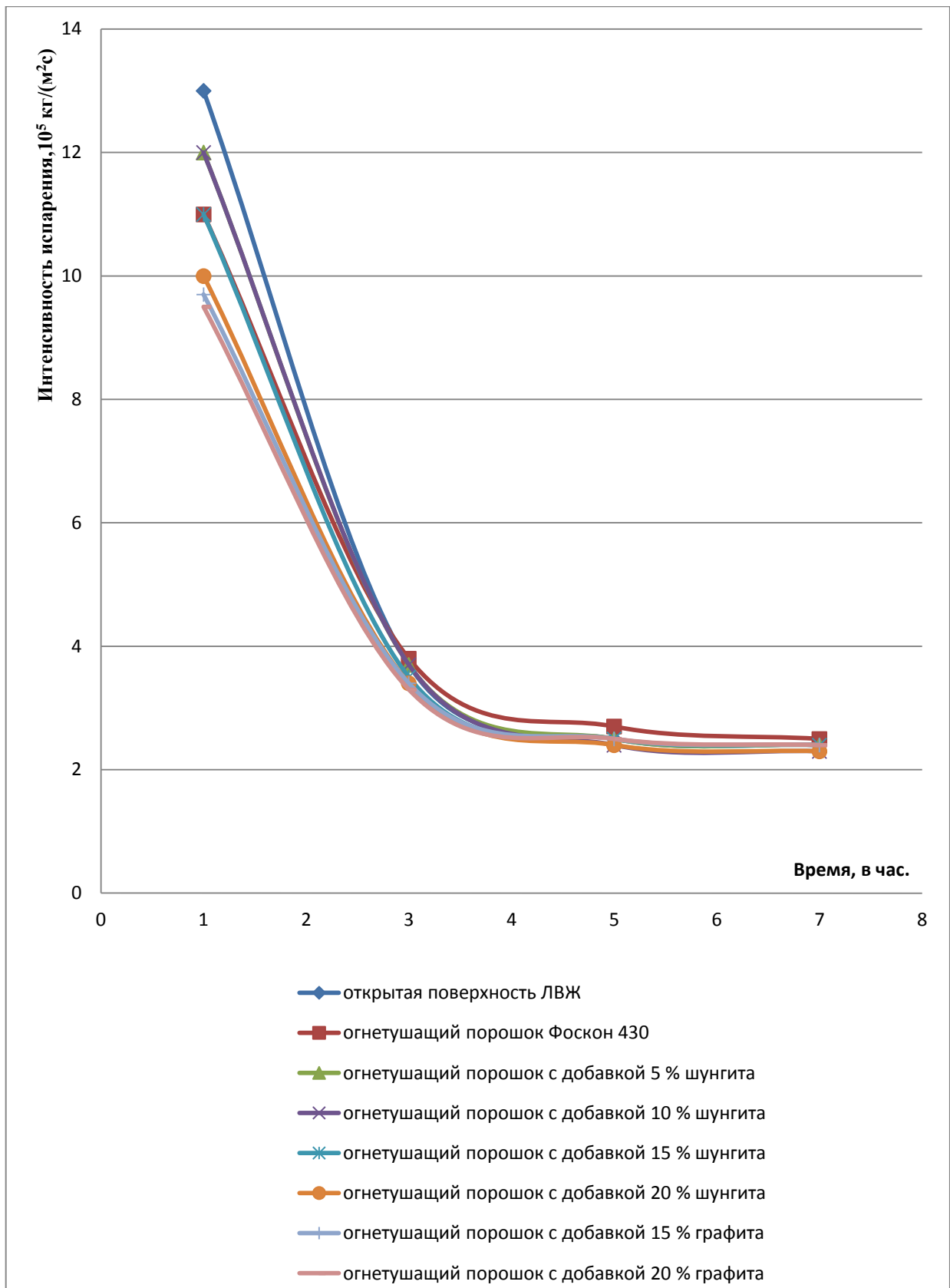


Рисунок 3.25 – Изменение интенсивности испарения ЛВЖ во времени при толщине слоя порошковых составов 6 мм

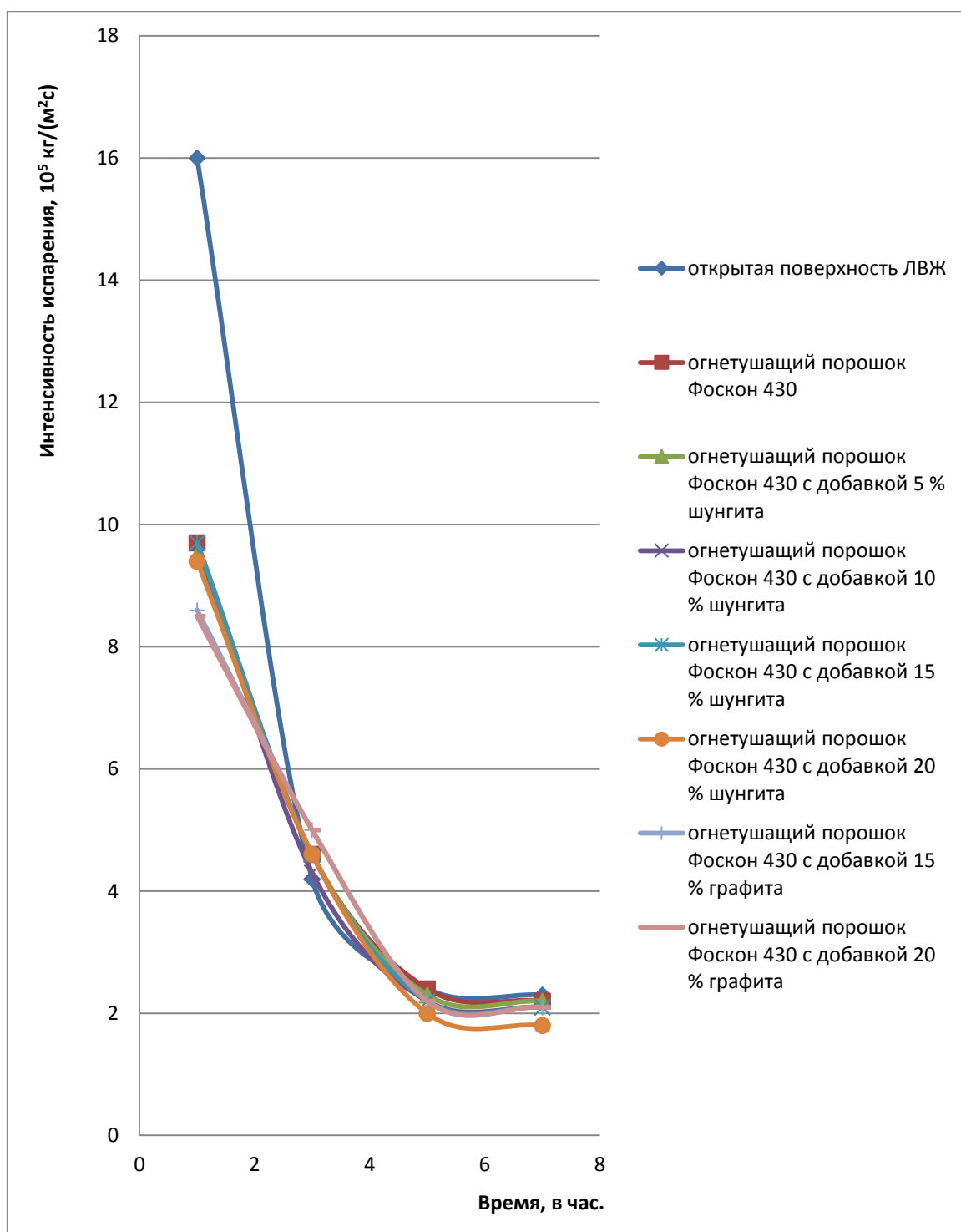


Рисунок 3.26 – Изменение интенсивности испарения ЛВЖ во времени при толщине слоя порошковых составов 15 мм

3.7 Полигонные и промышленные испытания

Для оценки соответствия полученных результатов лабораторных исследований параметрам тушения реальных пожаров порошковыми огнетушителями были проведены полигонные и промышленные испытания по тушению модельных очагов пожара.

Испытания по определению огнетушащей способности при тушении модельных очагов пожара класса А и класса В порошковым составом с добавками шунгита, окисленного графита, микрокапсулированного хладона проводились на открытом воздухе. Подготовка оборудования и методика проведения испытаний по тушению порошковым огнетушителем модельного очага горения осуществлялись в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53280.4-2009 [41].

Проведение испытаний по тушению штабеля древесины (модельного очага пожара класса А) осуществлялось с использованием следующего оборудования и измерительных приборов:

- модельный очаг класса 1А, представляющий собой штабель древесины в виде куба, согласно приложению Б ГОСТ Р 53280.4-2009 [41];
- стальные уголки на опорах высотой 400 ± 10 мм для размещения штабеля из древесины, согласно приложению Б ГОСТ Р 53280.4-2009 [41];
- металлический поддон, предназначенный для бензина и помещаемый под штабель древесины (размеры поддона 400 х 400 х 100 мм);
- пирометр CENTER 350 infrared thermometer [103].

Объем воды, используемой в качестве подложки в противне, измерялся мерной емкостью с точностью 0,1 л (объем воды составлял во всех экспериментах 4,8 л).

Объем бензина АИ-92, выливаемого в противень, измерялся мерной емкостью с точностью 0,0001 л (объем бензина в каждом эксперименте составлял 1,1 л).

Время свободного горения штабеля древесины (без учета горения бензина) до подачи огнетушащего порошка на горящую поверхность (при всех испытаниях

время свободного горения принято равным 7 ± 1 мин) при проведении испытаний определялось по секундомеру JS-7064.

Проведение испытаний по тушению ЛВЖ (модельного очага пожара класса В) осуществлялось с использованием следующего оборудования и измерительных приборов:

- модельный очаг класса В представляет собой прямоугольный стальной противень из листовой стали размерами (1200 x 1750) мм, высотой (230 ± 5) мм и толщиной стенки 2,5 мм.

Заряженные огнетушители различными порошковыми составами номеруются и взвешиваются на электронных весах с точностью до 0,001 кг. Каждый огнетушитель снабжается этикеткой с указанием номера, состава огнетушащего вещества и массы. Масса огнетушащего состава изменялась в пределах от 2,520 до 3,020 кг.

Постоянные параметры, принятые во всех экспериментах:

- объем воды, используемой в качестве подложки в противне, измерялся мерной емкостью с точностью 1 л (объем воды составлял во всех экспериментах 40 л);

- объем бензина АИ-92, выливаемого в противень, измерялся мерной емкостью с точностью 0,0001 л (объем бензина в каждом эксперименте составлял 4 л);

- время свободного горения горючего в противне до подачи огнетушащего порошка на горящую поверхность (при всех испытаниях время свободного горения принято равным (10 ± 5) с) при проведении испытаний определялось по секундомеру.

Оборудование и измерительные приборы, использованные при проведении экспериментов:

- огнетушитель порошковый ОП-3, согласно ГОСТ Р 53280.4-2009 [41];
- электронные весы машины для заправки огнетушащим порошком GFM8-2 AUTOMATIC POWDER FILLING MACHINE;
- секундомер JS-7064, ГОСТ Р 53280.4-2009 [41];

- мерная емкость объемом 500 мл ГОСТ 1770-74 [104].

Вес каждого огнетушителя после тушения горения определялся на электронных весах с точностью 0,001 кг. По значениям взвешивания огнетушителей до использования и после определяли количество порошка или порошковой смеси, использованной на тушение модельного очага.

3.7.1 Результаты испытаний по тушению модельного очага пожара класса А

Промышленные испытания огнетушащей способности порошковых смесей в сравнении с огнетушащей способностью порошка «Волгалит-АВС» и «Фоскон-430» осуществлялись по количеству смеси (порошка), использованной из огнетушителей для тушения модельного очага пожара класса А при тушении древесины. Очаг пожара класса А принят в соответствии с ГОСТ Р 53280.4-2009 [41] – горение штабеля древесины, состоящего из 72 брусков размерами 500 x 39 x 39 мм. Общий вид модельного очага пожара класса А изображен на рис. 3.27.

Примененные в испытаниях огнетушащие порошки марки «Волгалит-АВС» и «Фоскон-430» в качестве основного огнетушащего агента содержат фосфаты аммония.



Рисунок 3.27 – Модельный очаг пожара класса 1А

Испытания проводились на полигоне ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России при температуре наружного воздуха 7...9 °С, при скорости ветра 0,1...0,2 м/с.

Проведены промышленные испытания сравнительной оценки огнетушащей способности огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» и смеси порошка «Волгалит-АВС» с добавками микрокапсул с фреоном в определенном процентном содержании (5%, 10%, 15%).

Тушение модельного очага пожара показано на рис. 3.28.



Рисунок 3.28 – Тушение модельного очага пожара класса 1А (горение штабеля древесины) огнетушителем ОП-3

Испытания огнетушащей способности порошковых смесей проводились в сравнении с огнетушащей способностью порошка «Волгалит-АВС» по количеству смеси (порошка), использованной из огнетушителей для тушения модельного очага пожара при тушении древесины.

Результаты испытаний приняты по среднему значению количества огнетушащего порошка по тушению трех очагов пожара.

Результаты испытаний приведены на рис. 3.29.

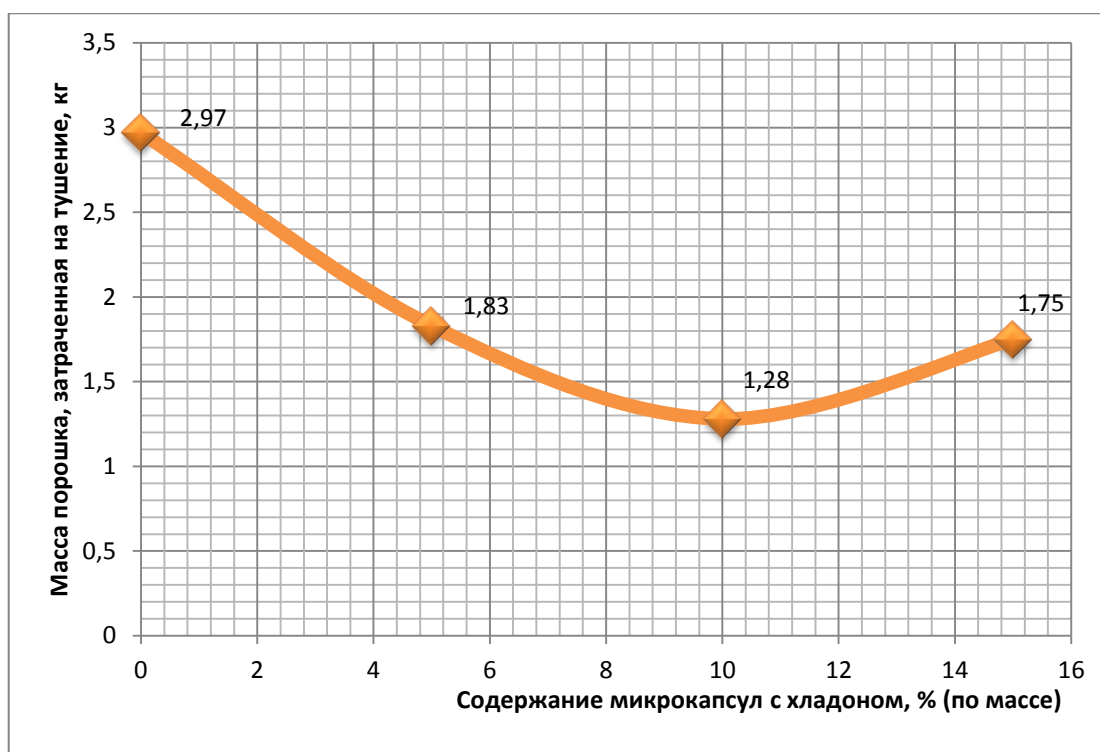


Рисунок 3.29 – Изменение количества порошка на тушение модельного очага пожара в зависимости от процентного содержания микрокапсул с фреоном

Наибольший огнетушащий эффект наблюдался при 10 % концентрации капсулированных добавок. При этом порошковой смеси для тушения модельного очага пожара при горении штабеля древесины на 56,6 % меньше, чем при тушении порошком «Волгалит-АВС».

Промышленные испытания выявили положительный эффект при тушении модельного очага пожара (горения штабеля древесины) порошком с микрокапсулами фреона.

При испытаниях выявлен эффект дотушивания разрушающимися капсулами возникающих очагов горения в брусках. На рис. 3.30 зафиксированы капсулы, разрушающиеся от температуры возникающих очагов горения на поверхности брусков.

Испытания показали, что применение добавок (микрокапсул с фреоном) в огнетушащем порошке «Волгалит-АВС» способствует повышению огнетушащей эффективности порошка при тушении модельного очага пожара класса 1А (горение штабеля древесины).



Следы от разрушившихся микрокапсул на слое порошка.



Рисунок 3.30 – Фото следов разрушенных капсул
на поверхности брусков древесины

Проведены промышленные испытания сравнительной оценки огнетушащей способности огнетушащего порошка «Фоскон-430» и смеси порошка «Фоскон-430» [106] с добавками окисленного графита в определенном процентном содержании (5%, 10%, 15%, 20%) по тушению модельных очагов пожара класса А.

Испытания огнетушащей способности порошковых смесей проводились в сравнении с огнетушащей способностью порошка «Фоскон-430» по количеству смеси (порошка), использованной из огнетушителей для тушения модельного очага пожара при тушении древесины.

Результаты испытаний приведены на рис. 3.31.

Проведенные испытания показали, что применение добавки окисленного графита в огнетушащий порошок «Фоскон-430» способствует повышению огнетушащей эффективности порошка при тушении модельного очага пожара класса А. Наибольший огнетушащий эффект наблюдался при 10% концентрации окисленного графита. При этом порошковой смеси для тушения модельного очага потребовалось на 25 % меньше, чем при тушении порошком «Фоскон-430».

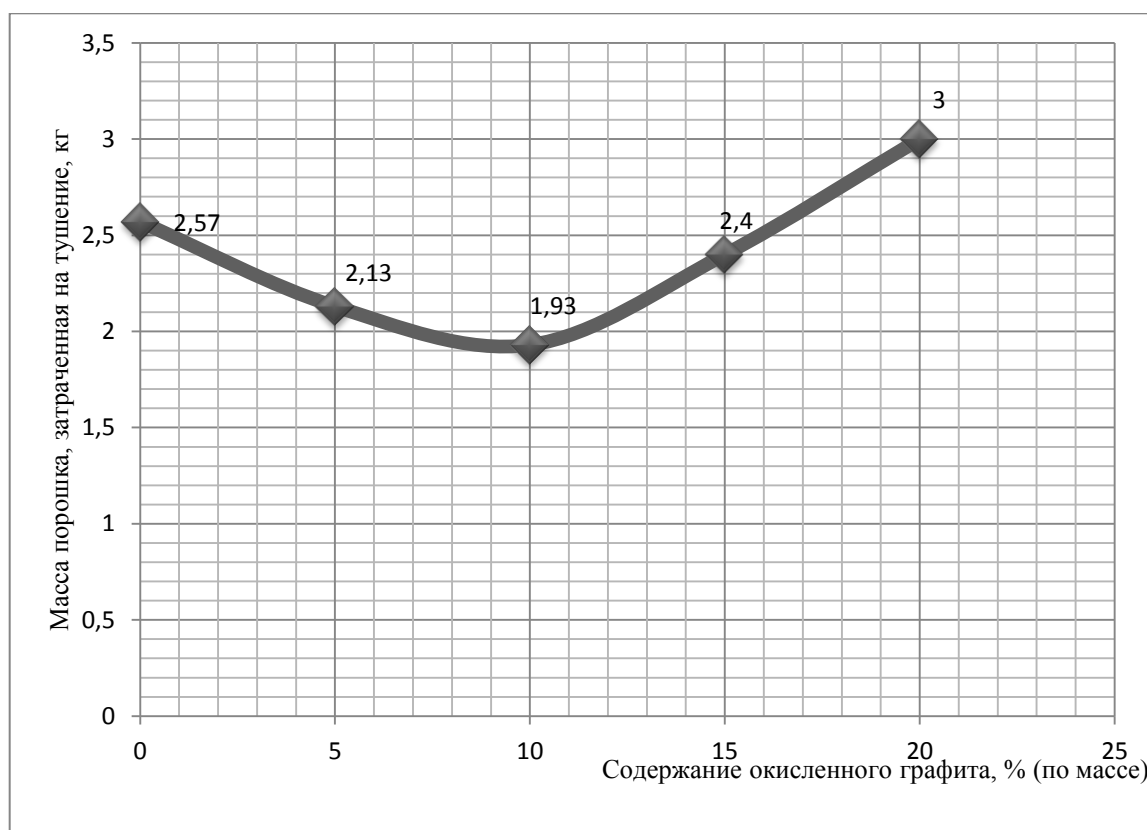


Рисунок 3.31 – Изменение количества порошка на тушение модельного очага пожара в зависимости от процентного содержания окисленного графита

Проведены промышленные испытания сравнительной оценки огнетушащей способности огнетушащего порошка «Фоскон-430» и смеси порошка «Фоскон-430»

[106] с шунгитом в определенном процентном содержании (5%, 10%, 15%, 20%) по тушению модельных очагов пожара класса А.

Испытания огнетушащей способности порошковых смесей проводились в сравнении с огнетушащей способностью порошка «Фоскон-430» по количеству смеси (порошка), использованной из огнетушителей для тушения модельного очага пожара при тушении древесины. Результаты испытаний приведены на рис. 3.32.

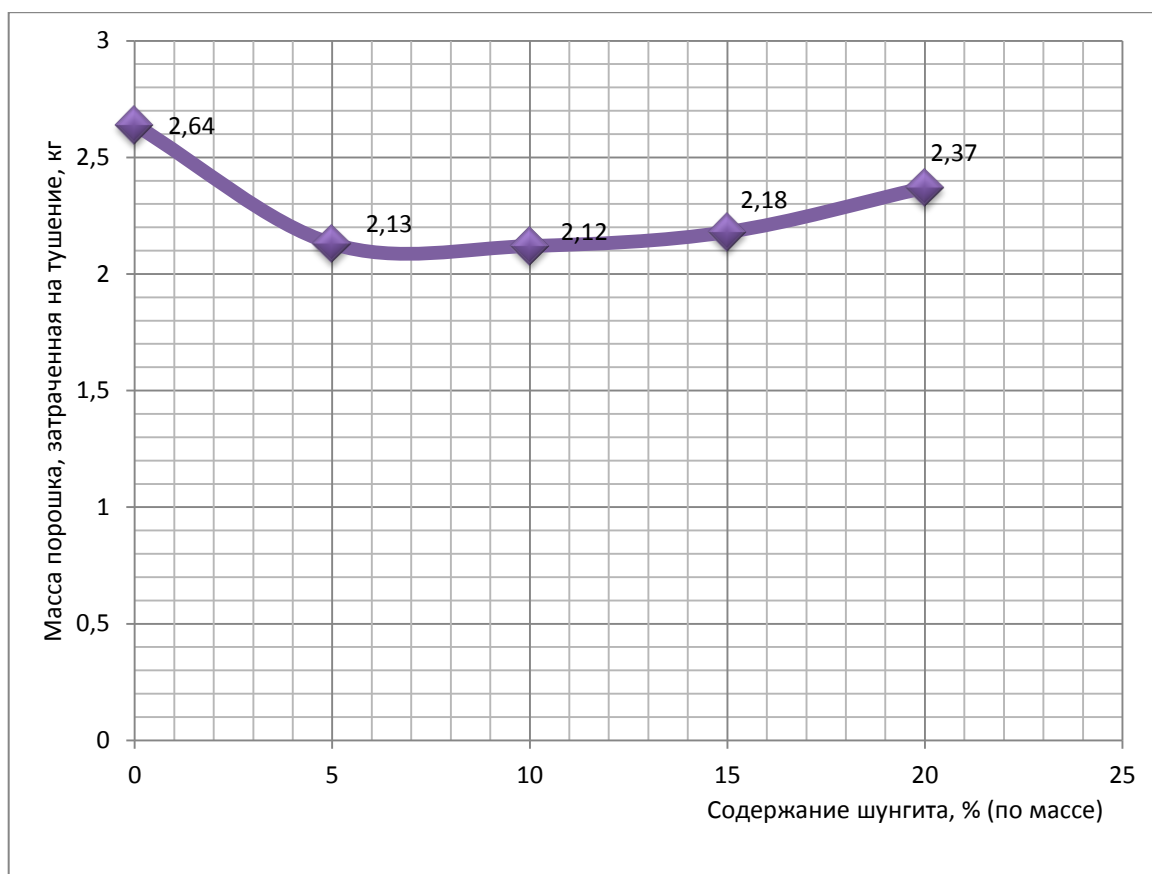


Рисунок 3.32 – Изменение количества порошка на тушение модельного очага пожара в зависимости от процентного содержания шунгита

Проведенные испытания показали, что применение добавки шунгита в огнетушащий порошок «Фоскон-430» повышает огнетушащую эффективность порошка при тушении модельного очага пожара класса А. Наибольший огнетушащий эффект наблюдался при 10% концентрации шунгита. При этом порошковой смеси для тушения модельного очага потребовалось на 19,7 % меньше, чем при тушении порошком «Фоскон-430».

На полигоне АО «В.В.П.» проведены промышленные испытания по определению огнетушащей способности опытной партии огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой на основе торфяного сырья с концентрацией 1,5 % (по массе). Результаты испытаний приведены на рис. 3.33.

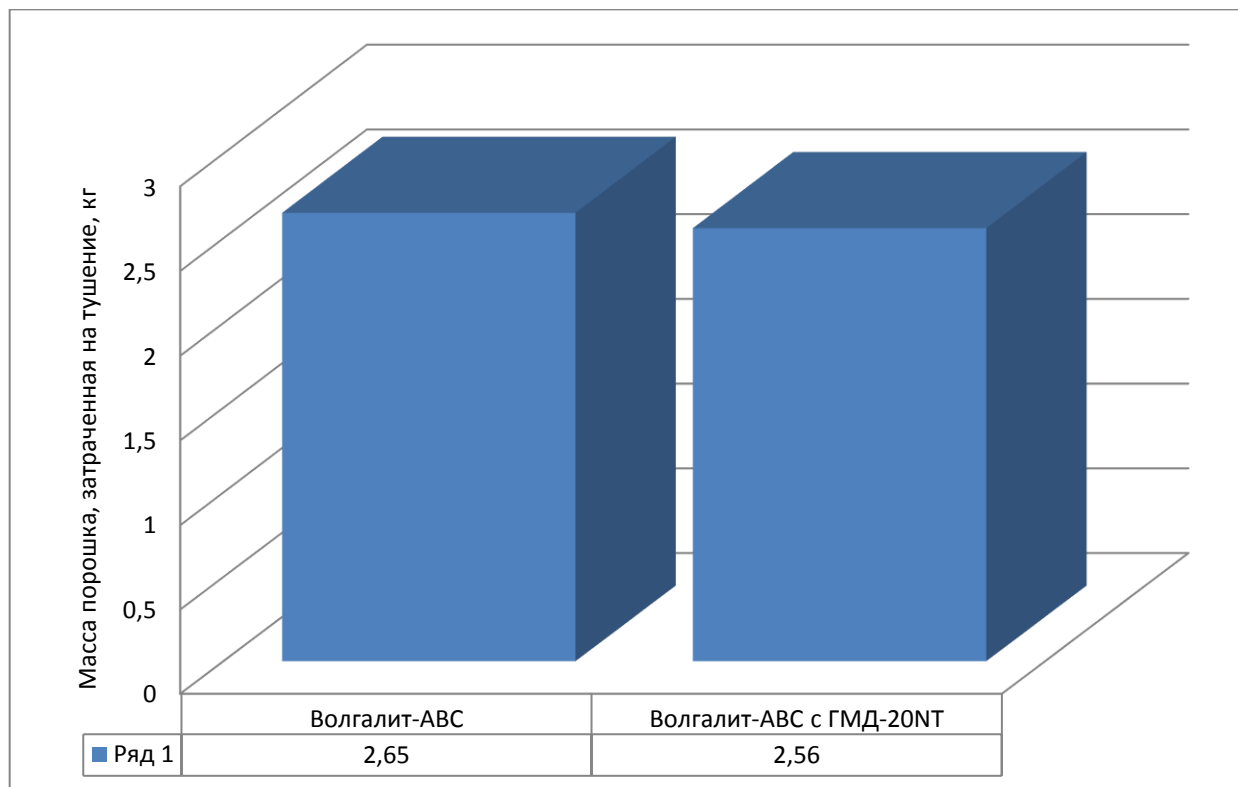


Рисунок 3.33 – Количество порошка, затраченное на тушение модельного очага пожара класса А1 огнетушащим порошком «Волгалит-АВС» и «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой ГМД-20NT (1,5 % по массе)

Результаты испытаний порошка с гидрофобизирующей добавкой ГМД-20NT на основе торфяного сырья с концентрацией 1,5 % (по массе) из экспериментальной партии подтверждают возможность использования указанного гидрофобизирующего вещества в огнетушащем порошке. Количества порошка с ГМД-20NT для тушения модельного очага класса А1 при испытаниях потребовалось на 3,4% меньше, и при этом параметры порошка соответствуют требуемым значениям ГОСТ Р 53280.4-2009.

3.7.2 Результаты испытаний по тушению модельного очага пожара класса В

По каждому порошковому составу проводилось тушение трех очагов. Очаг считался потушенным, если не наблюдалось повторного воспламенения. Тушение модельного очага пожара показано на рис. 3.34.



Рисунок 3.34 – Тушение модельного очага пожара (горение легковоспламеняющейся жидкости) огнетушителем ОП-3

Проведены промышленные испытания сравнительной оценки огнетушащей способности огнетушащего порошка «Фоскон-430» и смеси порошка «Фоскон-430» с окисленным графитом в определенном процентном содержании (5%, 10%, 15%, 20%) по тушению модельных очагов пожара класса В.

Результаты испытаний по тушению модельного очага пожара с различным процентным содержанием окисленного графита в огнетушащем порошке «Фоскон-430» приведены на рис. 3.35.

Проведенные испытания показали, что применение добавки окисленного графита в огнетушащий порошок «Фоскон-430» способствует повышению огнетушащей эффективности порошка при тушении модельного очага пожара

класса В. Такой вывод сделан по количеству израсходованного порошка без добавок в сравнении с количеством израсходованной порошковой смеси с добавкой окисленного графита.

При тушении модельного очага пожара наибольший огнетушащий эффект наблюдался при 15% концентрации окисленного графита. При этом порошковой смеси для тушения модельного очага потребовалось на 34 % меньше, чем при тушении порошком «Фоскон-430».

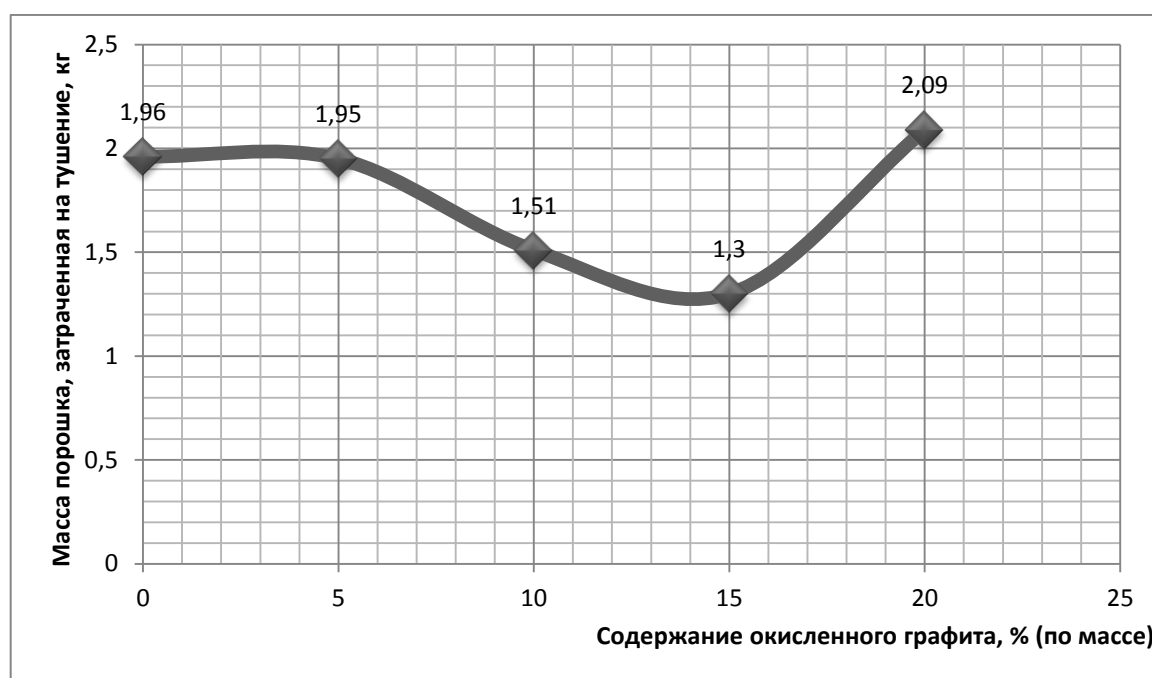


Рисунок 3.35 – Изменение количества порошка на тушение модельного очага пожара класса В в зависимости от процентного содержания окисленного графита

Проведены промышленные испытания сравнительной оценки огнетушащей способности огнетушащего порошка «Фоскон-430» и смеси порошка «Фоскон-430» с шунгитом в определенном процентном содержании (5%, 10%, 15%, 20%) по тушению модельных очагов пожара класса В.

Испытания огнетушащей способности порошковых смесей проводились в сравнении с огнетушащей способностью порошка «Фоскон-430» по количеству смеси (порошка), использованной из огнетушителей ОП-3 для тушения модельного очага пожара класса В.

Результаты испытаний представлены на рис. 3.36.

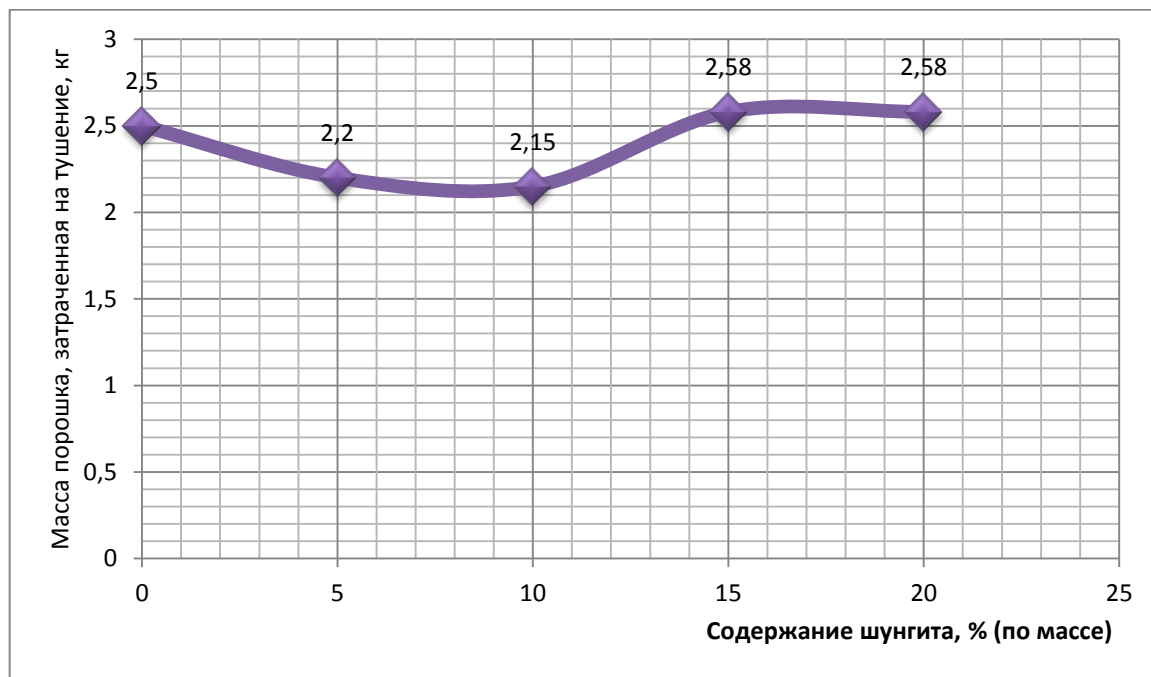


Рисунок 3.36 – Изменение количества порошка на тушение модельного очага пожара класса В в зависимости от процентного содержания шунгита

Проведенные испытания показали, что применение добавки шунгита в огнетушащий порошок «Фоскон-430» способствует повышению огнетушащей эффективности порошка при тушении модельного очага пожара класса В. Такой вывод сделан по количеству израсходованного порошка без добавок в сравнении с количеством израсходованной порошковой смеси с добавкой шунгита. При тушении модельного очага пожара наибольший огнетушащий эффект наблюдался при 10 % концентрации шунгита. При этом порошковой смеси для тушения модельного очага потребовалось на 14 % меньше, чем при тушении порошком «Фоскон-430».

Проведены промышленные испытания сравнительной оценки огнетушащей способности огнетушащего порошка «Фоскон-430» и смеси порошка «Фоскон-430» с микрокапсулами с хладоном в определенном процентном содержании (5%, 10%, 15%) по тушению модельных очагов пожара класса В.

Испытания огнетушащей способности порошковых смесей проводились в сравнении с огнетушащей способностью порошка «Фоскон-430» по количеству

смеси (порошка), использованной из огнетушителей ОП-3 для тушения модельного очага пожара класса В.

Результаты испытаний представлены на рис. 3.37.

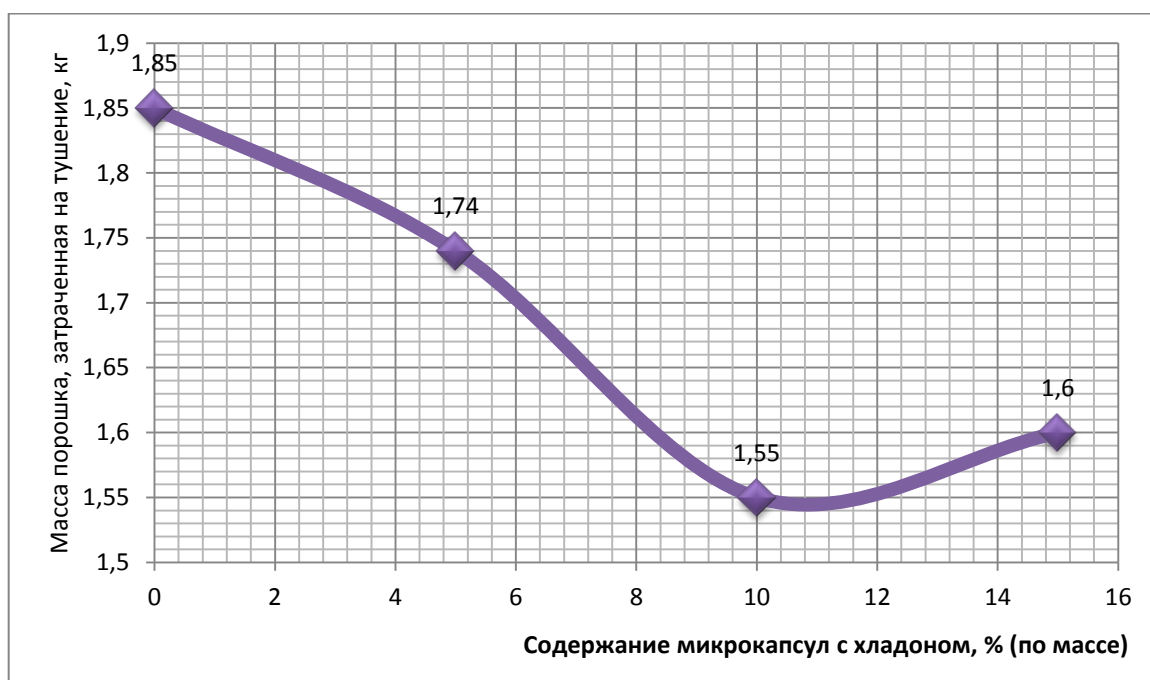


Рисунок 3.37 – Изменение количества порошка на тушение модельного очага пожара класса В в зависимости от процентного содержания микрокапсул с хладоном

Проведенные испытания показали, что применение добавки микрокапсул с хладоном в огнетушащий порошок «Фоскон-430» способствует повышению огнетушащей эффективности порошка при тушении модельного очага пожара класса В. Такой вывод сделан по количеству израсходованного порошка без добавок в сравнении с количеством израсходованной порошковой смеси с добавкой микрокапсул с хладоном. При тушении модельного очага пожара наибольший огнетушащий эффект наблюдался при 10 % концентрации микрокапсул с хладоном. При этом порошковой смеси для тушения модельного очага потребовалось на 16 % меньше, чем при тушении порошком «Фоскон-430».

На полигоне АО «В.В.П.» проведены промышленные испытания по определению огнетушащей способности опытно-промышленной партии партии огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой на основе

торфяного сырья с концентрацией 1,5 % (по массе) по тушению модельного очага пожара 55В, рис. 3.38 (в соответствии с ГОСТ Р 53280.4-2009).

Результаты испытаний приведены на рис. 3.39.



Рисунок 3.38 – Тушение модельного очага пожара класса 55В огнетушащим порошком «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой ГМД-20НТ (1,5 % по массе)

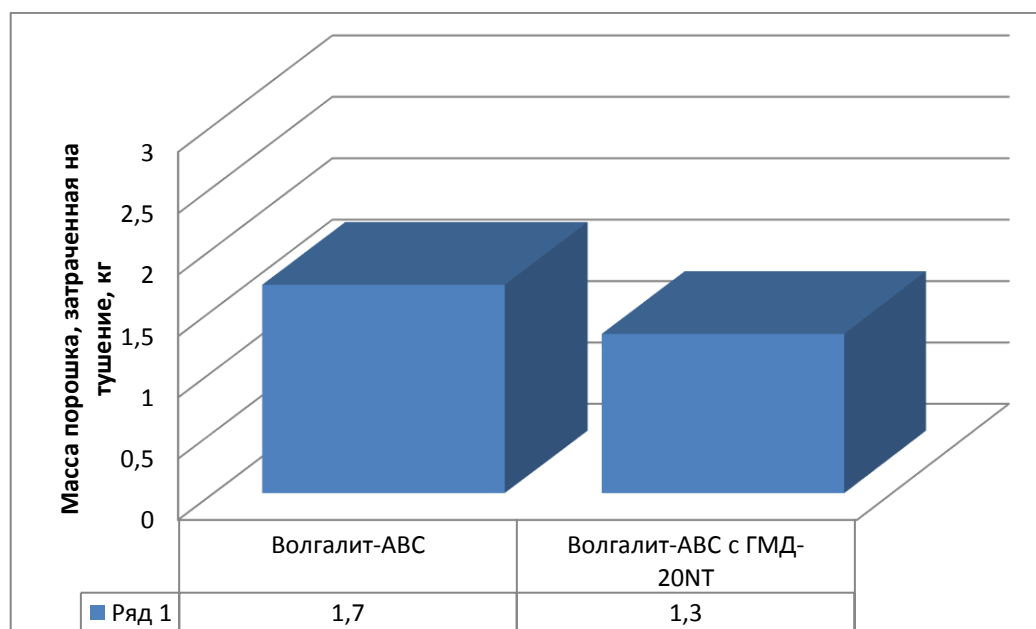


Рисунок 3.39 – Количество порошка, затраченное на тушение модельного очага пожара класса 55В огнетушащим порошком «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой ГМД-20НТ (1,5 % по массе)

Результаты испытаний экспериментальной партии порошка с гидрофобизирующей добавкой ГМД-20NT на основе торфяного сырья с концентрацией 1,5 % (по массе) подтверждают возможность использования указанного гидрофобизирующего вещества в огнетушащем порошке. Порошка с ГМД-20NT для тушения модельного очага класса 55В при испытаниях потребовалось на 23,5% меньше по сравнению с выпускаемым порошком, что не превышает допустимых значений по условиям ГОСТ Р 53280.4-2009.

3.7.3 Проверка адекватности результатов лабораторных и промышленных испытаний

Общие тенденции результатов и формы графиков изменения огнетушащей способности порошковых смесей лабораторных исследований и промышленных испытаний совпадают. Это позволяет с достаточной мерой достоверности заменить промышленные испытания исследованиями на лабораторной установке, что позволит сократить временные и финансовые затраты на проведение исследований.

Огнетушащие порошки с определенным процентным содержанием добавок увеличивают огнетушащую способность, которая оценивалась по количеству огнетушащего порошка, использованного на тушение. Эти свойства зафиксированы при исследованиях на лабораторной установке и при промышленных испытаниях.

В качестве примера на рис. 3.40 приведены графики изменения огнетушащей способности порошков с добавками шунгита, определенные на лабораторной установке и при промышленных испытаниях.

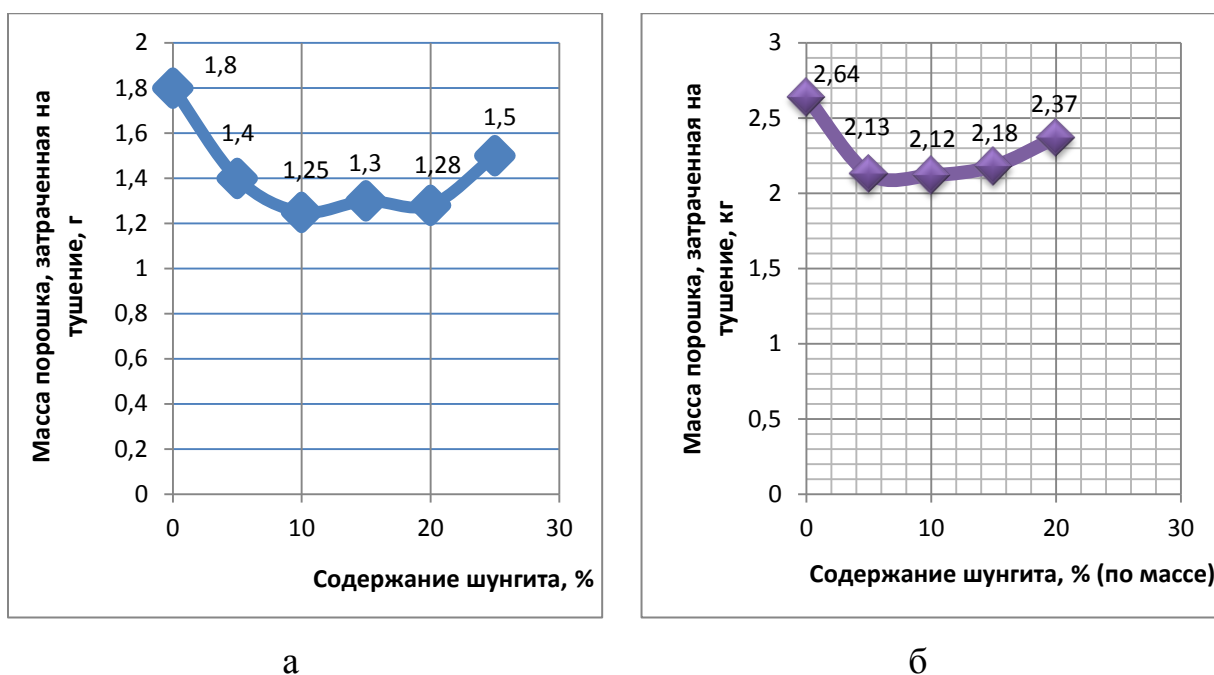


Рисунок 3.40 – Изменения огнетушащей способности порошков с добавками шунгита: а – лабораторные исследования; б – промышленные испытания

Общей зависимости изменения огнетушащей способности для порошковых смесей с различными добавками и разным их процентном содержании при тушении очага пожара класса А на лабораторной установке и при промышленных испытаниях не выявлено. Аналогичная зависимость установлена и при тушении очага пожара класса В. Следовательно, по результатам лабораторных исследований на лабораторной установке возможно оценить тенденции изменений огнетушащей способности порошков различных составов и видов по сравнению с выбранным образцом.

При тушении на промышленных испытаниях подача порошка отличалась от подачи при лабораторных исследованиях. Принципиальное различие заключается в том, что на лабораторной установке порошок подавался сверху на полную площадь горения, на промышленных испытаниях подача осуществлялась сбоку и не на полную площадь одновременно, поэтому для сравнения и прогнозирования результатов промышленных испытаний на основе исследований на лабораторной установке следует ввести поправочный коэффициент, учитывающий масштабность и подачу порошка. Оценку изменения количества порошка, необходимого для

тушения модельного очага огнетушителем ОП-3 на основе лабораторных исследований, можно оценить по следующей зависимости:

$$N = K \cdot N_{л}, \quad (3.71)$$

где N – изменение количества порошка при сравнительной оценке при тушении модельного очага огнетушителем ОП-3, в %;

K – коэффициент учитывающий масштабность и подачу порошка при тушении огнетушителем ОП-3;

$N_{л}$ – изменение количества порошка при сравнительной оценке при тушении модельного очага на лабораторной установке, в %.

Для промышленного испытания изменения огнетушащей способности порошков с добавками шунгита коэффициент $K = 0,63$.

Значения коэффициента K для огнетушащих порошков с исследуемыми добавками (окисленный графит, микрокапсулы с хладоном, шунгит) находятся в пределах 0,63–0,68 в зависимости от типа добавки.

На основе лабораторных исследований на лабораторной установке, разработанной нами на кафедре пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, возможно прогнозирование результатов промышленных испытаний с достаточно точными результатами.

Для оценки различий между выборками применим критерий Манна-Уитни. Критерий предназначен для оценки различий между двумя выборками по уровню какого-либо признака, количественно измеренного. Он позволяет выявлять различия между малыми выборками.

$$u_{эмп} = n_1 n_2 + \frac{n_x(n_x+1)}{2} - T_x, \quad (3.72)$$

где T_x – наибольшая сумма рангов;

n_x – наибольшая из объемов выборок n_1 и n_2 .

Сравнение результатов показывает, что значения выборки Y несколько выше, чем выборки X , поэтому первой считаем выборку Y . Таким образом, нам требуется определить, можно ли считать имеющуюся разницу между баллами существенной.

Проранжируем данные испытаний, графики которых представлены на рис. 3.40. При ранжировании объединяем две выборки в одну. Ранги присваиваются в порядке возрастания значения измеряемой величины, т.е. наименьшему рангу соответствует наименьший балл. Заметим, что в случае совпадения баллов для нескольких значений ранг такого балла следует считать как среднее арифметическое тех позиций, которые занимают данные баллы при их расположении в порядке возрастания.

Используя предложенный принцип ранжирования, получим табл. 3.11 рангов переменных величин.

Таблица 3.11 – Ранги переменных величин

X	Ранг X	Y	Ранг Y
1,25	1	1,272	2
1,28	4	1,278	3
1,3	5	1,308	6
1,4	7	1,422	8
1,8	10	1,584	9
Сумма	27	Сумма	28

Этих данных достаточно, чтобы воспользоваться формулой расчёта эмпирического значения критерия:

$$u_{\text{эмп}} = 5 \cdot 5 + \frac{5(5+1)}{2} - 28 = 12. \quad (3.73)$$

Гипотеза H_0 о незначительности различий между выборками принимается, если $U_{кр} < u_{\text{эмп}}$. В противном случае H_0 отвергается и различие определяется как существенное. $U_{кр}$ - критическая точка, которую находят по таблице Манна-Уитни.

Найдем критическую точку $U_{кр}$.

По таблице находим $U_{кр}(0.05) = 9$.

По таблице находим $U_{кр}(0.01) = 4$.

Так как $U_{кр} < u_{эмт}$, принимаем нулевую гипотезу с вероятностью 95%, различия в уровнях выборок можно считать несущественными.

Для порошковых составов с другими добавками условие $U_{кр} < u_{эмт}$ выполняется.

3.7.4 Полигонные испытания по одновременному тушению горячей жидкости порошком и пеной

Полигонные испытания порошковых огнетушителей с экспериментальным порошком и пенных огнетушителей при совместном тушении модельного очага пожара жидкости проведены на полигоне ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Испытания проводились с целью сравнительной оценки огнетушащей способности порошковых и пенных огнетушителей при одновременном тушении горения жидкости (модельного очага пожара класса 55В) по сравнению с тушением порошковым и пенным огнетушителями в отдельности.

Испытания проведены с использованием следующего оборудования и измерительных приборов:

- огнетушители порошковые ОП-4, заправленные экспериментальным огнетушащим порошком «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой ГМД-2 на основе торфа;

- огнетушители воздушные пенные ОВП-10;

- весы электронные CAS PB-150;

- фотоаппарат;

- термоанемометр Testo 425;

- секундомер марки JS-7064;

- модельный очаг пожара класса 55В (горение бензина в круглом противне из листовой стали диаметром 1480 ± 15 мм, высотой 230 ± 5 мм и толщиной стенки 2,5 мм, площадь очага пожара $1,73 \text{ м}^2$);

- бензин А-92.

Тушение модельного очага пожара представлено на рис. 3.41.



Рисунок 3.41 – Одновременное тушение модельного очага пожара класса 55В
порошковым и пенным огнетушителями

Одновременное тушение порошковыми и пенными огнетушителями модельного очага пожара 55В проводилось при скорости ветра 1 м/с с порывами до 2,0 м/с. Температура наружного воздуха 10 °С.

Результаты испытаний сведены в табл. 3.12 и табл. 3.13.

Таблица 3.12 – Результаты испытаний по тушению модельного очага пожара

№ испыт.	Тип огнетушителя	Вес огнетушителя, в кг		Масса использованного огнетушащего вещества, в кг	Расход огнетушащего вещества, в кг/м ²	Время тушения, в с
		до испытания	после испытания			
1.	ОП-4 (Эксперим.)	6,20	4,90	1,30	0,75	4,5
	ОВП-10	13,50	11,50	2,00	1,16	
2.	ОП-4 (Эксперим.)	5,15	3,40	1,75	1,01	6,0
	ОВП-10	13,90	11,80	2,10	1,21	
3.	ОП-4 (Эксперим.)	5,10	3,95	1,15	0,66	4,2
	ОВП-10	13,00	11,00	2,00	1,16	
Средние значения		ОП-4		1,40	0,81	5,17
		ОВП-10		2,03	1,18	

Таблица 3.13 – Результаты испытаний по тушению модельного очага пожара

№ п/п	Тип огнетушителя	Масса использованного огнетушащего вещества, в кг	Расход огнетушащего вещества, в кг/м ²	Время тушения, в с
1.	ОП-4 (Вексон-АВС)	2,10	1,21	6,3
2.	ОП-4 (Эксперим.)	1,53	0,88	5,8
3.	ОВП-10	3,22	1,86	13,7

Проведенные испытания подтвердили возможность одновременного применения порошковых и пенных огнетушителей при тушении горения жидкостей. При этом сокращается время тушения модельного очага пожара класса 55В и снижается расход огнетушащих средств. При попытке повторного поджигания воспламенение жидкости не наблюдалось.

Применение порошковых и пенных огнетушителей для тушения горячей жидкости повышает эффективность тушения, снижает время тушения, повышает надежность прекращения горения.

3.8 Выводы по третьей главе

Анализируя графики, полученные в п. 3.1 и 3.2 (рисунки 3.2–3.11), можно сделать ряд выводов относительно предложенных добавок к огнетушащим порошковым составам.

1. При проведении лабораторных исследований по определению сравнительной огнетушащей эффективности порошкового состава с добавкой микрокапсулированного хладона установлено, что наибольший огнетушащий эффект наблюдался при 15 % концентрации микрокапсулированных добавок. При этом порошковой смеси потребовалось на 39 % меньше, чем при тушении порошком «Волгалит-АВС». При последующем увеличении процентного содержания микрокапсулированного хладона в огнетушащем порошке наблюдалось ухудшение огнетушащего эффекта (увеличение затраченной массы порошкового состава на тушение модельного очага). На наш взгляд это можно объяснить следующим:

- повышение огнетушащего эффекта происходит из-за применения микрокапсулированного хладона, который высвобождается при температуре 120 °С и оказывает ингибирующее воздействие (гомогенное ингибирование) на зону реакции горения, частицы огнетушащего порошка разлагаются и оказывают ингибирующее воздействие на зону реакции с задержкой, так как температура разложения порошка составляет 200...300 °С;

- ухудшение огнетушащего эффекта при последующем увеличении процентного содержания микрокапсулированного хладона в огнетушащем порошке происходит из-за уменьшения массы более дисперсного огнетушащего порошка (снижение массы частиц порошка), которое отрицательно влияет на огнепреграждающий эффект. С разрушением микрокапсул происходит увеличение зазора между частицами порошка, которое приводит к снижению эффекта огнепреграждения.

2. При проведении исследований по определению сравнительной огнетушащей эффективности порошкового состава с добавками сорбентов

установлено, что наибольший огнетушащий эффект наблюдался при определенной процентной концентрации добавок сорбентов. При последующем увеличении процентного содержания сорбентов в огнетушащем порошке наблюдалось ухудшение огнетушащего эффекта (увеличение затраченной массы порошкового состава на тушение модельного очага). На наш взгляд это можно объяснить следующим:

- усиление огнетушащего эффекта происходит из-за применения сорбентов, которые обладают адсорбционными свойствами, что приводит к снижению концентрации горючих паров (газов) и оказывает влияние на эффект прекращения горения. Поскольку воздействие температуры на сорбенты не приводит к их частичному испарению, происходит усиление эффекта огнепреграждения, достигаемое при прохождении пламени через узкие каналы, по аналогии с сетчатыми, гравийными и подобными огнепреградителями. На примере окисленного графита при его терморасширении дополнительно происходит выделение газов, отрицательно влияющих на процесс горения;

- ухудшение огнетушащего эффекта при последующем увеличении процентного содержания сорбентов в огнетушащем порошке происходит из-за уменьшения массы огнетушащего порошка как основного компонента процесса тушения.

3. Проведенные оценки эксплуатационных свойств огнетушащего порошка, гидрофобизированного добавкой ГМД-20 NT в исследованных концентрациях, показали, что введение добавок серии ГМД в качестве антислеживающих, гидрофобизирующих компонентов (1%–2%) позволяет придавать гидрофобные свойства компонентам огнетушащего порошка, тем самым значительно снижать склонность к влагопоглощению (до 0,2%–0,42%) и слеживанию. Огнетушащая способность порошка с добавкой обусловлена ускорением процесса термического разложения компонентов порошка за счет экзотермического разложения торфяной добавки.

4. Результаты лабораторных исследований свидетельствуют о преобладающем ингибирующем воздействии порошков в гомогенной фазе при тушении модельных очагов.

ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА «ОГНЕННОЙ СФЕРЫ» ПРИ ТУШЕНИИ ПОРОШКАМИ

4.1 Теоретическое исследование образования «огненной сферы» при тушении порошками

В ходе проведения лабораторных исследований, полигонных и промышленных испытаний в процессе тушения модельных очагов пожара в первые секунды наблюдалось резкое увеличение интенсивности горения [58], которое происходит из-за попадания частиц порошка в зону горения в смеси с кислородом воздуха, увлекаемым порошковой струей. Ввиду того, что пламя в момент подачи порошка в зону горения приобретает характерную округлую форму, мы назвали данный эффект образованием «огненной сферы». Возникновение указанного эффекта отмечает в своей работе Д.А. Корольченко [121, 122].

Эффект «огненной сферы» происходит при тушении легковоспламеняющейся жидкости (бензин) и при тушении твердых горючих материалов (древесины). На рис. 4.1 представлены моменты подачи огнетушащего порошка в зону горения и образование «огненной сферы» при лабораторных исследованиях и рис. 4.2 на промышленных испытаниях.

При образовании «огненной сферы» в несколько раз увеличивается объем пламени, и при этом увеличивается тепловой поток от пламени в окружающую среду. Эффект «огненной сферы» возникает вследствие вовлечение воздуха в зону горения частицами порошка.



а



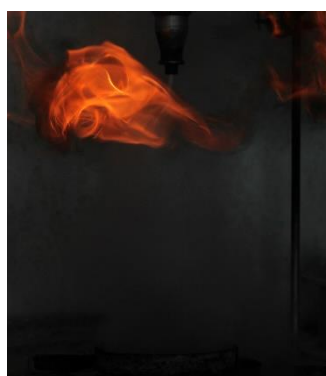
б



в



г



д



е



ж



з

Рисунок 4.1 – Образование «огненной сферы» при подаче огнетушащего порошка в зону горения (исследования на лабораторной установке):
а, б, в, г, д, е – тушение жидкости; ж, з – тушение древесины



Рисунок 4.2 – Образование «огненной сферы» при подаче огнетушащего порошка в зону горения (промышленные испытания)

Диаметр образующейся «огненной сферы» D можно определить по соотношению:

$$D = D_{гор} \left(1 + \frac{Q}{Q_{пл}} \right) \cdot K_{гор} , \quad (4.1)$$

где $D_{гор}$ – диаметр горячей поверхности жидкости или ТГМ, м;

Q – объем воздуха, перемещаемого струей порошка в единицу времени, м³/с;

$Q_{пл}$ – объем зоны пламенного горения, м³/с;

$K_{гор}$ – коэффициент, зависящий от вида горючего материала, составляет 1,2...1,5.

Объем воздуха, перемещаемого струей порошка в единицу времени определяем по формуле:

$$Q = CSv/2, \quad (4.2)$$

где C – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы порошка;

S – площадь, занимаемая частицами порошка, м²;

v – скорость струи порошка при входе в зону горения, м/с.

При допущении, что сечение струи круглое, площадь сечения определяется зависимостью [92]:

$$S = \pi h^2 \operatorname{tg}^2 \theta, \quad (4.3)$$

где θ – половинный угол раскрытия струи;

h – высота конуса, м.

Из формулы (4.2) получаем:

$$D = D_{гор} \left(1 + \frac{CSv}{2 \cdot S_{гор} \cdot v_{пл}} \right) \cdot K_{гор}, \quad (4.4)$$

где $D_{гор}$ – диаметр горячей поверхности жидкости или ТГМ, м;

$S_{гор}$ – площадь горячей поверхности, м²;

$v_{пл}$ – скорость распространения пламени по вертикали, м/с.

При определении объема зоны, ограниченной пламенным горением, объем зоны принят в виде конуса с высотой пламени $x_{пл}$.

По данным [126]:

$$x_{пл} = 0,235 \left(\frac{\Theta_{пож}}{1000} \right)^{2/5} - 2,04r, \quad (4.5)$$

где $\Theta_{пож}$ – тепловая мощность в очаге горения, Вт;

r – радиус поверхности горючего материала, м;

Тогда диаметр образующейся «огненной сферы» D определяем по соотношению:

$$D = D_{гор} \left(1 + \frac{CSv}{2\pi g^2 \theta \left(0,235 \left(\frac{\Theta_{пож}}{1000} \right)^{2/5} - 2,04r \right)^2 v_{пл}} \right) \cdot K_{гор}, \quad (4.6)$$

При оценке количества воздуха, поступающего в зону горения путем вовлечения частицами порошка, приняты следующие допущения и начальные условия:

- частицы порошка имеют форму куба;
- размеры частиц порошка 56x56x56 мкм;
- распределение частиц огнетушащего порошка равномерное по площади сечения струи;
- поток вовлекаемого воздуха распределен равномерно по площади сечения струи;
- вовлекаемый воздух несжимаем;

- аэродинамическое сопротивление отдельной частицы порошка не зависит от частиц, движущихся в потоке;

- не учитывается поток воздуха применяемый для выбрасывания порошка.

Поток воздуха выбрасывающий порошок, не учитывается ввиду того, что входе экспериментов установлено: при применении азота в качестве выталкивающего агента азот не оказывал влияния на образование «огненной сферы».

4.2 Определение диаметра «огненной сферы»

Определим диаметр наблюдаемой в экспериментах огненной сферы по полученному выше уравнению.

Примем:

диаметр горячей поверхности жидкости $D_{гор} = 0,18$ м;

площадь горячей поверхности $S_{гор} = 0,03$ м²;

радиус поверхности горючего материала $r = 0,09$ м;

скорость распространения пламени по вертикали $v_{пл} = 0,8$ м/с;

коэффициент аэродинамического сопротивления частицы порошка $C = 1,05$;

коэффициент, зависящий от вида горючего материала, $K_{гор} = 1,4$.

Определим площадь, занимаемую частицами порошка.

При допущении, что сечение струи круглое, площадь сечения определяется зависимостью.

$$S_B = \pi h^2 \operatorname{tg}^2 \theta, \quad (4.7)$$

где θ – половинный угол раскрытия струи, $\theta = 10^\circ$;

h – высота конуса, $h = 0,17$ м;

Тогда $S_B = 2,735 \cdot 10^{-3}$ м²;

Определим тепловую мощность в очаге горения $\Theta_{\text{пож}}$.

$$\Theta_{\text{пож}} = \eta \psi S_{\text{гор}} H_c, \quad (4.8)$$

где η – коэффициент полноты сгорания, $\eta = 0,5$;

ψ – удельная массовая скорость выгорания $\psi = 0,048$ кг/м²с;

H_c – теплота сгорания материала пожарной нагрузки, $H_c = 44,7 \cdot 10^6$ Дж/кг;

$$\Theta_{\text{пож}} = 44,7 \cdot 10^6 \cdot 0,048 \cdot 0,03 \cdot 0,5 = 3,218 \cdot 10^4 \text{ Вт.}$$

Определим скорость струи порошка при входе в зону горения.

Согласно [127],

$$v = \sqrt{\frac{2P_0 \left[1 - \left(\frac{P_a}{P_0} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] [1 - k(1 - \varepsilon_0)]}{k\rho(n-1)(1 - \varepsilon_0)(\alpha + \sum_i \beta_i \xi_i)}}, \quad (4.9)$$

где P_0 – начальное рабочее давление, $P_0 = 1,723 \cdot 10^5$ Па;

P_a – атмосферное давление, $P_a = 1,013 \cdot 10^5$ Па;

n – показатель политропы рабочего газа, $n = 1,3$;

k – коэффициент заполнения емкости с порошком, $k = 0,7$;

ρ – плотность частиц порошка, $\rho = 2,39 \cdot 10^3$ кг/м³;

ε_0 – порозность порошка, $\varepsilon_0 = 0,6$;

α – коэффициент Кориолиса, учитывающий неравномерность распределения скоростей в потоке, $\alpha = 1$;

$\sum_i \beta_i \xi_i$ – коэффициенты местных сопротивлений, $\sum_i \beta_i \xi_i = 1,2$.

Получим $v = 6,792$ м/с.

Тогда расчетный диаметр «огненной сферы» $D = 0,387$ м.

Диаметр сферы, получившейся в результате опыта определим по фотографии с нанесенной размерной сеткой с шагом 0,01 м. (рис. 4.3).

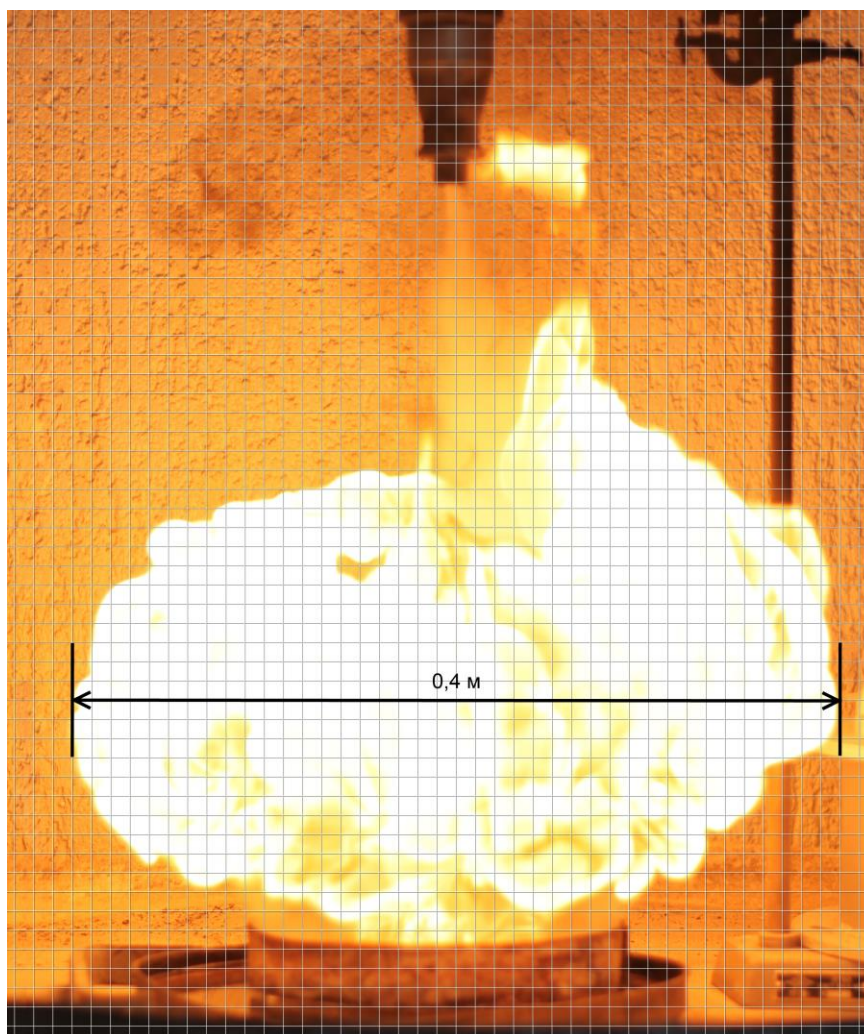


Рисунок 4.3 – Определение диаметра «огненной сферы»

Незначительное расхождение с реальным диаметром сферы, измеренным по фотографии, объясняется условностью границы сферы на фотографии, определенной по видимой части пламени.

«Огненная сфера» образуется при тушении жидкости и при тушении древесины. Указанный эффект следует учитывать при тушении горения – начало тушения необходимо начинать с расстояния, обеспечивающего безопасность при тепловом излучении от «огненной сферы».

4.3 Выводы по четвертой главе

1. Показано, что образование «огненной сферы» связано с попаданием частиц порошка в зону горения в смеси с кислородом воздуха, увлекаемым порошковой струей, что увеличивает интенсивность горения.

2. Получена теоретическая зависимость для определения диаметра «огненной сферы».

3. По предложенной зависимости определен диаметр возникающей в эксперименте «огненной сферы». Предложенная расчетная формула дает результат с удовлетворительной степенью точности.

5 Выводы

5.1. Разработана методика для проведения исследований огнетушащей способности, позволяющая проводить сравнительную оценку огнетушащей способности порошков, определять минимальную огнетушащую интенсивность прекращения горения, проводить исследования по тушению порошками горючих жидкостей и твердых горючих материалов.

5.2. Разработаны составы огнетушащих порошков с увеличенной от 17 до 39 % огнетушащей способностью и повышенными эксплуатационными характеристиками (с гидрофобизирующим веществом на основе торфяного сырья).

5.3. На основе лабораторных и промышленных испытаний огнетушащих порошковых составов двойного назначения определены оптимальные концентрации сорбирующих веществ.

5.4. Показано, что процесс тушения огнетушащими порошками имеет комплексный характер, включающий тушение в гетерогенной и гомогенной фазе. Преобладающий эффект прекращения горения порошками происходит в гомогенной фазе за счет ингибирования реакции горения.

5.5. По результатам полигонных и лабораторных испытаний показано сходство между выборками полученных данных и определен коэффициент масштабирования, принимающий значение $K = 0,63 - 0,68$ в зависимости от типа добавки.

5.6. Обнаружен и теоретически обоснован эффект образования «огненной сферы» в момент подачи порошка в зону горения. Предложен метод расчета диаметра образования «огненной сферы» для обеспечения безопасности человека и оборудования от воздействия теплового излучения при проведении работ по тушению горения твердых горючих материалов или легковоспламеняющейся жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов, Н. Н. Тепловая теория горения и взрывов / Н. Н. Семенов. – Текст : непосредственный // Успехи физических наук. –1940. – Т. XXIII. – Вып. 3. – С. 252-292.
2. Абдурагимов, И. М. Предельные явления в горении как научно-теоретическая основа пожаровзрывобезопасности / И. М. Абдурагимов. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Том 21. – № 11. – С.18-26.
3. Франк-Каменецкий, Д. А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике : учебник-монография / Д. А. Франк-Каменецкий. – 4-е изд. – Долгопрудный : Издательский Дом «Интеллект», 2008. – 408 с. – Текст : непосредственный.
4. Абдурагимов, И. М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров : учебное пособие / И. М. Абдурагимов, В. Ю. Говоров, В. Е. Макаров. – Москва : ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 256 с. – Текст : непосредственный.
5. Баратов, А. Н. Горение на пожаре : монография / А. Н. Баратов, И. С. Молчадский. – Москва : ВНИИПО, 2011. – 503 с. – Текст : непосредственный.
6. Корольченко, А. Я. Процессы горения и взрыва : учебник / А. Я. Корольченко. – Москва : Пожнаука, 2007. – 266 с. – Текст : непосредственный.
7. Дмитриев, О. В. Порошковые огнетушители и автоматические системы пожаротушения: исторические аспекты / О. В. Дмитриев. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – Иваново : ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России, 2011. – Ч.2. – С. 22-25.
8. Баратов, А. Н. Огнетушащие порошковые составы / А. Н. Баратов, Л. П. Вогман. – Москва : Стройиздат, 1982. – 72 с. – Текст : непосредственный.
9. Баратов, А. Н. Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность / А. Н. Баратов. – Москва : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 364 с. – Текст : непосредственный.

10. Баратов, А. Н. Порошковое пожаротушение / А. Н. Баратов, Л. П. Вогман, Д. В. Бухтояров, А. Л. Чибисов. – Текст : непосредственный // Пожарная безопасность. – 2012. – № 2. – С. 120-122.
11. Баратов, А. Н. О механизме тушения порошковыми составами и методах оценки их эффективности / А. Н. Баратов, Л. П. Вогман, Т. Г. Овсейчик, В. К. Волкова. – Текст : непосредственный // Зарубежная пожарная техника. Информационный сборник. – Москва, 1971. – С. 26-36.
12. Копылов, С. Н. Вклад теплового и химического механизмов в тушение горючих жидкостей порошками / С. Н. Копылов, Д. В. Бухтояров, А. В. Казаков, В. А. Кущук. – Текст : непосредственный // Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России / под общ. ред. В.И. Климкина. – Москва : ВНИИПО, 2012. – С.221-233.
13. Li H., Hua M., Pan X., Li S., Guo X., Zhang H., Jiang J. The reaction pathway analysis of phosphoric acid with the active radicals: a new insight of the fire-extinguishing mechanism of ABC dry powder. *Journal of molecular modeling*, 2019, vol. 25, issue 8, p. 255.
14. Rosser W., Inami S., Wise H. The effect of metal salts on premixed hydrocarbon–air flames. *Combustion and Flame*, 1963, vol. 7, pp.107-119.
15. Burke R., Van-Tiggelen A. Kinetics of laminar premixed methane-oxygen-nitrogen flames. *Bulletin des Sociétés Chimiques Belges*, 1965, vol. 74, pp. 426-449.
16. Баратов, А. Н. Горючесть веществ и химические средства пожаротушения / А. Н. Баратов. – Текст : непосредственный // Горючесть веществ и химические средства пожаротушения : сборник статей. – Москва : ВНИИПО, 1974. – Вып. 2. – С. 4.
17. Hofman W. Influence of alkali-metal salts on laminar flame velocity. *Chem. Ing. Techn.*, 1971, vol. 43, pp. 556-560.
18. Birchall J. D. On the mechanism of flame inhibition by alkali metal salts. *Combustion and Flame*, 1970, vol. 14, pp.85-95.
19. Краснянский, М. Е. Порошковая пожаровзрывозащита / М. Е. Краснянский. – Донецк : Общество книголюбов, 1994. – 152 с. – Текст : непосредственный.

20. Dewitte M., Vrebosch J., Van-Tiggelen A. Inhibition and extinction of premixed flames by dust particles. *Combustion and Flame*, 1964, vol. 8, pp. 257-266.
21. Апанович, В. Н. Подавление углеводородных пламен бинарными порошковыми смесями / В. Н. Апанович, А. В. Антонов, В. М. Жартовский. – Текст : непосредственный // Средства порошкового пожаротушения : сборник научных трудов. – Москва : ВНИИПО, 1989. – С. 13-19.
22. Соболев, В. А. Структурный фактор в ингибировании реакции горения неорганическими веществами / В. А. Соболев. – Текст : непосредственный // Горение гетерогенных и газовых систем: матер. IX Всесоюзного симпозиума. – Москва, 1989. – С. 90.
23. Губин, Е. И. Ингибирование газовых пламен порошковыми составами / Е. И. Губин, И. Г. Дик, А. Ю. Крайнов. – Текст : непосредственный // Физика горения и взрыва. – 1989. – № 2. – С. 57-62.
24. Добриков, В. В. Расчет испарения частиц огнетушащих порошков в пламени / В. В. Добриков, А. П. Федотов, В. Ю. Ковальчук. – Текст : непосредственный // Пожарная профилактика: сб. науч. тр. – Москва : ВНИИПО, 1986. – С. 156-163.
25. Кицак, А. И. Модель теплового механизма тушения пожара подкласса А1 огнетушащим порошком общего назначения в условиях нестационарного теплообмена / А. И. Кицак. – Текст : непосредственный // Приборы и методы измерений. – 2019. – Т. 10. – № 4. – С. 391-401.
26. Бухтояров, Д. В. Оценка роли теплового механизма в тушении пламен порошками / Д. В. Бухтояров, В.А. Кушук. – Текст : непосредственный // Проблемы промышленной безопасности и охраны труда в металлургии: труды международной научно-практической конференции, посвященной столетию со дня рождения профессора Злобинского Б.М. – Москва, 2003. - 124 с.
27. Ewing C. T., Faith F. R., Hughes J. T., Carhart H. W. Свидетельства в пользу теплового механизма тушения пламени // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1990. – Вып. 3. – С. 81-84.
28. Научно-технический прогресс в пожарной охране / под ред. Д. И. Юрченко. – Москва : Стройиздат, 1987. – С. 147-159. – Текст : непосредственный.

29. Kokkala, M. Voiko tulipalon sammutusmekanismi jauheilla ja gallonoilla perustua jäähtytykseen. Palontorinttatekniikka, 1987, vol. 17, issue 3, pp. 88-89.
30. Ewing, C. T., Faith F. R., Hughes J. T., Carhart H. W. Evidence for flame extinguishment by thermal mechanisms. Fire Technology, 1989, vol. 25, issue 3, pp. 195-212.
31. Абдурагимов, И. М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения / И. М. Абдурагимов. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – № 4. – С. 68.
32. Льюис, Б. Горение, пламя и взрывы в газах / Б. Льюис, Г. Эльбе. – Москва : Мир, 1968. – 592 с. – Текст : непосредственный.
33. Кобзарь, В. Н. Об одном из критериев оценки огнетушащей эффективности порошков / В. Н. Кобзарь, В. Н. Крюков. – Текст : непосредственный // Пожарная техника и тушение пожаров : сборник трудов. – Москва : ВНИИПО, 1979. – Вып.18. – С 95-102.
34. Жданов, Ю. Ф. Расчет состава продуктов термического разложения моноаммонийфосфата / Ю. Ф. Жданов. – Текст : непосредственный // Химическая технология. – 1986. – № 1. – С. 40-44.
35. Баратов, А. Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности / А. Н. Баратов, Е. Н. Иванов. – 2-е изд., перераб. – Москва : Химия, 1979. – С. 117. – Текст : непосредственный.
36. Исавнин, Н. В. Средства порошкового пожаротушения / Н. В. Исавнин. – Москва : Стройиздат, 1983. – С. 18. – Текст : непосредственный.
37. Portable fire extinguishers guide. – URL: <http://www.firesafe.org.uk/wp-content/uploads/docs/pffeguid.pdf>. – Текст : электронный.
38. Dry Powder Fire Extinguisher. – URL: <http://www.fireextinguishersgb.co.uk/dry-powder/>. – Текст : электронный.
39. Кожевин, Д. Ф. О практике параметризации переносных порошковых огнетушителей: аналитический обзор / Д. Ф. Кожевин, А. С. Поляков, М. Р. Сытдыков. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т.23. – № 1. – С. 68-76.

40. Собурь, С. В. Огнетушители: справочник / С. В. Собурь. – 2-е изд., доп., с изм. – Москва : Спецтехника, 2003. – С. 68. – Текст : непосредственный.
41. ГОСТ Р 53280.4-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Огнетушащие порошки общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 54-ст : введен впервые : дата введения 2009-05-01 / разработан Федеральным государственным учреждением «Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГУ ВНИИПО МЧС России). – Москва : Стандартинформ, 2009. – 14 с. – Текст : непосредственный.
42. ГОСТ Р 53248–2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Номенклатура показателей : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 19-ст : введен впервые : дата введения 2010-01-01 / разработан Федеральным государственным бюджетным учреждением «Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны" Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (ФГБУ ВНИИПО МЧС России). – Москва : Стандартинформ, 2009. – С. 2. – Текст : непосредственный.
43. Пожарная техника : учебник / под ред. М. Д. Безбородько. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2004. – С. 313-314. – Текст : непосредственный.
44. Терещнев, В. В. Пожарные машины. Устройство и применение / В. В. Терещнев, Н. И. Ульянов, В. А. Грачев. – Москва : Центр Пропаганды, 2007. – С. 105-106. – Текст : непосредственный.
45. ГОСТ Р 51091-97. Установки порошкового пожаротушения автоматические. Типы и основные параметры : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 16 сентября 1997 г. № 308 : введен впервые : дата введения 1998-07-01 /

разработан и внесен Техническим комитетом по стандартизации МТК 274/643 «Пожарная безопасность». – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1997. – 15 с. – Текст : непосредственный.

46. Долговидов, А. В. Автоматические установки порошкового пожаротушения / А. В. Долговидов, В. В. Терехнев; под ред. А.Я. Корольченко. – Москва : Пожнаука, 2008. – 322 с. – Текст : непосредственный.

47. Шрайбер, Г. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении / Г. Шрайбер, П. Порст; пер. с нем. – Москва : Стройиздат, 1975. – 240 с. – Текст : непосредственный.

48. Атаманенко, М. Э. Лабораторная установка для определения огнетушащей эффективности порошков / М. Э. Атаманенко, Х. А. Тайсумов, В. В. Пихиенко. – Текст : непосредственный // Средства и способы пожаротушения : сборник научных трудов. – Москва : ВНИИПО, 1981. – С. 15-20.

49. Бухтояров, Д. В. Особенности влияния тепловых и химических факторов на тушение диффузионных пламен горючих жидкостей порошками : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бухтояров Д.В. (Бухтояров Дмитрий Викторович) ; ФГУ ВНИИПО МЧС России. – Москва, 2010. – 24 с. – Текст : непосредственный.

50. Кущук, В. А. Лабораторные и полигонные испытания по определению огнетушащих концентраций для локально-объемного тушения порошками / В. А. Кущук, Д. В. Бухтояров. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы пожарной безопасности: тезисы докладов XXI Международной научно-практической конференции. Ч. 2. – Москва : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – С. 86-89.

51. Бухтояров, Д. В. Лабораторные испытания и методика определения огнетушащей концентрации порошковых составов при их подаче сверху / Д. В. Бухтояров. – Текст : непосредственный // Пожарная безопасность. – 2010. – №3. – С. 130-133.

52. Кущук, В. А. Лабораторные исследования по тушению очагов класса В / В. А. Кущук, Д. В. Бухтояров. – Текст : непосредственный // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений : материалы XIX научно-практической конференции. Часть 2. – Москва : ВНИИПО, 2005. – С. 89-92.
53. Кицак, А. И. Экспериментальная оценка эффективности тушения пожара подкласса А1 локально по площади и локально по объему огнетушащим порошком общего назначения при его кратковременном воздействии на очаг пожара / А. И. Кицак, С. М. Палубец, Д. В. Дробыш. – Текст : непосредственный // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2019. – Т. 45. – № 1. – С. 29-41.
54. Сабинин, О. Ю. Оптимальные характеристики огнетушащих порошков и параметры их подачи для импульсных модулей порошкового пожаротушения : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сабинин О. Ю. (Сабинин Олег Юрьевич) ; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. – Москва, 2008. – 14 с. – Текст : непосредственный.
55. Бобрышева, С. Н. Лабораторный метод определения огнетушащей эффективности порошков / С. Н. Бобрышева, В. Б. Боднарук, С. В. Ермакович, Л. О. Кашлач. – Текст : непосредственный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2014. – № 1. – С. 51-55.
56. Бобрышева, С. Н. Обеспечение эксплуатационных свойств огнетушащих порошковых составов / С. Н. Бобрышева. – Текст : непосредственный // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 1. – С. 165 – 166.
57. Романенко, Н. Т. О расходе огнетушащих порошковых составов на тушение очагов горения с различной площадью / Н. Т. Романенко, А. В. Антонов. – Текст : непосредственный // Огнетушащие порошковые средства : сб. науч. тр. – Москва : ВНИИПО, 1982. – С. 39-45.

58. Дмитриев, О. В. Прекращение горения огнетушащими порошковыми составами / О. В. Дмитриев, В. И. Попов. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. – Иваново : ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России, 2013. – С. 28-31.
59. Дмитриев, О. В. О механизмах подавления пламени огнетушащими порошками / О. В. Дмитриев. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. – Иваново : ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России, 2012. – С. 37-38.
60. Дмитриев, О. В. Лабораторные исследования огнетушащей способности порошковых составов / О.В. Дмитриев, В.И. Попов. – Текст : непосредственный // Молодая наука–пожарной безопасности XXI века : сборник материалов межвузовского научно-практического семинара, Иваново, 11 июня 2010 г. – Иваново : ООНИ ЭКО ИВИ ГПС МЧС России, 2010. – С.18-24.
61. Дмитриев, О. В. Лабораторные методы исследования огнетушащей способности порошковых составов / О. В. Дмитриев, В. И. Попов. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Иваново, 24 ноября 2010 г. Ч.1 / под общ. ред. И.А. Малого. – Иваново : ООНИ ЭКО ИВИ ГПС МЧС России, 2010. – С. 154-164.
62. Misnikov O. S., Dmitriev O. V., Popov V. I., Chertkova E. Yu. The Use of Peat Based Water Repellants to Modify Fire Extinguishing Powders. Polymer Science. Series D, 2016, vol. 9, issue 1, pp. 133-139.
63. Руководство по эксплуатации к электронным весам «Mettler Toledo AL54-IC» 2008 (Швейцария). – 34 с.
64. Дмитриев, О. В. Лабораторная установка и исследования огнетушащей способности порошковых составов / О. В. Дмитриев, В. И. Попов. – Текст : непосредственный // Горение и плазмохимия. – 2012. – Т.10. – №3. – С. 203-207.
65. Дмитриев, О. В. Способ получения гидрофобно-модифицированных порошков и методика определения их огнетушащей способности / О. В. Дмитриев,

- О. С. Мисников, В. И. Попов. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т.23. – № 4. – С. 65-70.
66. ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний : государственный стандарт Российской Федерации : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 25 октября 2001 г. № 435-ст. – 2001. – 67 с. – Текст : непосредственный.
67. Руководство по эксплуатации (Паспорт) на порошок огнетушащий «Волгалит-АВС», ЗАО «В.В.П.» г. Нижний Новгород, 2010. – 3 с.
68. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – Москва : Высш.шк., 2003. – С. 479. – Текст : непосредственный.
69. Дмитриев, О. В. Эксплуатационные свойства огнетушащих порошков, модифицированных торфяными гидрофобными добавками / О. В. Дмитриев. – Текст : непосредственный // Современные проблемы гражданской защиты. – 2022. – Т.42. – №1. – С. 32-37.
70. Мисников, О. С. Перспективы использования торфяных модифицирующих добавок для гидрофобизации огнетушащих порошков / О. М. Мисников, О. В. Дмитриев, В. А. Иванов. – Текст : непосредственный // Болота и биосфера : материалы IX Всероссийской с международным участием научной школы. – Иваново : ПресСто, 2015. – С. 113-122.
71. Мисников, О. С. Гидрофобизация минеральных дисперсных материалов добавками на основе торфа / О. С. Мисников, А. Е. Тимофеев, Е. Ю. Черткова. – Текст : непосредственный // Труды Инсторфа. – 2010. – Т. 55. – № 2. – С. 15–33.
72. Мисников, О. С. Использование гидрофобизаторов на основе торфа для модификации огнетушащих порошков / О. С. Мисников, О. В. Дмитриев, В. И. Попов, Е. Ю. Черткова. – Текст : непосредственный // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2015. – № 7. – С. 20-29.
73. Misnikov O. S., Dmitriev O. V., Chertkova E. Yu. Use of Peat Ingredients For Production Of Fireextinguishing Powders. Eurasian Mining, 2015, issue 2, pp. 30-34.

74. Дмитриев, О. В. Исследование свойств огнетушащих порошковых составов, модифицированных гидрофобными добавками на основе торфяного сырья / О. В. Дмитриев, О. С. Мисников, В. И. Попов. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22. – №5. – С. 81-86.
75. Дмитриев, О. В. Огнетушащая способность порошка с гидрофобизирующей добавкой на основе торфяного сырья / О. В. Дмитриев, О. С. Мисников, В. И. Попов. – Текст : непосредственный // Проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов хозяйствования: материалы Международного научного семинара. – Кокшетау : КТИ МЧС РК, 2014. – С. 40-43.
76. Лапшин, Д. Н. Модифицирование огнетушащих порошковых составов на основе фосфата и сульфата аммония в условиях интенсивных механических воздействий : специальность 05.17.01 «Технология неорганических веществ» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лапшин Дмитрий Николаевич ; ФГБОУ ВПО Ивановский государственный химико-технологический университет. – Иваново, 2014. – 16 с. – Текст : непосредственный.
77. Вальцифер, В. А. Функциональный наполнитель на основе гидрофобизированного оксида кремния для улучшения реологических свойств порошковой композиции / В. А. Вальцифер, А. Ш. Шамсутдинов, И. В. Вальцифер, А. С. Старостин. – Текст : непосредственный // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 9. – № 2-2. – С. 557-561.
78. Дмитриев, О. В. Модифицирование огнетушащего порошка гидрофобной добавкой на основе торфяного сырья / О. В. Дмитриев, О. С. Мисников, В. И. Попов, С. В. Левичев. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность: материалы VIII Международной научно-практической конференции, Иваново, 26-27 ноября 2013 г. / под общ. ред. канд. техн. наук, доц. И. А. Малого. – Иваново : ИВИ ГПС МЧС России, 2013. – С. 25-27.
79. Белькевич, П. И. О термическом распаде гуминовых кислот / П. И. Белькевич, К. А. Гайдук. – Текст : непосредственный // Труды Института торфа АН БССР. – 1959. – том VII. – С. 82.

80. Патент на изобретение RU 2605056 C1, 20.12.2016. Заявка № 2015125928/12 от 29.06.2015. Огнетушащий порошок многоцелевого назначения / Дмитриев О. В., Попов В. И., Мисников О. С., Малый И. А., Шарабанова И. Ю. – Текст : непосредственный.
81. Кунин, А. В. Влияние инертных добавок и количества подводимой энергии на процесс диспергирования фосфатов аммония / А. В. Кунин, С. А. Смирнов, Д. Н. Лапшин. – Текст : непосредственный // Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57. – № 7. – С. 96-100.
82. Лапшин, Д. Н. Исследование свойств гидрофобизированного моноаммоний фосфата / Д. Н. Лапшин. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2010. – Т. 53. – № 11. – С. 77-80.
83. А.с. № 1413756 СССР, кл. А 62 С 1/00, 15.02.86. Способ определения интенсивности подачи огнетушащих порошков для тушения пожаров / В. П. Подгайный, А. И. Шкоруп ; заявитель и патентообладатель Киевский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института противопожарной обороны. – 3 с. – Текст : непосредственный.
84. Атаманенко, М. Э. Оценка эффективности огнетушащих порошков / М. Э. Атаманенко, М. Н. Вайсман, А. Н. Покидов. – Текст : непосредственный // Огнетушащие порошковые средства: сборник научных трудов. – Москва : ВНИИПО, 1985. – С. 51-55.
85. Корольченко, Д. А. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами / Д. А. Корольченко, А. Ф. Шароварников. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23. – № 8. – С. 63-68.
86. Корольченко, Д. А. Анализ процесса тушения пламени горючих жидкостей дисперсными огнетушащими веществами и пеной низкой кратности / Д. А. Корольченко. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 2. – С. 51-58.
87. Кущук, В. А. Тушение пожаров порошковыми средствами / В. А. Кущук, Д. В. Бухтояров. – Текст : непосредственный // Пожарная безопасность

многофункциональных и высотных зданий и сооружений: материалы XIX науч.-практ. конф. – Ч. 2. – Москва : ВНИИПО, 2005. – С. 29-33.

88. Баратов, А. Н. Лабораторный метод испытания огнетушащей эффективности порошков / А. Н. Баратов, В. В. Добриков, В. Н. Куликов. – Текст : непосредственный // Горючесть веществ и химические средства пожаротушения : сборник трудов.– Выпуск 5. – Москва : ВНИИПО, 1978.– С. 83-89.

89. Zhao G. M., Xu G., jin S., Zhang Q., Liu Z. Fire-Extinguishing Efficiency of Superfine Powders under Different Injection Pressures. International Journal of Chemical Engineering, 2019, vol. 2019, pp. 1-7.

90. Lee T. G., Robertson A. F. Effectiveness of some powdered materials on extinguishing hydrocarbon fires. International Symposium on the use of models;. ed. by National Academy of Sciences-National Research Council. Washington, 1961, Publication 786. pp. 93-112.

91. Добриков, В. В. Экспериментальное исследование закономерностей тушения горючих жидкостей с помощью струй огнетушащих порошков / В. В. Добриков, А. Н. Баратов, В. П. Подгайный, Ю. Э. Выборнов. – Текст : непосредственный // Средства и способы пожаротушения: сб. науч. трудов. – Москва : ВНИИПО, 1981. – С. 3-10.

92. Сабинин, О. Ю. Изучение зависимости огнетушащей способности порошков от их физико-химических свойств применительно к импульсному способу подачи / О. Ю. Сабинин, А. В. Долговидов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы пожарной безопасности : Материалы международной научно-практической конференции. Часть 2. – Москва : ВНИИПО, 2008. – С. 156-159.

93. Корольченко, Д. А. Анализ типового соотношения для описания зависимости времени тушения горючих жидкостей и удельного расхода различных огнетушащих веществ от интенсивности их подачи / Д. А. Корольченко, А. Ф. Шароварников. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 3. – С. 66-76.

94. Дмитриев, О. В. О влиянии интенсивности подачи порошкового состава / О. В. Дмитриев, В. И. Попов. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная

безопасность : сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, Иваново, 28-30 ноября 2012 г. / под общ. ред. И. А. Малого. – Иваново : ИВИ ГПС МЧС России, 2012. – С. 39-41.

95. Сабинин, О. Ю. Изучение зависимости огнетушащей способности порошков от их физико-химических свойств применительно к импульсному способу подачи / О. Ю. Сабинин, А. В. Долговидов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы Международной науч.-практ. конф. Ч. 2. – Москва : ВНИИПО, 2008. – С. 156-159.

96. Журов, М. М. Исследование параметров подачи огнетушащего порошкового состава огнетушителем / М. М. Журов, С. Н. Бобрышева, В. В. Лахвич, М. Б. Рыжков. – Текст : непосредственный // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4. – № 2. – С.186-193.

97. Жартовский, В. М. Метод определения огнетушащей эффективности порошков с переменным содержанием кислорода в зоне горения / В. М. Жартовский, С. В. Жартовский, О. В. Кириченко, А. М. Тищенко. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т.21. – № 6. – С. 77-79.

98. Дмитриев, О.В. Применение микрокапсул в тушении пожаров / О.В. Дмитриев, В.И. Попов, М.В. Пуганов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы гражданской защиты. – 2022. – Т.43. – №2. – С. 59-65.

99. Попов, В. И. Огнетушащие порошки двойного применения / В. И. Попов, О. В. Дмитриев, Р. А. Коробченко, Е. С. Прохоров. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность : материалы IX Международной научно-практической конференции, Иваново, 20-21 ноября 2014 г.; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. И.А. Малого. – Иваново : Ивановский институт ГПС МЧС России, 2014. – стр. 95-97.

100. Дмитриев, О. В. Универсальные огнетушащие порошковые составы для тушения пожара и ликвидации аварии на автозаправочных комплексах / О. В. Дмитриев, В. И. Попов, Р. А. Коробченко, Е. С. Прохоров. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов

IX Международной научно-практической конференции. – Иваново : ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России, 2014. – С. 37-40.

101. Бобрышева, С. Н. Проблемы и перспективы разработки отечественных порошковых составов / С. Н. Бобрышева. – Текст : непосредственный // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2011. – Т. 6. – № 2. – С. 97–104.

102. Чащин, А. С. Способы получения и применение порошковых составов с наноразмерными активными комплексами, используемыми в целях пожаротушения / А. С. Чащин. – Текст : непосредственный // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2014. – №1 (5). – С.348-352.

103. Инструкция по эксплуатации «Бесконтактный инфракрасный термометр (Пирометр) CENTER 350», ООО «Торговый дом «Энергосервис» г. Санкт-Петербург. – 8 с.

104. ГОСТ 1770-74. Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 18.11.74 N 2547 : введен впервые : дата введения 1976-01-01 / разработан и внесен Министерством приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР. – Москва : Стандартиформ, 2006. – 22 с. – Текст : непосредственный.

105. Термоанемометр Testo 425. – Текст : электронный. – URL: https://lavent.ru/wp-content/uploads/2009/09/testo425_RU_IM.pdf.

106. Технические условия ТУ 2149-223-10964029-2004 Порошок огнетушащий Фоскон. – Текст : электронный. – URL: <https://fk-him.ru> (дата обращения: 10.09.2019).

107. Поляков, А. С. Распределение фракций огнетушащего порошка в моделируемом нестационарном газовом потоке / А. С. Поляков, Д. Ф. Кожевин, А. С. Константинова. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – Т. 28. – № 6. – С. 80-88.

108. Li H., Feng L., Du D., Guo X., Hua M., Pan X. Fire suppression performance of a new type of composite superfine dry powder. *Fire and Materials*, 2019, vol. 43, issue 8, pp. 905-916.
109. Huang D., Wang X., Yang J. Influence of particle size and heating rate on decomposition of BC dry chemical fire extinguishing powders. *Particulate Science and Technology*, 2015, vol. 33, issue 5, pp. 488–493.
110. Yan Y., Han Z., Zhao L., Du Z., Cong X. Study on the relationship between the particle size distribution and the effectiveness of the K-powder fire extinguishing agent. *Fire and Materials*, 2018, vol. 42, issue 3, pp. 336-344.
111. Lee E., Choi Y. Effects of particle size of dry water on fire extinguishing performance. *Journal of the Korean Society of Safety*, 2019, vol. 34, issue 3, pp. 28-35.
112. Liu H.-Q., Zong R.-W., Lo S., Hu Y., Zhi Y.-R. Fire extinguishing efficiency of magnesium hydroxide powders under different particle size. *Procedia Engineering*, 2018, issue 211, pp. 447-455.
113. Горшков, В. И. Влияние озонобезопасных огнетушащих хладонов на характеристики горения газопаровоздушных смесей / В. И. Горшков, Э. Д. Замышевский, С. Н. Копылов. – Текст : непосредственный // Безопасность труда в промышленности. – 1997. – № 4. – С.20-21.
114. Song F. Experimental study on fires extinguishing properties of melamine phosphate powders. *Procedia Engineering*, 2014, issue 84, pp. 535–542.
115. Xiao-meng Z., Li-zhen J., Tao Ch. Surface characteristics and fire-extinguishing ability of superfine-powder fire-extinguishing agent. *Journal of Combustion Science and Technology*, 2009, issue 3, pp. 214-218.
116. Xin H., Ling-jiang L., Xiao-meng Z. Experimental study on fire extinguishing performance of ammonia phosphate subnanometer powder. *Fire Safety Science*, 2011, issue 4, pp. 200-205.
117. Li W., Peng X., Yuan L., Min W. The study on fire extinguishing performance of ultra-thin magnesium hydroxide powder. *Fire Science and Technology*, 2009, issue 6, pp. 425-428.

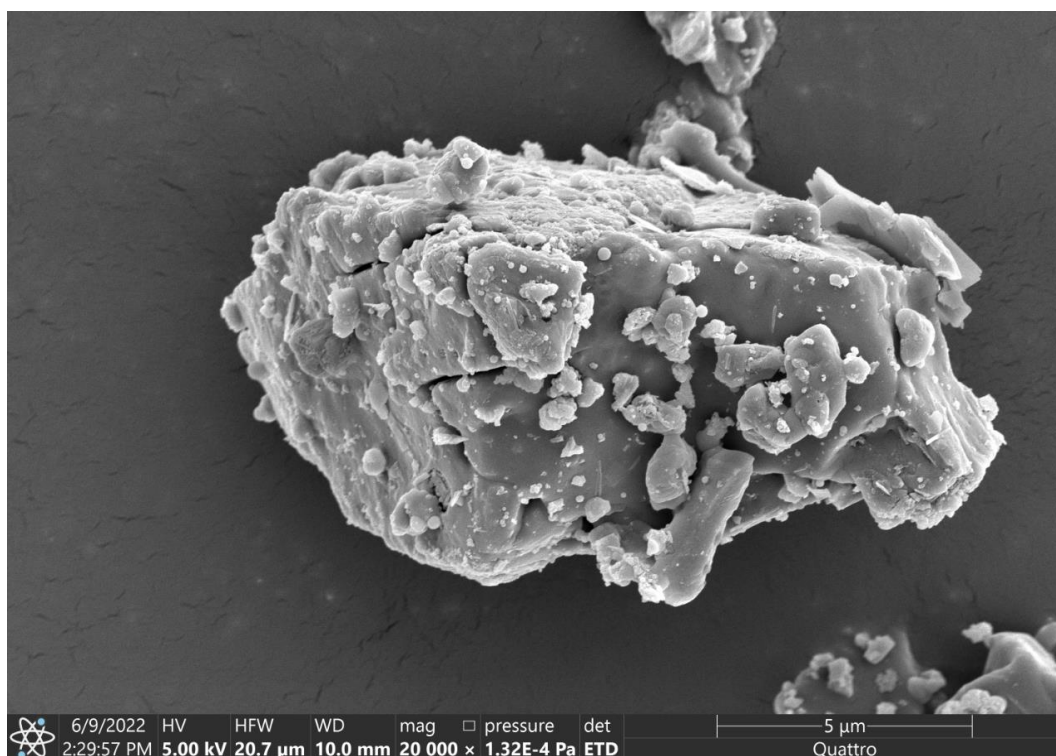
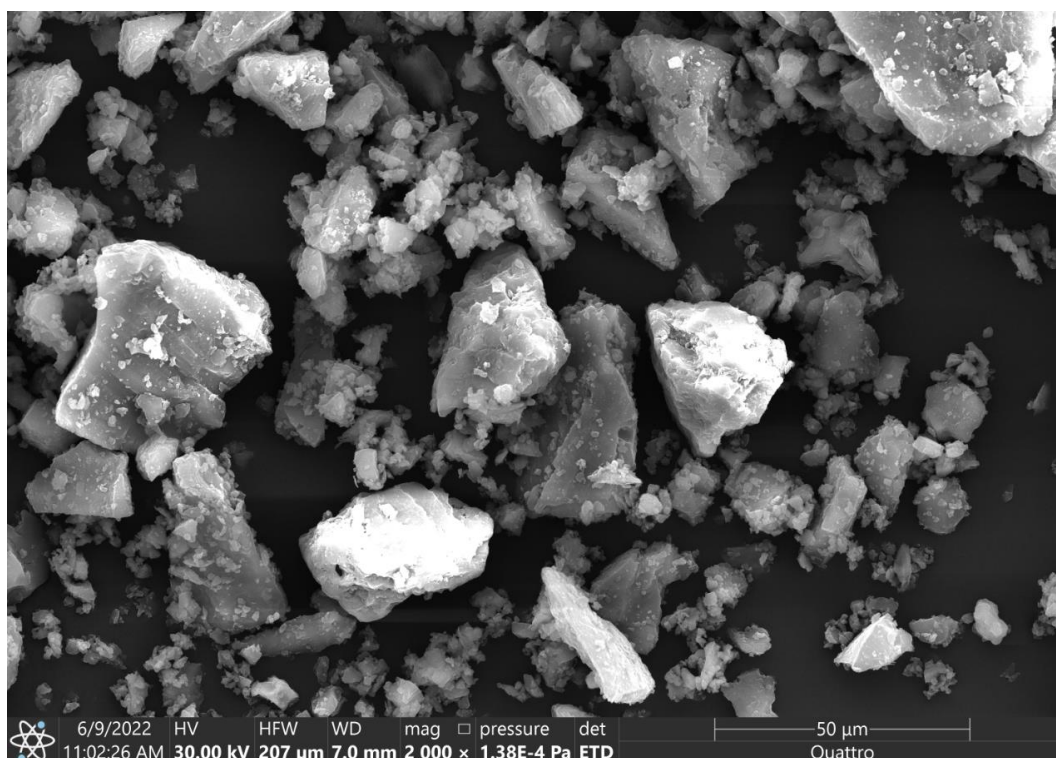
118. Vock S., Klöden B., Kirchner A., Weißgärber T., Kieback B. Powders for powder bed fusion: a review. *Progress in Additive Manufacturing*, 2019, issue 4, pp. 383-397.
119. Ishidoya M., Torikai, H., Ito, A., Shiibashi, Y. Examination of extinguishment method with extinguishing powder packed in a spherical ice capsule. *Fire Science and Technology*, 2015, pp. 887-893.
120. Краснов, Е. В. Анализ нормативного регулирования порошковых составов и огнетушителей в России и за рубежом / Е. В. Краснов. – Текст : непосредственный // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2013. – Т. 22. – № 1. – С. 7-14.
121. Корольченко, Д. А. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами / Д. А. Корольченко, А. Ф. Шароварников. – Текст : непосредственный // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2014. – Т. 23. – № 11. – С. 84-88.
122. Корольченко, Д. А. Эффект огнепреграждения при оценке огнетушащей способности порошковых составов / Д. А. Корольченко, А. Ф. Шароварников, Н. А. Власов. – Текст : непосредственный // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2015. – Т. 24. – № 10. – С. 67-74.
123. Булва, А. Д. Применение водяных завес для ограничения распространения опасных примесей в атмосфере / А. Д. Булва. – Текст : непосредственный // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2013. – Т. 22 – № 9. – С. 74-82.
124. Карпенчук, И. В. Дифференциальные уравнения одномерного осредненного движения распыленной струи жидкости / И. В. Карпенчук, Ю. В. Заневская. – Текст : непосредственный // *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация*. – 2005. – Т. 17 – № 7. – С. 14-20.
125. Белоусов, В. В. Теоретические основы процессов газоочистки: учебник для вузов / В. В. Белоусов. – Москва : *Металлургия*, 1988. – 256 с. – Текст : непосредственный.
126. Пузач, С. В. К определению высоты пламенной зоны при диффузионном горении жидкости / С. В. Пузач, Е. С. Абакумов. – Текст : непосредственный // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2012. – Т. 21. – № 2. – С. 31-34.

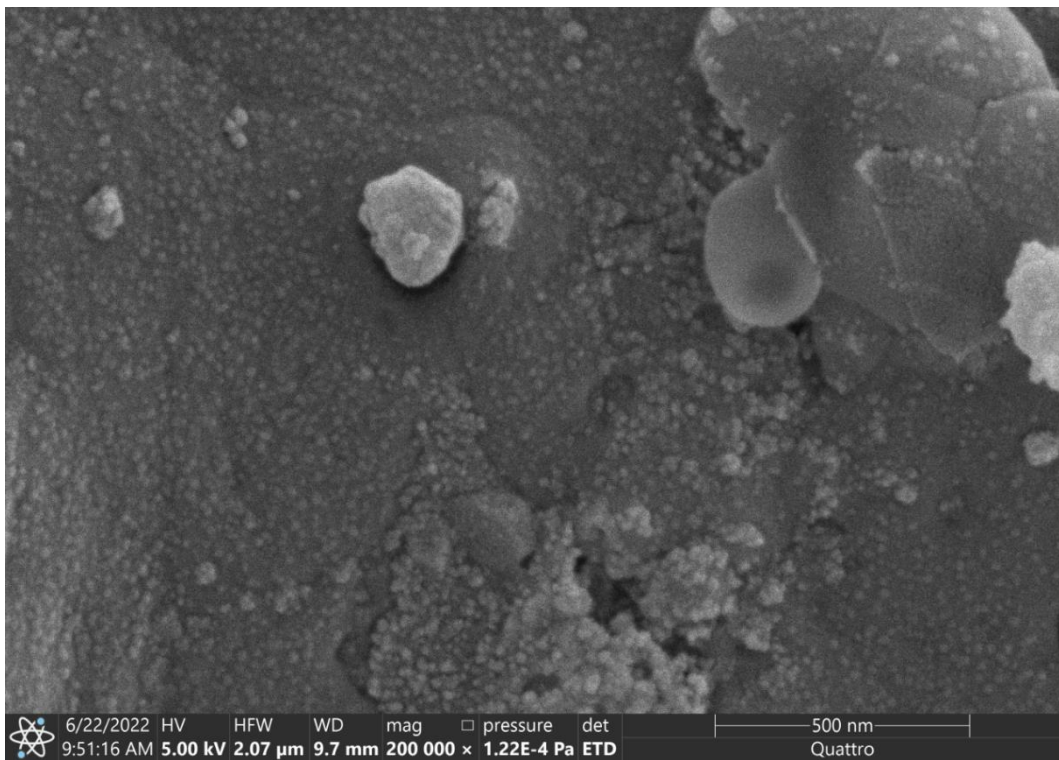
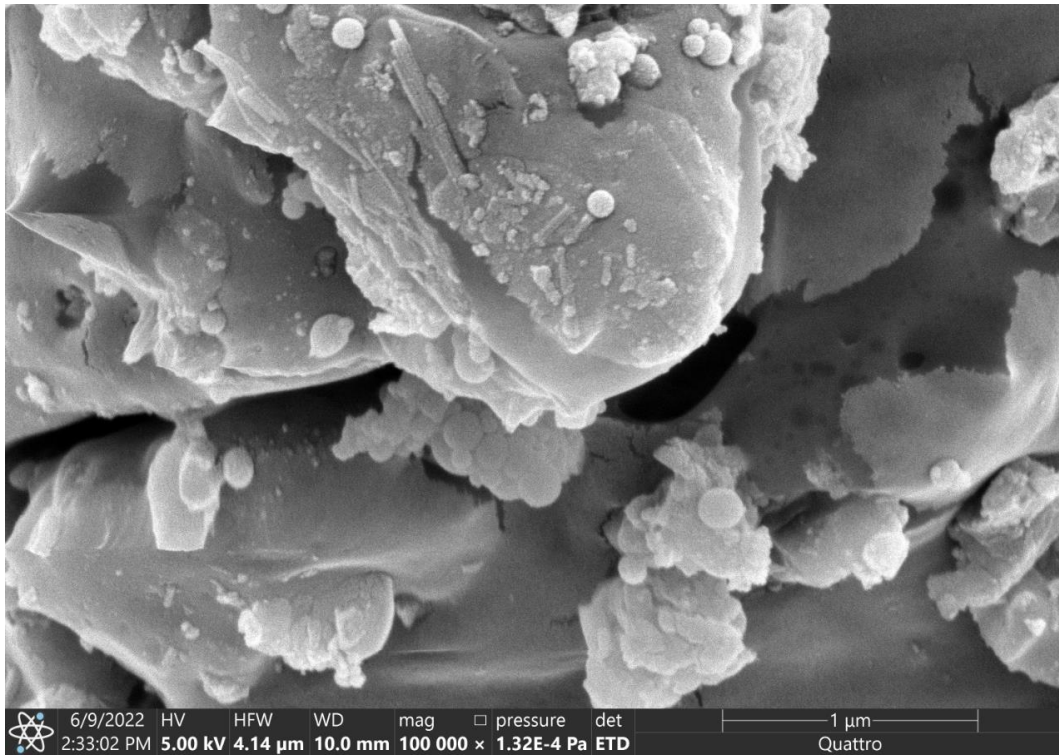
127. Цапенко, А. С. Расчет параметров газопорошковых струй / А. С. Цапенко, И. И. Чередниченко. – Текст : непосредственный // Огнетушащие порошковые средства: сборник научных трудов. – Москва : ВНИИПО, 1985. – С. 112-117.

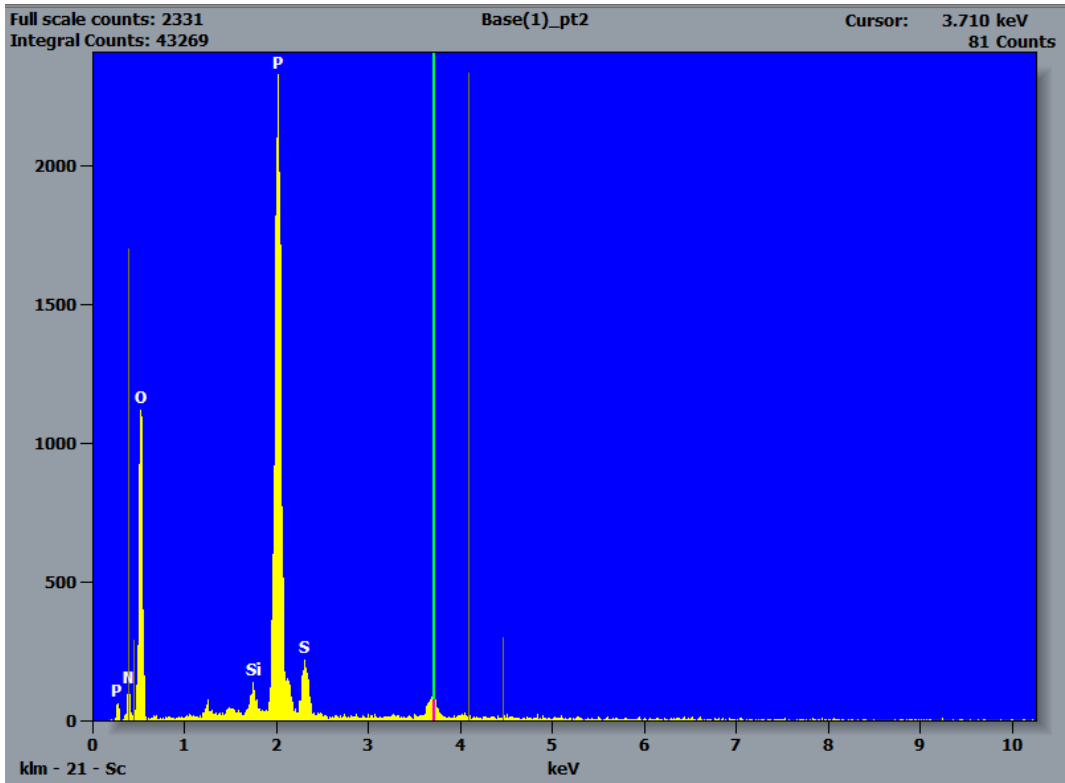
Приложение 1

Снимки образцов с электронного сканирующего микроскопа с различным увеличением, а также результаты элементного анализа образцов.

Образец № 1 – Огнетушащий порошок «Волгалит-АВС»

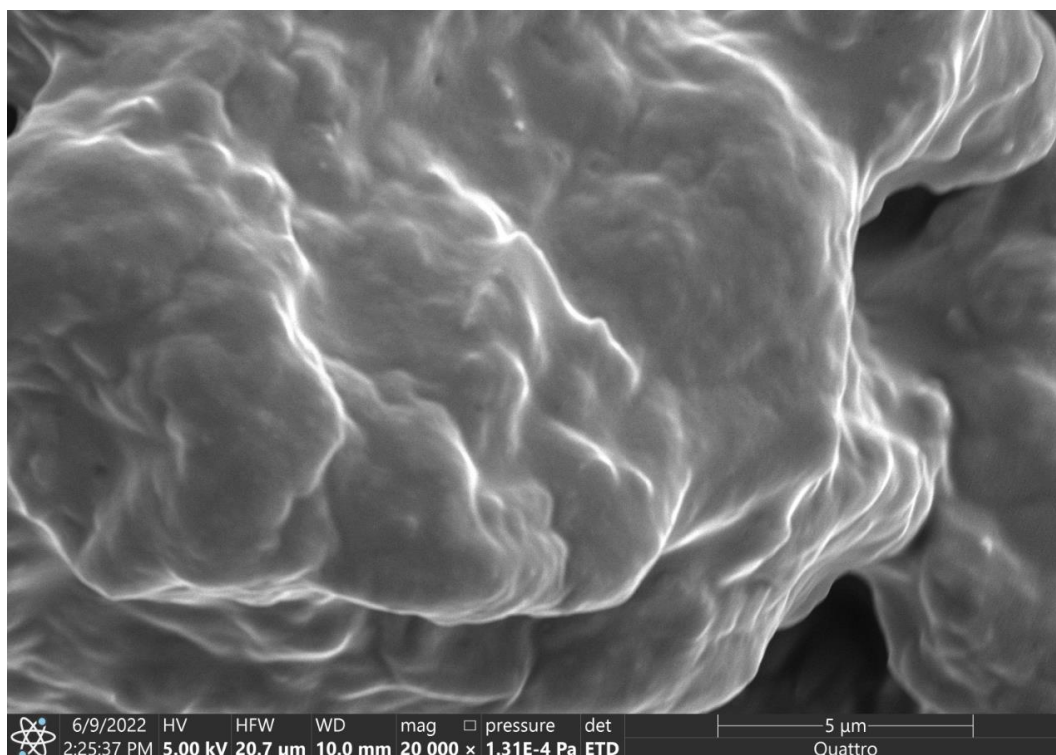
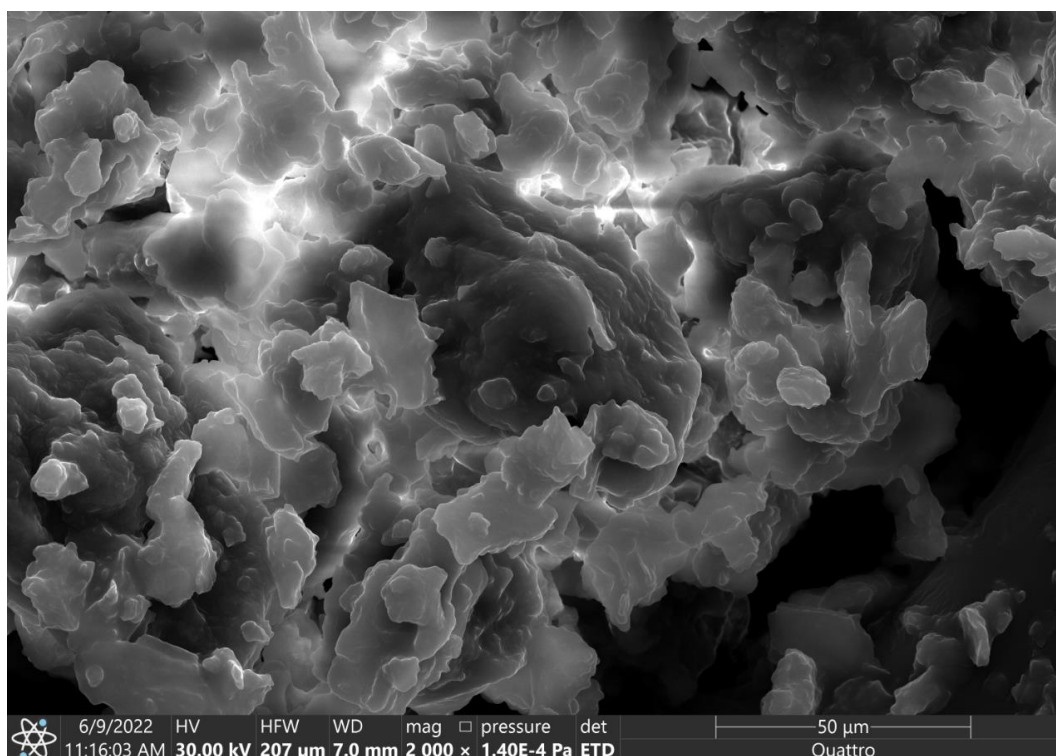


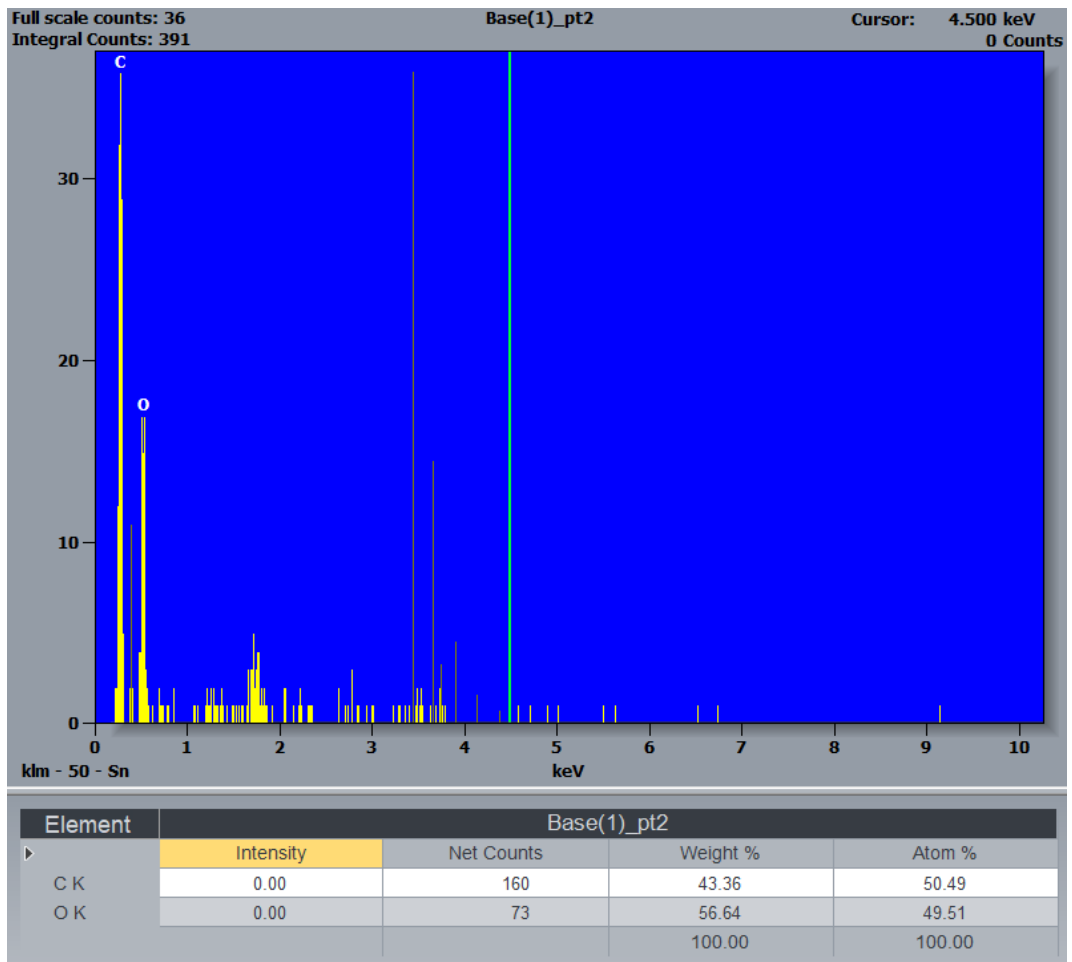




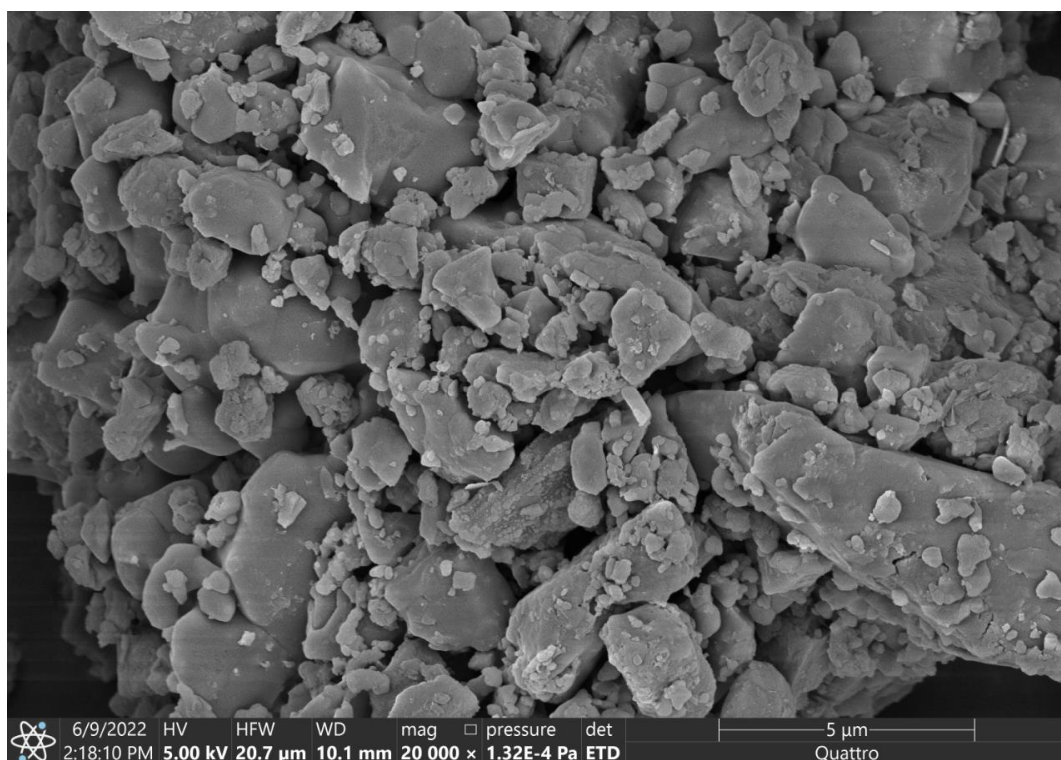
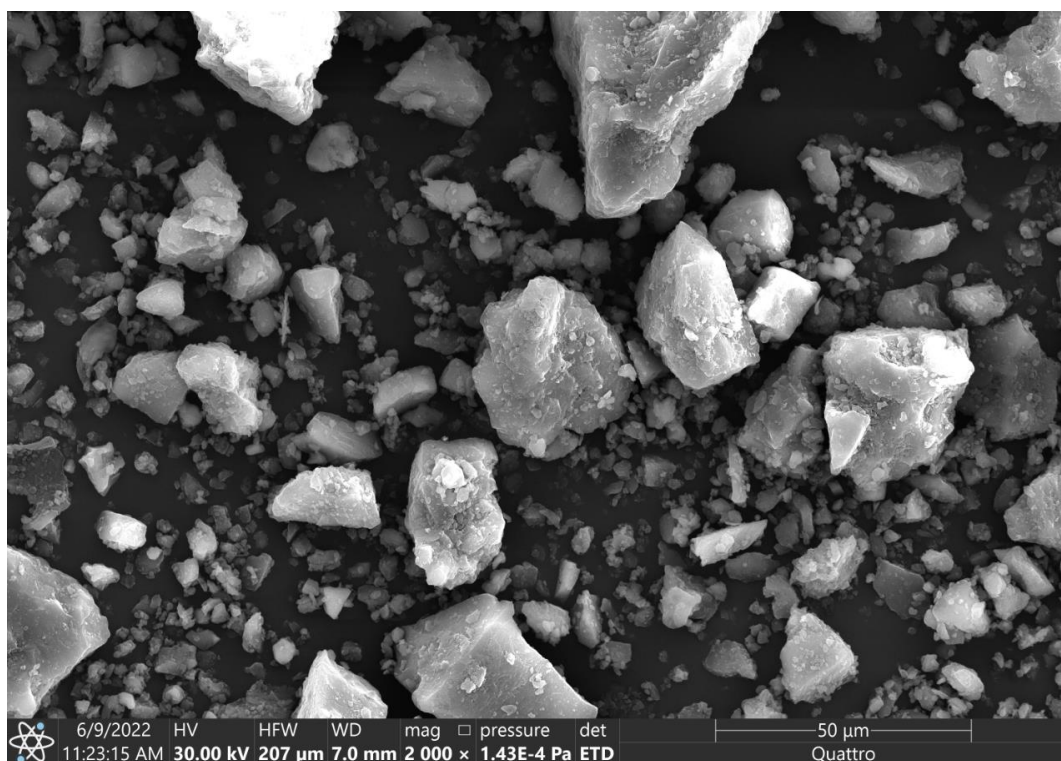
Element	Base(1)_pt2			
	Intensity	Net Counts	Weight %	Atom %
N K	0.00	290	6.99	9.57
O K	0.00	4987	56.70	67.98
Si K	0.00	511	0.84	0.57
Si L	0.00	0	—	—
P K	0.00	21435	31.68	19.62
P L	0.00	0	—	—
S K	0.00	1908	3.79	2.27
S L	0.00	0	—	—
			100.00	100.00

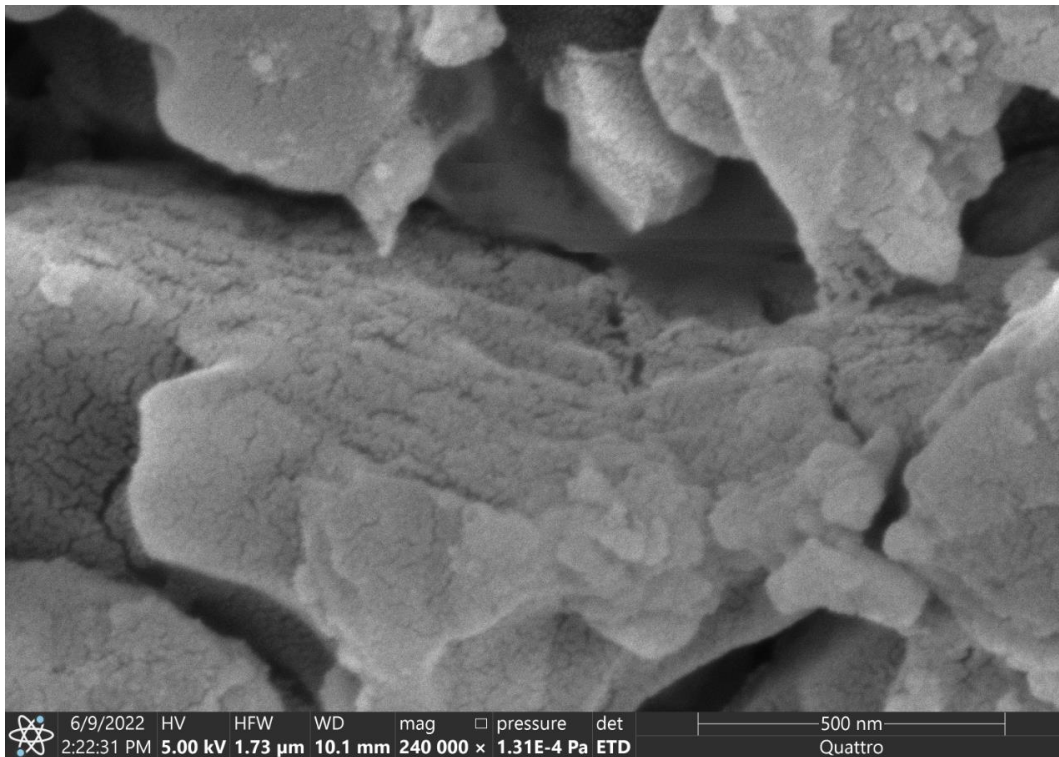
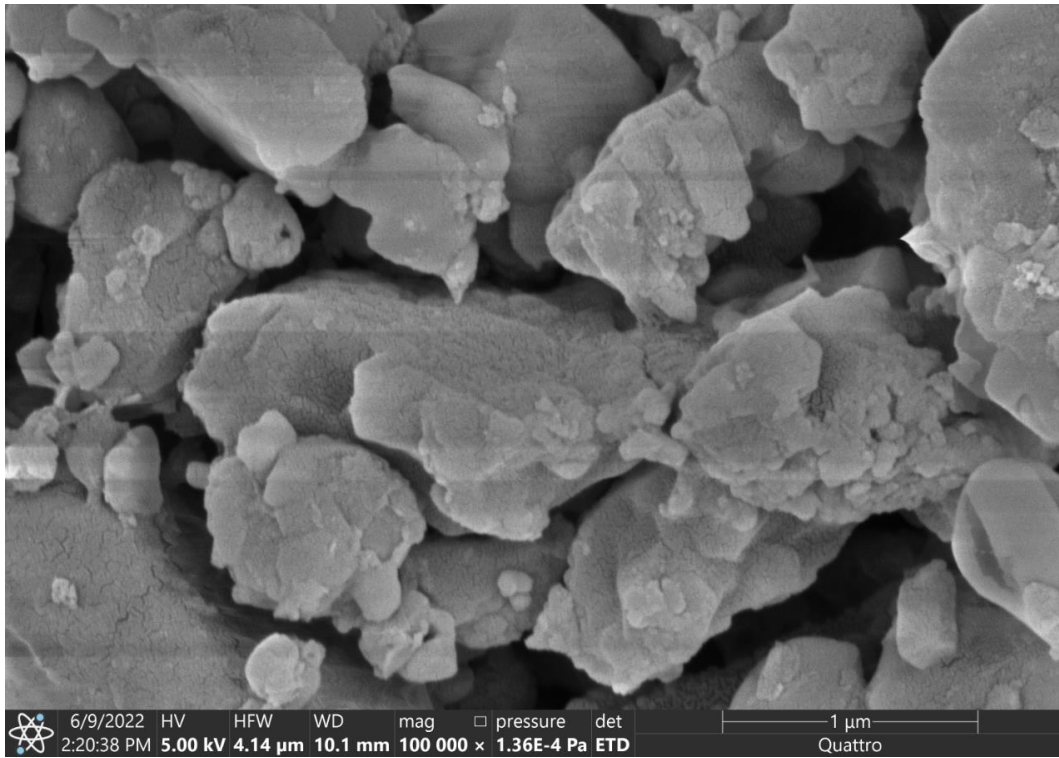
Образец № 2 – Гидрофобно-модифицирующая добавка «ГМД-20NT»

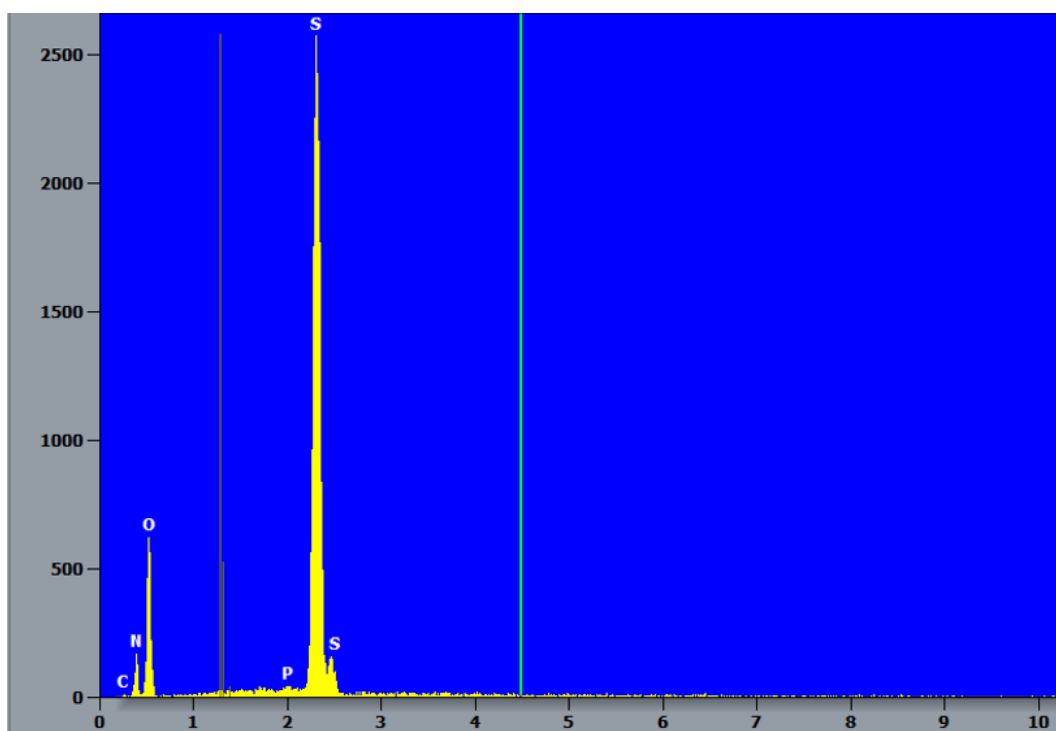




Образец № 3 – Огнетушащий порошок «Волгалит-АВС» с гидрофобно-модифицирующей добавкой марки «ГМД-20NT»







Element	Base(2)_pt1			
	Intensity	Net Counts	Weight %	Atom %
CK	0.00	56	1.26	1.99
NK	0.00	582	16.18	21.85
OK	0.00	2817	46.32	54.77
PK	0.00	238	0.32	0.19
PL	0.00	0	—	—
SK	0.00	27236	35.93	21.20
SL	0.00	0	—	—
			100.00	100.00

Приложение 2



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «Эпотос-К»

В.И. Семенов

«19» мая 2010 года

Протокол № 1
от 19.05.2010г.

о результатах тестовых испытаний модулей порошкового пожаротушения
МПП(р)-2,5-И-ГЭ-УХЛ 3.1 ТУ 4854-004-40302231-97 «БУРАН-2,5»
с различными огнетушащими порошками

Комиссия в составе:

от ООО «Эпотос-К»:

Зам. начальника производства по МСЦ	Ю.И. Иванов
Инженер-конструктор	Е.В. Крылов
Инженер по испытаниям	А.Н. Баев

от ООО «ДиаТех»:

Исполнительный директор	А.О. Ваганов
Главный специалист	В.М. Агеев

от ООО «ЭПОТОС-ПРОЕКТ»

Главный инженер	А.В. Семушкин
-----------------	---------------

от Ивановского института ГПС МЧС России:

Профессор кафедры пожарной профилактики	В.И. Попов
Инспектор экспертно-консалтингового отдела	О.В. Дмитриев

Предъявлены образцы продукции модулей порошкового пожаротушения МПП(р)-2,5-И-ГЭ-УХЛ 3.1 ТУ 4854-004-40302231-97 «БУРАН-2,5», предназначенные для локализации и тушения пожаров класса А, В, С, а также в электрооборудовании, находящимся под напряжением, прошедшие предварительно приемо-сдаточные испытания. Модули изготовлены ООО «Эпотос-К» 13.05.10, 17.05.10 и 18.05.10г.

1. Цель испытаний - оценка эффективности применения в модуле огнетушащего порошка марки Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ.

Программа испытаний:

- Проведение тестовых огневых испытаний в соответствии с ГОСТ Р 53286. Целью испытаний является получение результатов по тушению модельных очагов классов А и В в идентичных условиях, для сравнительной оценки огнетушащей эффективности огнетушащих порошков Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286-97 и Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ в соответствии со схемами испытаний приведенными в приложении А на рис. 1, 2, 3, 4, 5.

Сведения об испытываемых порошках:

А) Огнетушащий порошок Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286-97 применяется в серийно выпускаемых изделиях. Изготовитель ЗАО «Экохиммаш», Костромская обл., г. Буй (ССПБ. RU. УП001.В06764).

Б) Огнетушащий порошок Волгалит-АВС (изготовитель ЗАО «ВВП»

г. Нижний Новгород) в смеси с 10% ДБМ (Хладон 114В2 микрокапсулированный ТУ 2412-064-04806898-97)

Испытания проводились на полигоне ООО «Эпотос-К» в камере с размерами 2,64x2,64x3,5м. Фото камеры представлено в приложении В на фото 1.

2. Испытания проводились в объеме огневых испытаний на соответствие требований ГОСТ Р 53286.

- Результаты испытаний приведены в таблице Приложения А.
- Схемы испытаний приведены в Приложении Б.
- Фотографии с места испытаний приведены в Приложении В.

3. Заключение.

3.1. Огневые испытания подтвердили предположение о возможности применения огнетушащего порошка с добавками ДБМ в модулях порошкового пожаротушения.

3.2. В процессе испытаний в соответствии с методикой ГОСТ Р 53286 не выявлено явных преимуществ огнетушащей эффективности огнетушащего порошка Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ в сравнении с огнетушащим порошком Вексон –АВС.

Преимущества огнетушащей эффективности порошка Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ в сравнении с порошком Вексон –АВС выявлены при тушении модельного очага 2В по ГОСТ Р 53286.

3.3. При тушении модельного очага А по ГОСТ Р 53286 сравнительную оценку провести не представилось возможным по конструктивным особенностям модуля с порошком Вексон-АВС (через 1,5 мин после разжигания бензина в поддоне произошел самозапуск модуля, п. А.2.1.3.2 ГОСТ Р 53286 – не выполнен).

ООО «Эпотос-К»:

Зам. начальника производства по МСЦ
Инженер-конструктор
Инженер по испытаниям

Ю.И. Иванов
Е.В. Крылов
А.Н. Баев

ООО «ДиаТех»:

Исполнительный директор
Главный специалист

А.О. Ваганов
В.М. Агеев

ООО «ЭПОТОС-ПРОЕКТ»

Главный инженер

А.В. Семушкин

Ивановский институт ГПС МЧС России:

Профессор кафедры пожарной профилактики
Инспектор экспертно-консалтингового отдела

В.И. Попов
О.В. Дмитриев

Результаты типовых испытаний модуля порошкового пожаротушения
МПП(р)-2,5-И-ГЭ-УХЛ 3.1 «БУРАН-2,5»
на соответствие требованиям ГОСТ Р 53286.

Номер опыта	Обозначение пункта ГОСТ Р 53286 на соответствие которому проводились испытания	Ранг модельного очага	Схема испытаний	Марка огнетушащего порошка	Результат испытаний
1	2	3	4	5	6
1	А.1.3	2В (четыре очага)	Рис. 1	Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ	В момент открытия камеры горение происходило в очаге 1. После раскрытия камеры произошло воспламенение в очагах 2, 3, 4.
2	А.1.3	2В (четыре очага)	Рис. 1	Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286-97	Очаги не потушены.
3	А.1.3	2В (четыре очага)	Рис. 1	Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ	Время выдержки в закрытой камере после срабатывания модуля 1,3 мин. В момент открытия камеры горение происходило в очаге 1 и 4. После раскрытия камеры произошло воспламенение в очагах 2 и 3.
4	А.1.3	2В (четыре очага)	Рис 2	Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ	В момент открытия камеры горение происходило в очаге 1 и 4. После раскрытия камеры произошло воспламенение в очагах 2 и 3.
5	А.1.3	2В (четыре очага)	Рис 2	Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286-97	В момент открытия камеры горение происходило в очаге 1 и 4. После раскрытия камеры произошло воспламенение в очагах 2 и 3.
6	А.1.3	2В (четыре очага)	Рис 3	Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ	Очаги потушены.
7	А.1.3	2В (четыре очага)	Рис 3	Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286-97	Очаги потушены.
8	А.1.2	34В	Рис 4	Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ	Очаг не потушен. (Воспламенение выплеска бензина на полу камеры.)

1	2	3	4	5	6
9	A.1.2	34В	Рис 4	Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286-97	Очаг не потушен. (В момент срабатывания модуля сорвало крепление вентиляционного люка камеры. Произошел интенсивный приток воздуха.)
10	A.1.2	34В	Рис 4	Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286-97	Очаг потушен.
11	A.2.1	Модельный очаг пожара класса А.	Рис 5 (Модуль без узла самозапуска)	Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ	Очаг потушен. (Запуск модуля произведен через 2,1 мин после выгорания бензина в поддоне.)
12	A.2.1	Модельный очаг пожара класса А.	Рис 5	Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286-97	Очаг потушен. (Через 1,5 мин после разжигания бензина в поддоне произошел самозапуск модуля, п. А.2.1.3.2 ГОСТ Р 53286 – не выполнен.)
13	A.2.1	Модельный очаг пожара класса А.	Рис 5	Волгалит-АВС в смеси с 10% ДБМ	Очаг потушен. (Запуск модуля произведен через 10 мин после выгорания бензина в поддоне.)

Рис 1
Схема испытаний

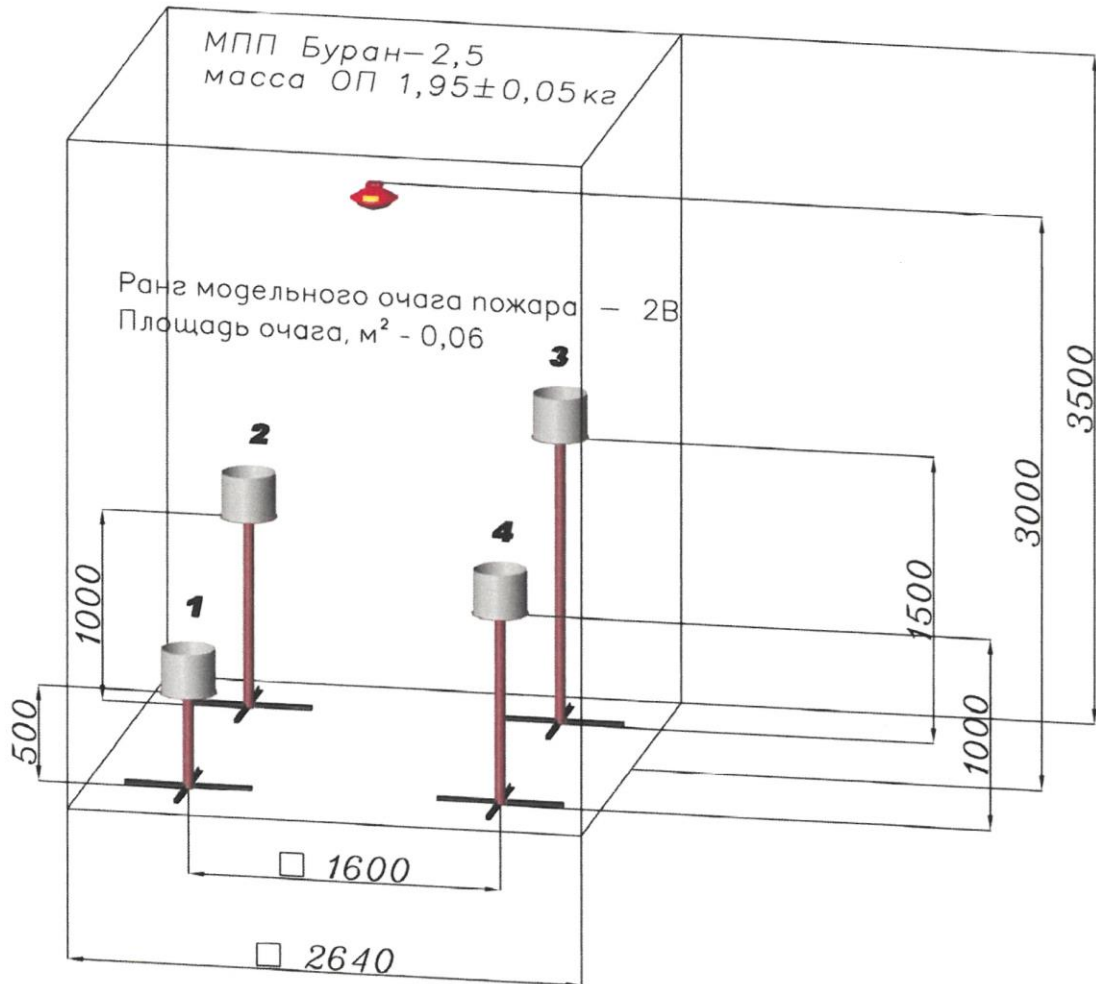


Рис 2
Схема испытаний

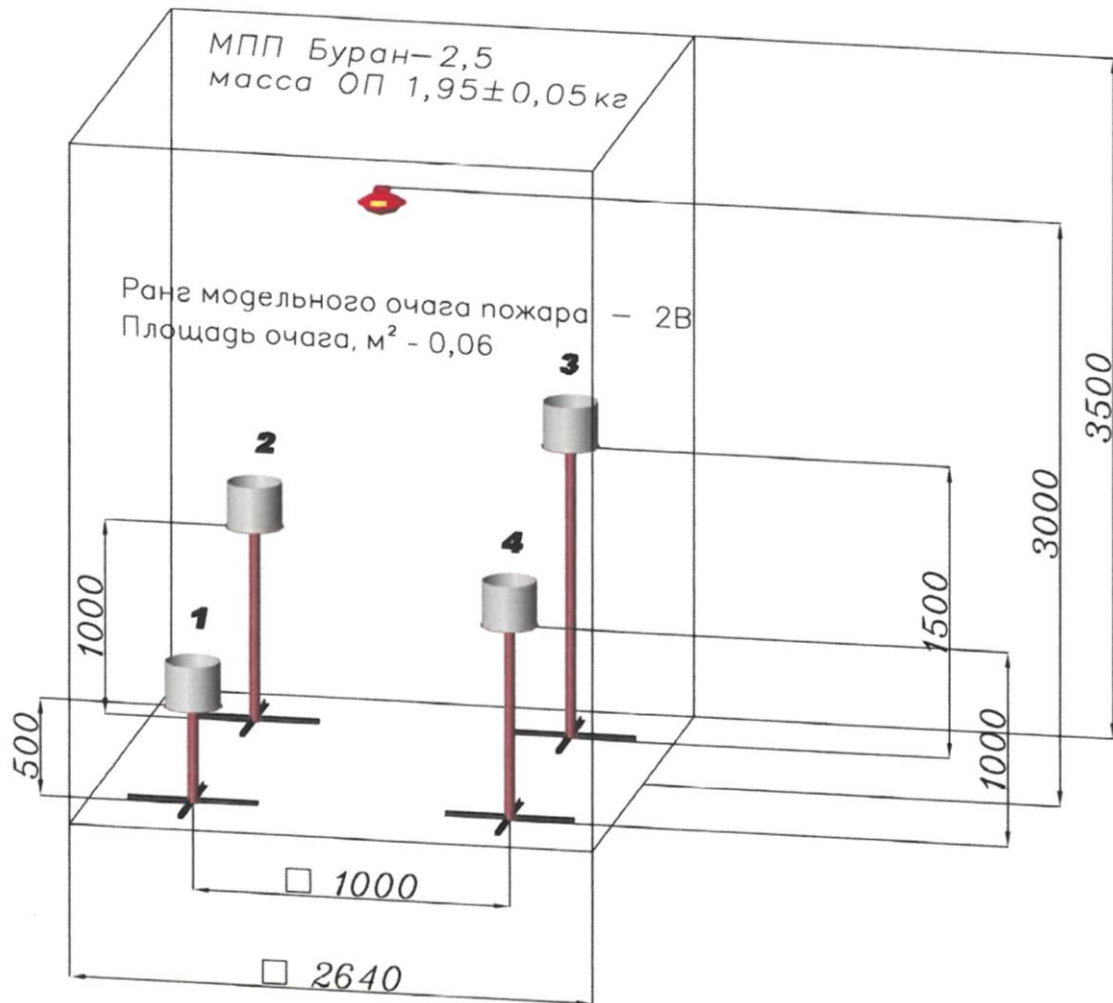


Рис 4
Схема испытаний

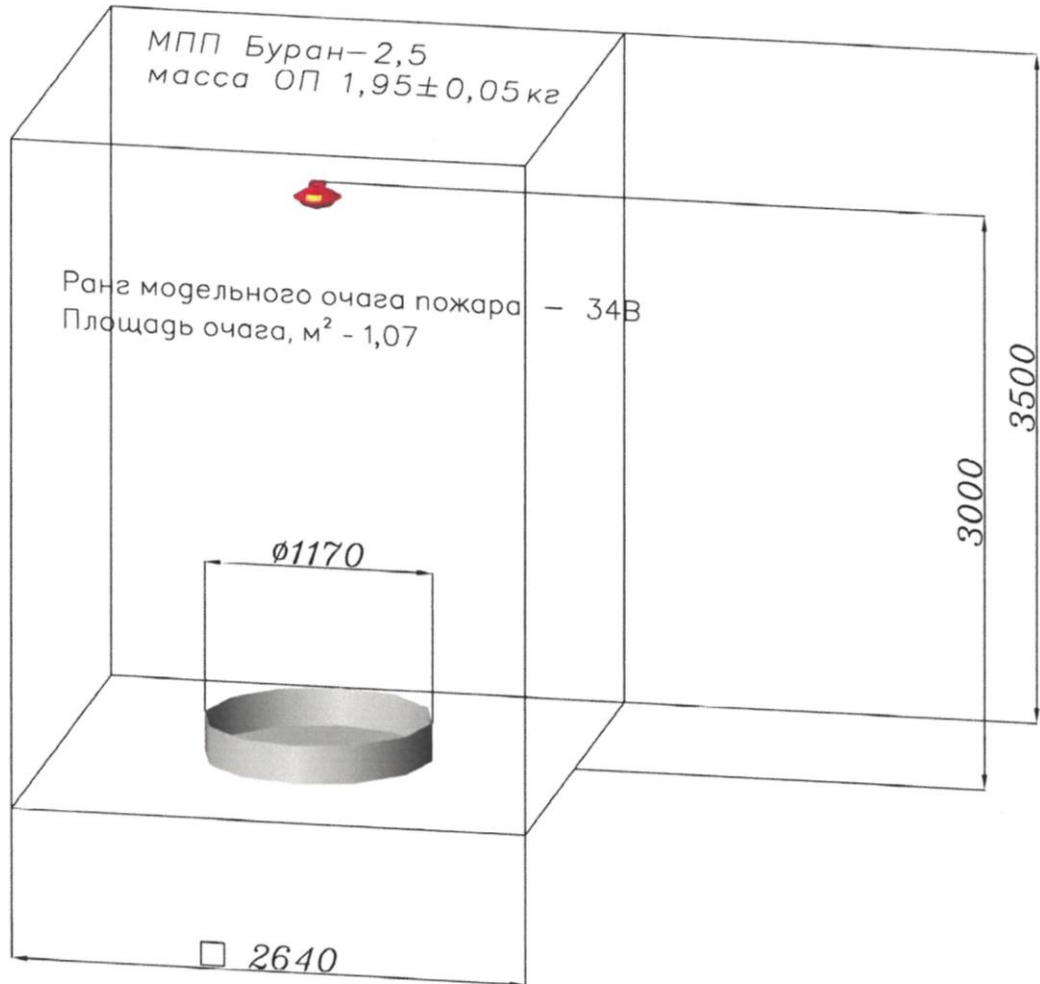


Рис 5
Схема испытаний

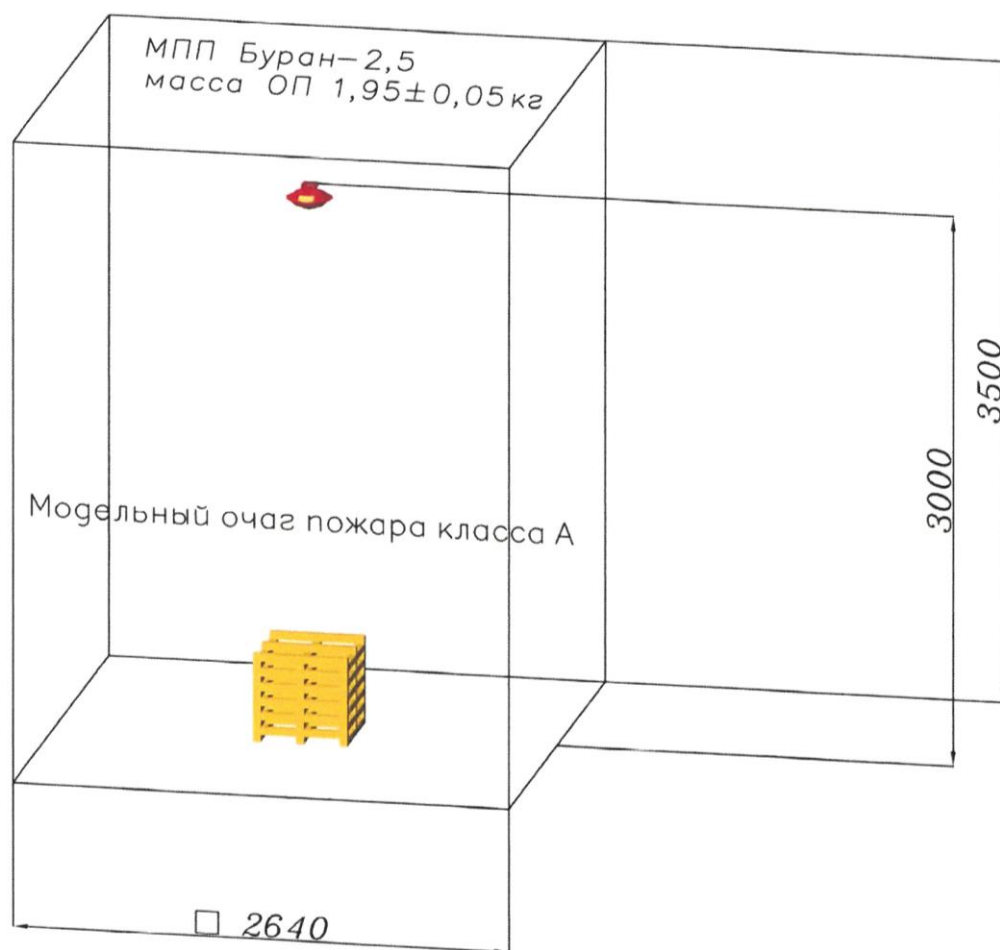




Фото 1. Общий вид испытательной камеры



Фото 2 Модельный очаг пожара класса 2В



Фото 3. Модельный очаг пожара класса А



Фото 4. Общий вид штабеля после тушения порошком с ДБМ



Фото 5. Порошок с ДБМ на поверхности древесины.

Приложение 3

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
ФГБОУ ВПО «Ивановский институт
ГПС МЧС России»
по научной работе
майор внутренней службы
кандидат химических наук

О.В. Потемкина



2012 г.

«с.с.»  2012 г.

г. Иваново

АКТ

**испытаний огнетушащего порошка, обработанного
гидрофобно-модифицирующими добавками серии «ГМД»**

Комиссия в составе председателя начальника учебно-научного комплекса «Государственный надзор» кандидата технических наук, доцента Самойлова Дмитрия Борисовича и членов: Попова Владимира Ивановича профессора кафедры «Пожарная профилактика» (в составе УНК «Государственный надзор») кандидата технических наук, доцента; Дмитриева Олега Владимировича научного сотрудника экспертно-консалтингового отдела; Овсянникова Михаила Юрьевича начальника кафедры «Государственный надзор» (в составе УНК «Государственный надзор») кандидата технических наук, доцента; Сырбу Светланы Александровны профессора кафедры «Пожарная профилактика» (в составе УНК «Государственный надзор») доктора химических наук, профессора, провела испытания огнетушащего порошка, изготовленного методом механического перемешивания полуфабриката «Волгалит АВС» и гидрофобно-модифицирующих добавок серии «ГМД» на основе торфяного сырья с концентрацией 1...5 % по тушению модельного очага пожара с легковоспламеняющейся жидкостью и определению способности к водоотталкиванию.

Испытания проводились в лаборатории Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ивановский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

Цель испытаний - оценка возможности применения добавок серии «ГМД» в качестве гидрофобизирующих компонентов к огнетушащим порошкам.

Начало испытаний – август 2012 года.

Результаты испытаний

1. Оценка водоотталкивающих свойств показывает, что при использовании гидрофобно-модифицирующих добавок серии «ГМД» в концентрациях от 1 до 5 % полного впитывания капель воды в слой порошка в течение 120 минут не происходит, частичное скатывание капель с его поверхности происходит при использовании концентрированной добавки ГМД-2.

2. Положительный эффект при тушении модельного очага пожара с легковоспламеняющейся жидкостью возникает начиная с концентрации 2 % гидрофобно-модифицирующей добавки в огнетушащем порошке. При использовании добавки ГМД-0 расход порошка сокращается на 10 %, а при использовании добавки ГМД-1 – на 20 %.

Выводы и предложения

1. Комиссия считает возможным применение добавок серии ГМД в качестве гидрофобизирующих компонентов промышленно выпускаемых огнетушащих порошков.

2. Оптимальная концентрация и вид гидрофобно-модифицирующих добавок серии «ГМД» определяется экспериментальным путем в зависимости от состава огнетушащего порошка.

3. Рекомендуется проведение испытаний по анализу эффективности внесения добавок серии «ГМД» методом совместного помола с компонентами огнетушащего порошка.

Председатель


Члены комиссии:

 Д.Б. Самойлов

 В.И. Попов

 О.В. Дмитриев

 М.Ю. Овсянников

 С.А. Сырбу

Приложение 4

УТВЕРЖДАЮ
Начальник ФГБОУ ВПО Ивановского
института ГПС МЧС России
генерал-майор внутренней службы


И.А. Малый
«12» _____ 2013 г.

Протокол № 1-8
от 10.07.2013 г.

о результатах исследования эксплуатационных свойств огнетушащего порошка «Волгалит АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД»

Комиссия в составе:

от ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России:

Начальник экспертно-консалтингового отдела И.В. Грунцев

Научный сотрудник экспертно-консалтингового отдела О.В. Дмитриев

Профессор кафедры «Пожарная профилактика» в составе учебно-научного комплекса «Государственный надзор» кандидат технических наук, доцент В.И. Попов

от ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет:
Заведующий кафедрой «Геотехнология и торфяное производство» доктор технических наук О.С. Мисников

от ЗАО «В.В.П.»
Технический директор С.В. Левичев

Для испытаний использовались образцы огнетушащих порошковых составов: огнетушащий порошок «Волгалит-АВС» ТУ 2149-001-57847408-2010; экспериментальный огнетушащий порошковый состав на основе «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» с концентрацией 1 %, 2 %, предназначенные для локализации и тушения пожаров класса А, В, С, а также в электрооборудовании, находящимся под напряжением до 1000 В.

1. Цель исследования – определение эксплуатационных свойств огнетушащего порошка гидрофобизированного добавкой «ГМД-20NT».

Программа исследований:

- Исследования проводились в соответствии с ГОСТ Р 53280.4-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Огнетушащие порошки общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний.

- Исследования по определению огнетушащей способности проводились по методике и на лабораторной установке, разработанной в ФГБОУ ВПО Ивановском институте ГПС МЧС России.

Целью исследования является получение результатов по определению:

- кажущейся плотности неуплотненных и уплотненных порошков;
- гранулометрического состава;
- содержания влаги;
- склонности к влагопоглощению и слеживанию;
- способности к водоотталкиванию;
- показателя огнетушащей способности при тушении модельных очагов пожара класса А и В.

Исследования проводились в идентичных условиях, для сравнительной оценки эксплуатационных свойств огнетушащих порошков «Волгалит-АВС» ТУ 2149-001-57847408-2010, экспериментального огнетушащего порошкового состава на основе «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20 NT» с концентрацией 1 %, экспериментального огнетушащего порошкового состава на основе «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20 NT» с концентрацией 2 %.

Сведения об испытуемых порошках:

А) Огнетушащий порошок Волгалит-АВС ТУ 2149-001-57847408-2010 (изготовитель ЗАО «В.В.П.» г. Нижний Новгород).

Б) Экспериментальный огнетушащий порошковый состав на основе «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» с концентрацией 1 % (разработанный ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет и ЗАО «В.В.П.»). Гидрофобизирующая добавка «ГМД-20 NT» разработана ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет» и ООО «Промдобавка».

В) Экспериментальный огнетушащий порошковый состав на основе «Волгалит-АВС» с гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20 NT» с концентрацией 2 %.

Исследования проводились на лабораторной базе ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет и ЗАО «В.В.П.».

2. Проведение исследований.

2.1. Исследования по определению эксплуатационных свойств в соответствии с ГОСТ Р 53280.4-2009.

- Результаты исследований приведены в таблице 1.1. (Приложение 1).

2.2. Исследования по определению огнетушащей способности по методике и на лабораторной установке, разработанной в ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России.

- Результаты исследований приведены в таблице 2.1. и 2.2. (Приложение 2).

- Фотографии исследований приведены в приложении 3.

3. Заключение.

3.1. Испытания эксплуатационных свойств огнетушащего порошка гидрофобизированного добавкой «ГМД-20 NT» в исследованных концентрациях показали, что введение добавок серии «ГМД» в качестве антислеживающих, гидрофобизирующих компонентов позволяет придавать гидрофобные свойства компонентам огнетушащего порошка, уменьшать до минимума склонность к влагопоглощению и слеживанию. Добавки серии «ГМД» являются хорошими интенсификаторами помола, и позволяют увеличивать условную удельную поверхность частиц (при прочих равных условиях) как минимум на 5-10 %.

В исследуемых образцах выявлено содержание массовой доли влаги превышающее норматив 0,35 % (п. 5.4 ГОСТ Р 53280.4-2009). Данный показатель был превышен искусственно для проверки характеристик огнетушащего порошка в неблагоприятных условиях (хранение компонентов порошка в условиях высокой относительной влажности).

Массовая доля влаги является важным показателем качества огнетушащих порошков, от которого зависят их эксплуатационные свойства (текучесть, слеживаемость, влагопоглощение, огнетушащая способность и др.).

При проведении испытаний установлено, что экспериментальные порошки с превышением массовой доли влаги (0,59 и 0,72 %), соответствуют требованиям ГОСТ (таблица 1.1. приложение № 1).

3.3. При тушении модельных очагов экспериментальные огнетушащие составы по своим качественным характеристикам соответствуют промышленно выпускаемому огнетушащему порошку «Волгалит-АВС».

ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России:

Начальник экспертно-консалтингового отдела



И.В. Грунцев

Научный сотрудник
экспертно-консалтингового отдела



О.В. Дмитриев

12.07.2013г.

Профессор кафедры «Пожарная профилактика»
в составе учебно-научного комплекса
«Государственный надзор»
кандидат технических наук, доцент



В.И. Попов

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»:

Заведующий кафедрой
«Геотехнология и торфяное производство»
доктор технических наук



О.С. Мисников

ЗАО «В.В.П.»

10.07.2013г.

Технический директор



С.В. Левичев

10.09.2013г.

Таблица 1.1 – Результаты исследования по определению эксплуатационных свойств огнетушащих порошков

№ п/п	Наименование показателей	Норматив	Результаты анализов			Метод контроля
			«Волгалит-ABC»	Новый ОП с «ГМД»–20NT 1%	Новый ОП с «ГМД»–20NT 2%	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Кажущаяся плотность неуплотненного порошка, кг/м ³ , не менее	700	819	793	833	п.5.2 ГОСТ Р 53280.4-2009
2.	Кажущаяся плотность уплотненного порошка, кг/м ³ , не менее	1000	1282	1219	1315	п.5.2 ГОСТ Р 53280.4-2009
3.	Гранулометрический состав, %: сито 1000мкм сито 100 мкм, не более сито 50 мкм, не более	отс. 45 60	отс. 31,1 17,9	отс. 34,7 14,8	отс. 37,0 16,4	п.5.3 ГОСТ Р 53280.4-2009
4.	Массовая доля влаги, %, не более	0,35	0,16	0,59	0,72	п.5.4 ГОСТ Р 53280.4-2009
5.	Склонность к влагопоглощению, %, не более	3	0,41	0,42	0,20	п.5.5 ГОСТ Р 53280.4-2009
6.	Склонность к слеживанию, %, не более	2	соот.	отсутств.	отсутств.	п.5.5 ГОСТ Р 53280.4-2009
7.	Способность к водоотталкиванию, мин, не менее	120	120	120	120	п.5.6 ГОСТ Р 53280.4-2009
8.	Массовая доля фосфат-ионов (в пересчете на P ₂ O ₅), %, не менее	15	26,1	–	–	п.1 и п.8 ГОСТ 20851.2-75
9.	Удельная поверхность, см ² /г		3016	2382	2294	Инструкция к прибору Т-3
10.	Удельный вес, см ² /г			1,8956	1,9887	

Таблица – 2.1 Результаты исследований по определению огнетушащей способности при тушении модельного очага пожара класса А.

№ п/п	Порошковый состав	Процентное содержание вещества, %	Масса огнетушащего состава, г	Результаты испытаний (достижение эффекта тушения в исследованиях)				
				1	2	3	4	5
1.	«Волгалит-АВС»	0	0,5	0	0	0	0	0
			0,7	0	0	0	0	0
			1,2	0	0	0	0	0
			2,0	0	0	0	0	0
			2,5	0	0	0	0	0
			3,0	0	0	0	0	0
			4,0	0	0	0	+	0
			4,2	+	0	+	0	+
			4,5	+	+	+	+	+
2.	Новый ОП с «ГМД»–20NT 1%	1	4,3	+	+	+	+	+
			4,5	+	+	+	+	+
			4,1	+	+	+	+	+
			3,9	+	+	+	+	+
			3,7	0	0	0	0	0
			3,8	0	+	0	+	+
3.	Новый ОП с «ГМД»–20NT 2%	2	4,5	+	+	+	+	+
			4,3	+	+	+	+	+
			4,2	0	0	0	+	0

Примечание:

- Знаком «+» отмечено достижение положительного эффекта тушения горящего материала, знаком «0» непотушенное горение

Постоянные параметры при проведении испытания:

- Модельный очаг класса А (Штабель из 40 брусков древесины хвойной породы, длиной 80 мм и квадратным сечением 5 мм. Влажность около 6%.);
- Площадь поверхности горящего материала в исследованиях принята 0,025 м² масса древесины 20±1 г;
- Количество бензина для розжига – 5 мл;
- Давление P_{атм} = 0,7;
- Время свободного горения модельного очага – 1 мин 50сек;
- Высота устройства для подачи порошка над модельным очагом – 35см.

Таблица – 2.2 Результаты исследований по определению огнетушащей способности при тушении модельного очага пожара класса В.

№ п/п	Порошковый состав	Процентное содержание вещества, %	Масса огнетушащего состава, г	Результаты испытаний (достижение эффекта тушения в исследованиях)				
				1	2	3	4	5
1.	«Волгалит-АВС»	0	0,4	0	0	0	0	0
			0,5	0	0	+	0	0
			0,6	+	+	+	+	+
2.	Новый ОП с «ГМД»–20NT 1%	1	0,4	0	0	0	0	0
			0,6	+	+	+	+	+
			0,5	0	0	+	0	0
3.	Новый ОП с «ГМД»–20NT 2%	2	0,5	0	0	0	0	0
			0,6	0	0	0	0	0
			0,7	0	0	0	+	0
			0,75	+	+	0	0	+
			0,8	+	+	+	+	+

Примечание:

- Знаком «+» отмечено достижение положительного эффекта тушения горящего материала, знаком «0» непотушенное горение

Постоянные параметры при проведении испытания:

- Площадь модельного очага составляла 0,005 м²;

- Давление P_{атм} = 0,7;

- Высота устройства для подачи порошка над модельным очагом – 23см;

- Количество бензина марки АИ-80 – 5 мл;

- Время свободного горения модельного очага – 15 сек.

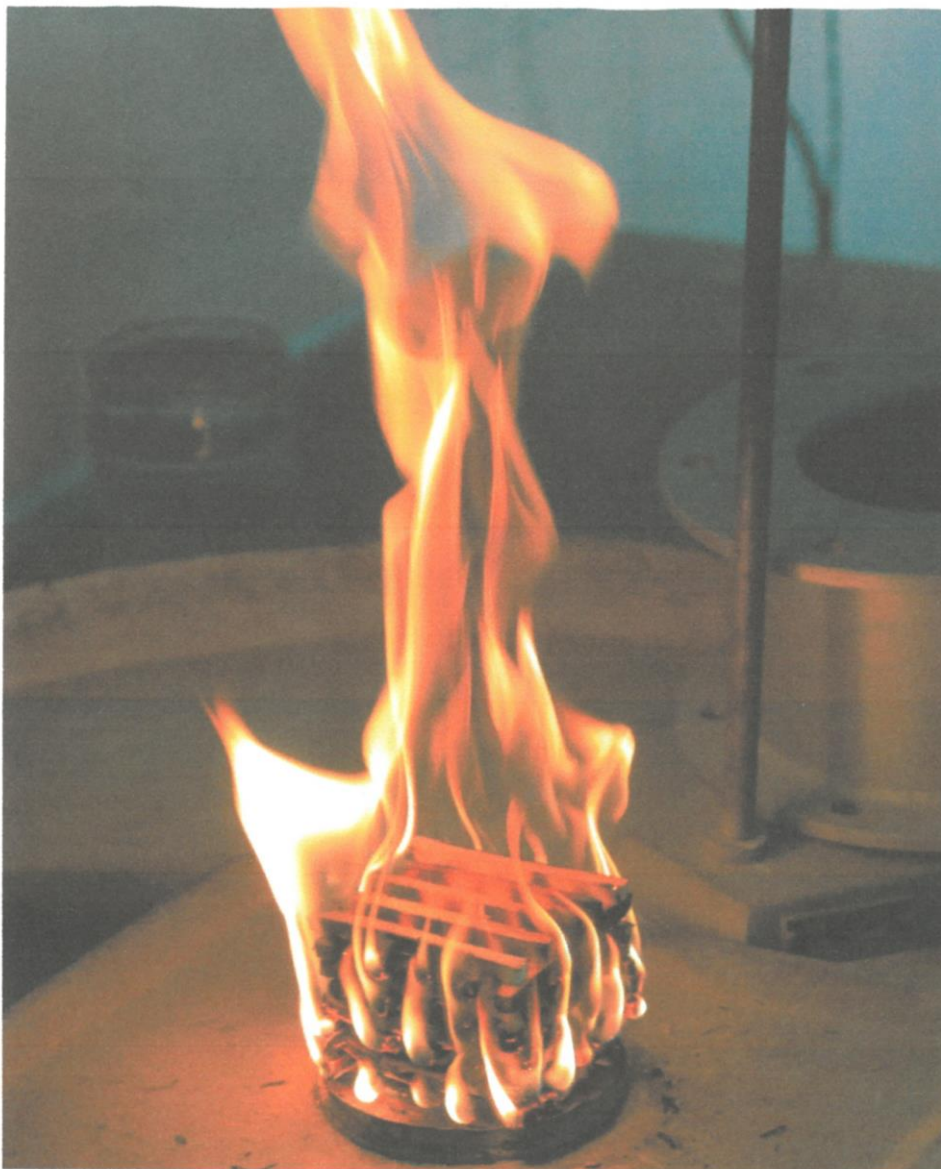
Фотографии испытаний



Фотография 1 – Модельный штабель древесины (Класс А)



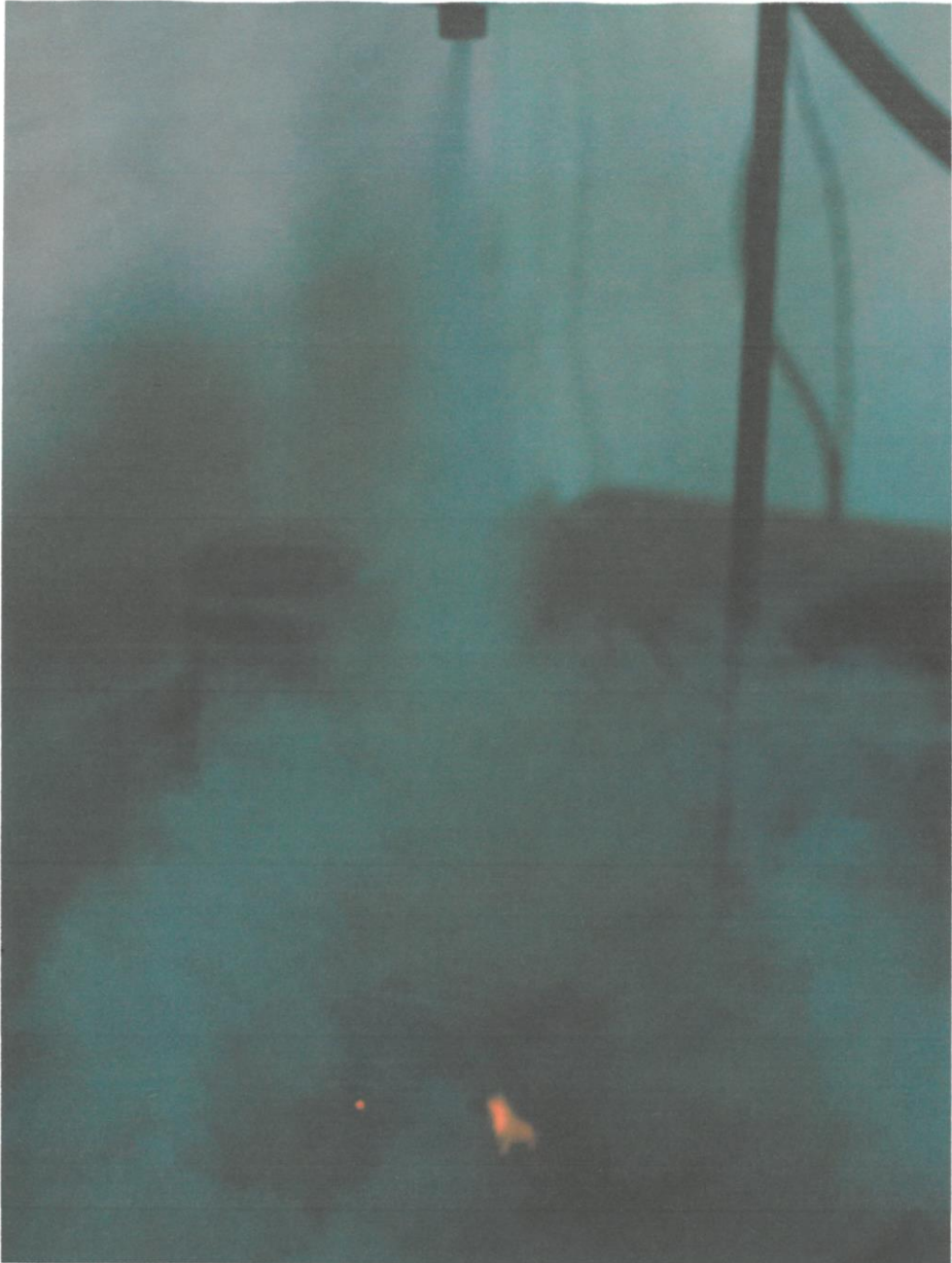
Фотография 2 – Горение модельного очага Класса А



Фотография 3 – Горение модельного очага Класса А



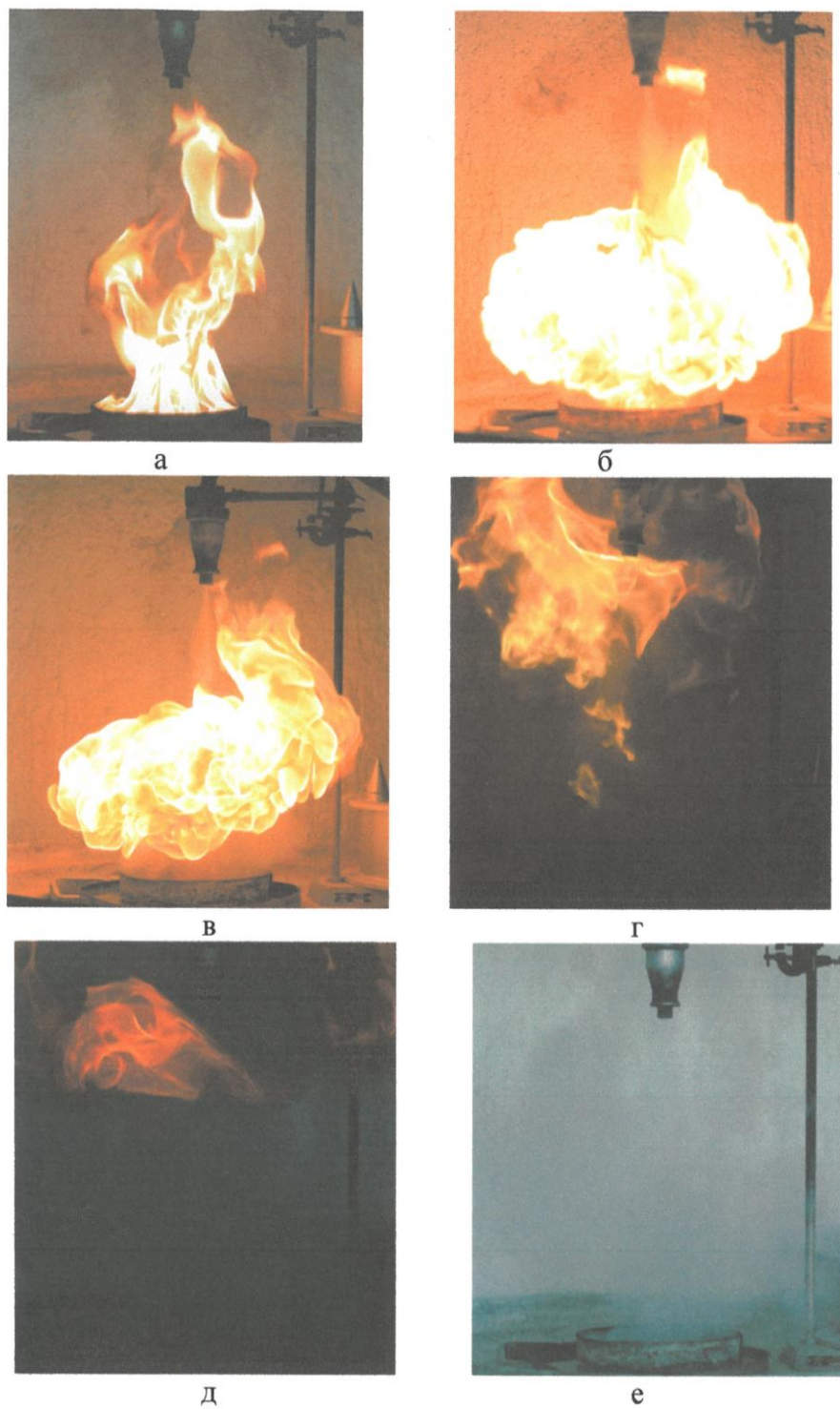
Фотография 4 – Тушение модельного очага Класса А огнетушащим порошковым составом



Фотография 5 – Тушение модельного очага Класса А



Фотография 6 – Потухание модельного очага Класса А в результате воздействия огнетушащего порошка



Фотография 7 – Лабораторные исследования по сравнительной оценке огнетушащей способности порошковых составов при тушении модельного очага горения легковоспламеняющейся жидкости (Класс В)
*а – свободное горение модельного очага; б, в, г, д – тушение модельного очага;
 е – потухание модельного очага в результате воздействия огнетушащего порошка*

Приложение 5



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ЗАО «В.В.П.»

В.И. Варнавский

« 5 » декабря 2013 года

Протокол №

от 05 декабря 2013 года

**испытаний качества опытно-промышленной партии
огнетушащего порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС»
с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT»**

Комиссия в составе:

1. Левичев С.В. – технический директор ЗАО «В.В.П.»;
2. Мисников О.С. – декан ФПИЭ ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», доктор технических наук, профессор;
3. Попов В.И. – профессор кафедры пожарной профилактики (в составе УНК «Государственный надзор») ФГБОУ ВПО «Ивановский институт ГПС МЧС России», кандидат технических наук, доцент;
4. Дмитриев О.В. – научный сотрудник экспертно-консалтингового отдела ФГБОУ ВПО «Ивановский институт ГПС МЧС России»;
5. Калугина И.В. – начальник исследовательской лаборатории ЗАО «В.В.П.».

Цель испытаний:

1. Проверка возможности выпуска огнетушащего порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» на производственной линии без изменения оборудования и технологии;
2. Определение эксплуатационных свойств и огнетушащей способности опытно-промышленной партии огнетушащего порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» полученного на производственной линии ЗАО «В.В.П.».

Программа исследований:

1. Выпуск опытно-промышленной партии огнетушащего порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» на производственной линии ЗАО «В.В.П.»;
2. Определение эксплуатационных свойств огнетушащего порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT»;
3. Определение огнетушащей способности порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой

«ГМД-20NT» полученной на производственной линии ЗАО «В.В.П.».

Результаты исследований:

1. Выпуск опытно-промышленной партии огнетушащего порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» на производственной линии ЗАО «В.В.П.».

На производственной линии ЗАО «В.В.П.» 04-05 декабря 2013 года без изменений конструкций технологических аппаратов и их параметров, в соответствии с технологическим процессом и рецептурой получения огнетушащего порошка «ВОЛГАЛИТ – АВС» выпущен опытно-промышленный образец огнетушащего порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT». Концентрация гидрофобизирующей добавки «ГМД-20NT» составила 1,5 % (по массе).

Опытная партия огнетушащего порошка выпущена в количестве 4057 кг.

2. Определение эксплуатационных свойств огнетушащего порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT».

Эксплуатационные свойства определялись в ЗАО «В.В.П.» на лабораторном оборудовании по методикам в соответствии с нормативами:

- ГОСТ Р 53280.4-2009 Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Огнетушащие порошки общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний.
- НПБ 170-98 Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний.

В лаборатории определены следующие эксплуатационные свойства опытной партии огнетушащего порошка:

- кажущаяся плотность неуплотненного порошка;
- кажущаяся плотность уплотненного порошка;
- гранулометрический состав;
- массовая доля остатка на ситах после просева;
- содержание влаги;
- склонность к водопоглощению;
- склонность к слеживанию;
- способность к водоотталкиванию;
- массовая доля P_2O_5 ;
- текучесть.

Результаты испытаний порошка по определению эксплуатационных свойств приведены в таблице 1 приложения 1 к настоящему протоколу.

3. Определение огнетушащей способности порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» полученной на производственной линии ЗАО «В.В.П.».

Огнетушащая способность порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» определялась в соответствии с положениями ГОСТ Р 53280.4-2009. Испытания проводились на полигоне ЗАО «В.В.П.» по тушению модельных очагов пожара класса 1А и 55В огнетушителем ОП-3 с массой порошка 3 кг.

Испытания проводились при следующих погодных условиях:

- атмосферное давление – 740 мм рт. ст.;
- влажность – 80 %;
- скорость ветра – 2 м/с;
- температура воздуха –2 °С.

При огневых испытаниях израсходовано:

- бензин марки А-80 – 170 л;
- огнетушащий порошок «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» – 24 кг;
- бруски из древесины хвойных пород влажностью 8...10 % сечением 39х39 мм длиной 500 мм – 216 шт.

Результаты испытаний порошка по огнетушащей способности приведены в таблице 1 приложения 1 к настоящему протоколу. Фото отчет об испытаниях приведен в приложении 2 к настоящему протоколу.

ВЫВОДЫ:

1. Выпуск опытной партии огнетушащего порошка «ВОЛГАЛИТ–АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» в количестве 4057 кг на производственной линии ЗАО «В.В.П.» 04-05 декабря 2013 года без изменений конструкций технологических аппаратов и их параметров, в соответствии с технологическим процессом и рецептурой получения огнетушащего порошка «ВОЛГАЛИТ – АВС» подтверждает возможность использования существующего оборудования для производства нового огнетушащего порошка в промышленных масштабах.
2. Эксплуатационные свойства опытной партии огнетушащего порошка «ВОЛГАЛИТ – АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» с концентрацией 1,5 % (по массе) по всем определенным параметрам удовлетворяют требованиям государственного стандарта ГОСТ Р 53280.4-2009 (данные приведены в приложении 1).
3. Огнетушащая способность порошкового состава на основе «ВОЛГАЛИТ

– АВС» с новой гидрофобизирующей добавкой «ГМД-20NT» при тушении огнетушителем ОП-3 модельных очагов пожара класса 1А и 55В удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 53280.4-2009 (данные по испытаниям приведены в приложении 1).

4. Применение в производстве огнетушащего порошка «ВОЛГАЛИТ-АВС» новой гидрофобизирующей добавки «ГМД-20NT» способствует сокращению времени помола и увеличению производительности выпускаемого продукта на 7%.

Технический директор ЗАО «В.В.П.»
«05» декабря 2013 года



С.В. Левичев

Декан ФПИЭ ФГБОУ ВПО
«Тверской государственной технической университет»,
доктор технических наук, профессор
«05» декабря 2013 года



О.С. Мисников

Профессор кафедры пожарной профилактики
(в составе УНК «Государственный надзор»)
ФГБОУ ВПО «Ивановский институт ГПС МЧС России»,
кандидат технических наук, доцент
«05» декабря 2013 года



В.И. Попов

Научный сотрудник
экспертно-консалтингового отдела
ФГБОУ ВПО «Ивановский институт
ГПС МЧС России»
«06» декабря 2013 года



О.В. Дмитриев

Начальник исследовательской лаборатории
ЗАО «В.В.П.»
«25» декабря 2013 года



И.В. Калугина

Таблица 1. Результаты исследования по определению эксплуатационных свойств огнетушащего порошка

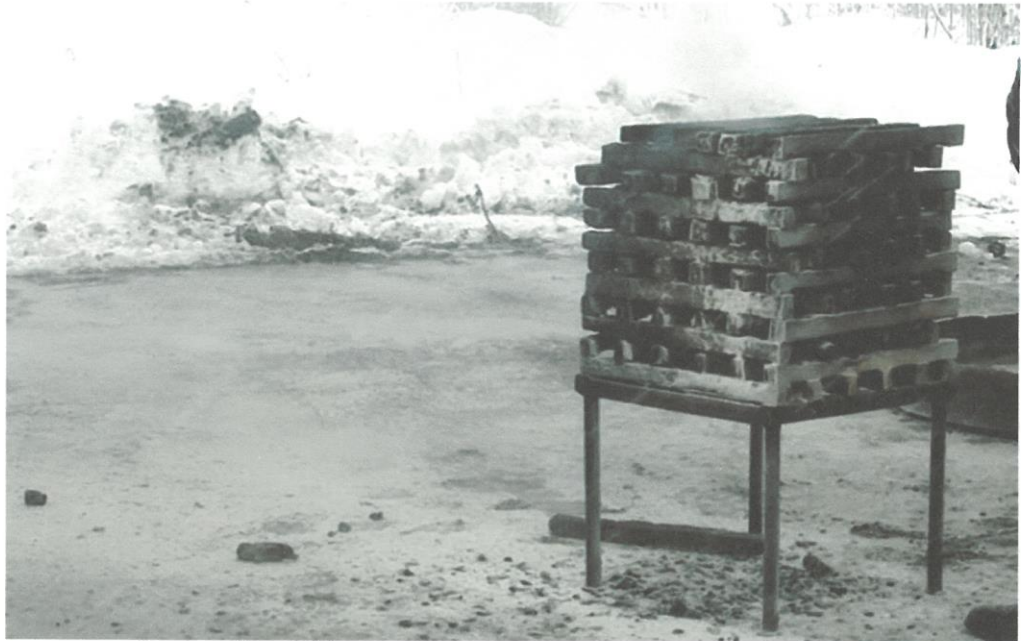
№	Наименование показателей	«ВОЛГАЛИТ – АВС» с «ГМД» 1,5%	Норма по ГОСТ Р 53280.4-2009 ТУ 2149-001-57847408-05
1.	Кажущаяся насыпная плотность, кг/м ³ неуплотненного уплотненного	833 1282	Н.м. 700 Н.м. 1000
2.	Слеживаемость, %	0	Н.б. 2
3.	Водоотталкивание, мин	≥120	Н.м. 120
4.	Влагопоглощение, %	0,53	Н.б. 3,0
5.	Влагосодержание, %	0,35	Н.б. 0,35
6.	Гран. состав, % 1000мкм 100мкм 50мкм	0 34,5 20,3	0 Н.б. 45,0 Н.б. 60,0
7.	Массовая доля Р ₂ О ₅ , %	49,0	-
8.	Огнетушащая способность по тушению модельного очага пожара – по классу 1А – по классу 55 В Расход огнетушащего порошка:	Потушено 2 из 3-х Потушено 3 из 3-х 0,9 кг/м ² (максимальный из 3-х испытаний)	Тушение 2-х из 3-х параллельных определений Н.б. 1 кг/м ²
9.	Текучесть, кг/с	0,41	Н.м. 0,28
10.	Остаток порошка после полного выброса, %	7,4	Н.б. 10



Фотография 1. Модельный очаг пожара (Класс 1А)



Фотография 2. Тушение модельного очага пожара (Класс 1А) огнетушащим порошковым составом на основе «ВОЛГАЛИТ-АВС» с применением гидрофобизирующей добавки «ГМД» с концентрацией 1,5%



Фотография 3. Потухание модельного очага пожара (Класс 1А)
в результате воздействия огнетушащего порошка



Фотография 4. Модельный очаг пожара (Класс 55В)



Фотография 5. Тушение модельного очага пожара (Класс 55В) огнетушащим порошковым составом на основе «ВОЛГАЛИТ-АВС» с применением гидрофобизирующей добавки «ГМД» с концентрацией 1,5%



Фотография 6. Потухание модельного очага пожара (Класс 55В) в результате воздействия огнетушащего порошка

Приложение 6

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 605 056** (13) **C1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
[A62D 1/00 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: может прекратить свое действие (последнее изменение статуса: 07.11.2018)
Пошлина: учтена за 3 год с 30.06.2017 по 29.06.2018

(21)(22) Заявка: [2015125928/12](#), 29.06.2015(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.06.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.06.2015

(45) Опубликовано: [20.12.2016](#) Бюл. № [35](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2230588 C1, 20.06.2004. Мисникова О.С. и др. ";** Исследование свойств огнетушащих порошков модифицированных торфяными гидрофобными добавками";, научного журнала " ;ТРУДЫ ИНСТОРФА"; . **RU 2159138 C2, 20.11.2000 . US 20090146097 A1, 11.06.2009..**

Адрес для переписки:

153040, г. Иваново, пр-т Строителей, 33,
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
начальнику отделения Дмитриеву О.В.

(72) Автор(ы):

Дмитриев Олег Владимирович (RU),
Попов Владимир Иванович (RU),
Мисников Олег Степанович (RU),
Малый Игорь Александрович (RU),
Шарабанова Ирина Юрьевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий" (ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России) (RU)

(54) ОГНЕТУШАЩИЙ ПОРОШОК МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к составам огнетушащих порошков, применяющихся для тушения твердых, жидких и газообразных веществ, а также электроустановок. Огнетушащий порошок многоцелевого назначения, содержащий аммофос, сульфат аммония, нерастворимый в воде минерал или смесь минералов, дополнительно содержит гидрофобно-модифицирующую добавку на основе органического вещества торфа, которую вносят на этапе помола компонентов огнетушащего порошка, при оптимальном соотношении компонентов, мас. %: гидрофобно-модифицирующая добавка на основе органического вещества торфа 0,1-7,0; аммофос 35-60; сульфат аммония 25-35; нерастворимый в воде минерал или смесь минералов до 100. Технический результат: создание высокоэффективного огнетушащего порошка с высокими эксплуатационными характеристиками: повышенной водоотталкивающей, антислеживающей и огнетушащей способностью. 2 з.п. ф-лы, 1 табл.

Изобретение относится к противопожарным средствам, а именно к составам огнетушащих порошков, применяющихся для тушения твердых, жидких и газообразных веществ, а также электроустановок, как в закрытых пространствах, так и на открытом воздухе.

Из уровня техники известны различные составы огнетушащих порошков. Огнетушащие порошки являются, как правило, механическими смесями различных компонентов, основу которых составляют огнегасящие средства с добавками для улучшения текучести и огнегасящей способности первых.

Известен огнетушащий порошок («Огнетушащий порошковый состав и способ его получения» патент RU №2194555, МПК А62D 1/00, 2002 г.), включающий, мас. %: белую сажу, гидрофобизированную кремнийорганической жидкостью, полимеризованной на поверхности ее частиц, 2-4; корундовый порошок или алюмосиликат 3-11; аммофос и сульфат аммония - остальное. Белая сажа и гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость взяты в соотношении, мас. %: белая сажа 95-97; гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость - остальное. Аммофос и сульфат аммония взяты в соотношении, мас. %: аммофос 55-100; сульфат аммония - остальное.

Недостатками данного огнетушащего порошкового состава являются значительная склонность к влагопоглощению, использование дорогостоящего и дефицитного сырья (белой сажи и кремнеорганической жидкости), а также высокие энергозатраты и время для гидрофобизации кремнийорганической жидкости.

В настоящее время известно много огнетушащих порошковых составов, в которых в качестве высокодисперсной антислеживающей добавки используется один общий компонент - модифицированный аэросил (например, по патентам РФ №2143297, №2096054, №2110306, №2086279, №2027455). В то же время уже давно отмечались дороговизна и дефицит аэросила. Данный компонент в России не производится, а цена его аналогов также высока.

Известен огнетушащий порошок многоцелевого назначения (патент на изобретение РФ №2155088, МПК А62D 1/00, 2000 г.), включающий следующие компоненты: аммофос, каолино-шамот, высокодисперсный гидрофобный диоксид кремния и нерастворимый в воде минерал или смесь минералов. Причем в качестве нерастворимого в воде минерала содержится доломит, тальк, талькомагнезит, апатит, магнезит.

Данный порошок имеет ряд существенных недостатков, таких как низкая способность к водоотталкиванию, невысокая текучесть.

Наиболее близким к предлагаемому является ОГНЕТУШАЩИЙ ПОРОШОК МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ (патент RU №2230588, МПК А62D 1/00, 2004 г.), принятый за прототип, содержащий, мас. %: аммофос в количестве 1-35; сульфат аммония 0,001-50; высокодисперсный гидрофобный диоксид кремния в виде осажденного кремнезема, обработанного кремнийорганическими соединениями, с удельной поверхностью не ниже 80 м²/г или пирогенной двуокиси кремния с удельной поверхностью 150-400 м²/г и насыпной плотностью от 50 до 200 г/дм³ включительно, а также степенью гидрофобности не ниже 95% в количестве 0,5-5,0, а также нерастворимый в воде минерал или смесь минералов в количестве до 100. В качестве минералов используют любое соединение из ряда: доломит, тальк, талькомагнезит, апатит, магнезит, кальцит, флогопит, мусковит.

Недостатком огнетушащего порошка является повышенная слеживаемость в процессе хранения и недостаточно эффективная огнетушащая способность при тушении пожара классов А и В.

Техническим результатом является создание высокоэффективного и относительно дешевого огнетушащего порошка с высокими эксплуатационными характеристиками: повышенной водоотталкивающей, антислеживающей и огнетушащей способностью.

Технический результат достигается тем, что огнетушащий порошок многоцелевого назначения, содержащий аммофос, сульфат аммония, нерастворимый в воде минерал или смесь минералов, дополнительно содержит гидрофобно-модифицирующую добавку на основе органического вещества торфа, при оптимальном соотношении компонентов, мас. %:

Гидрофобно-модифицирующая добавка на основе органического вещества торфа	0,1-7,0
Аммофос	35-60
Сульфат аммония	25-35
Нерастворимый в воде минерал или смесь минералов	до 100

Гидрофобно-модифицирующая добавка на основе органического вещества торфа представляет собой продукт низкотемпературной термохимической деструкции органического вещества измельченного торфа с размером частиц менее 50 мкм. Используется нерастворимый в воде минерал или смесь минералов с истинной плотностью не менее 2,5 г/см³, содержанием частиц крупнее 200 мкм не более 10% и содержанием частиц менее 40 мкм не более 40%.

Готовый огнетушащий порошок представляет собой мелкодисперсную механическую смесь и отличается от прототипа заменой стандартной гидрофобизирующей добавки на гидрофобно-модифицирующую добавку на основе органического вещества торфа, которая вносится на этапе помола компонентов огнетушащего порошка. При помоле огнетушащего порошка происходит создание дискретных пленочных образований на модифицируемых минеральных частицах, которые позволяют достаточно эффективно изолировать последние от воздействия капельно-жидкой и парообразной влаги.

С целью экспериментальной проверки был приготовлен образец огнетушащего порошка согласно заявляемому составу, а также приготовлен состав порошка по известному патенту. Эксплуатационные свойства огнетушащих порошков определяли по методикам в соответствии с нормативами: ГОСТ Р 53280.4-2009 Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Огнетушащие порошки общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний; НПБ 170-98 Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний.

Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таким образом, предложенный огнетушащий порошок многоцелевого назначения обладает повышенной водоотталкивающей, антислеживающей и огнетушащей способностью при тушении пожара класса А и В, а также позволяет уменьшить энергозатраты и время на его получение до 10%.

Таблица 1				
№	Наименование показателей	Содержание компонентов, мас.%		Норма по ГОСТ Р 53280.4-2009
		Состав по патенту RU № 2230588	Гидрофобно-модифицирующая добавка на основе органического вещества торфа 0,1-7,0 Аммофос 35-60 Сульфат аммония 25-35 Нерастворимый в воде минерал или смесь минералов до 100	
1.	Кажущаяся насыпная плотность, кг/м ³			
	неуплотненного	750	833	Н.м. 700
	уплотненного	1100	1282	Н.м. 1000
2.	Слеживаемость, %	0,6	0	Н.б. 2
3.	Водоотталкивание, мин	123	165	Н.м. 120
4.	Влагопоглощение, %	1,2	0,53	Н.б. 3
5.	Огнетушащая способность по тушению модельного очага пожара			
	- по классу 1А	Потушено 2 из 3-х	Потушено 3 из 3-х	Тушение 2-х из 3-х параллельных определений
- по классу 55В	Потушено 2 из 3-х	Потушено 3 из 3-х		
	Расход огнетушащего порошка	0,9 кг/м ² (максимальный из 3-х испытаний)	0,7 кг/м ² (максимальный из 3-х испытаний)	Н.б. 1 кг/м ²
6.	Текучесть, кг/с	0,33	0,46	Н.м. 0,28
7.	Остаток порошка после полного выброса, %	7,6	6,4	Н.б. 10

Формула изобретения

1. Огнетушащий порошок многоцелевого назначения, содержащий аммофос, сульфат аммония, нерастворимый в воде минерал или смесь минералов, отличающийся тем, что содержит гидрофобно-модифицирующую добавку на основе органического вещества торфа, которую вносят на этапе помола компонентов огнетушащего порошка, при помоле огнетушащего порошка происходит создание дискретных пленочных образований на модифицируемых минеральных частицах, при оптимальном соотношении компонентов, мас. %:

Гидрофобно-модифицирующая добавка на основе органического вещества торфа
Аммофос
Сульфат аммония

0,1-7,0
35-60
25-35

2. Огнетушащий порошок многоцелевого назначения по п. 1, отличающийся тем, что гидрофобно-модифицирующая добавка на основе органического вещества торфа представляет собой продукт низкотемпературной термохимической деструкции органического вещества измельченного торфа с размером частиц менее 50 мкм.

3. Огнетушащий порошок многоцелевого назначения по п. 1, отличающийся тем, что используется нерастворимый в воде минерал или смесь минералов с истинной плотностью не менее $2,5 \text{ г/см}^3$, содержанием частиц размером более 200 мкм не более 10% и содержанием частиц размером менее 40 мкм не более 40%.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2605056

ОГНЕТУШАЩИЙ ПОРОШОК МНОГОЦЕЛЕВОГО
НАЗНАЧЕНИЯ

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий" (ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015125928

Приоритет изобретения **29 июня 2015 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **23 ноября 2016 г.**

Срок действия патента истекает **29 июня 2035 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев



Приложение 7

«УТВЕРЖДАЮ»
 Проректор по учебной работе
 Тверского государственного технического университета



Э.Ю. Майкова

АКТ

о внедрении результатов диссертационных исследований в учебный процесс
 ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет»

Мы нижеподписавшиеся, заведующий кафедрой «Горное дело, природообустройство и промышленная экология» *Мисников Олег Степанович* с одной стороны и начальник учебно-методического управления *Барчуков Дмитрий Анатольевич* с другой стороны составили настоящий акт о внедрении результатов диссертационной работы *Дмитриева Олега Владимировича* «Разработка научно обоснованных подходов к повышению эффективности огнетушащих порошковых составов» в учебный процесс.

Результаты проведенных диссертационных исследований целесообразно использовать в учебном процессе студентов (специалитет и магистратура), обучающихся по специальности 21.05.04 Горное дело и направлению 18.04.01 Химическая технология (профиль подготовки – Комплексная переработка биоэнергетических ресурсов) при изучении следующих дисциплин: «Физико-химические основы технологий переработки биогенного сырья», «Технологии переработки биоэнергетических ресурсов», «Технологическое оборудование для переработки биоэнергетических ресурсов», «Процессы переработки торфа и сапропеля», поскольку в них включен материал по использованию продуктов глубокой переработки торфяного сырья для получения огнетушащих порошковых составов.

К основным используемым в учебном процессе результатам диссертационной работы относятся исследования эксплуатационных свойств огнетушащих порошков, модифицированных торфяными гидрофобными добавками.

Используемые материалы будут способствовать расширению научного кругозора студентов, повышать уровень их подготовки, а также давать навык работы с оригинальными методиками и приборами.

Решение о включении материалов в учебный процесс принято на заседании кафедры «Горное дело, природообустройство и промышленная экология», протокол № 5 от 30 июня 2022 года.

Зав. кафедрой ГДПЭ

30.06.2022г.

О.С. Мисников

Начальник УМУ

30.06.22г.

Д.А. Барчуков

Приложение 8

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "В. В. П."

ИНН 5262099229 КПП 5226201001 БИК 042202603
Р/С 40702810042000002380 К/С 30101810900000000603
ВОЛГО-ВЯТСКИЙ БАНК ПАО СБЕРБАНК г. Нижний Новгород
603089, г.Нижний Новгород, ул. Агрономическая, д. 46 А
Тел.: (831)216-05-02, 216-05-03



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор АО «В.В.П.»
В.И. Варнавский
«28» 06 2022 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы

Дмитриева Олега Владимировича

на тему: «Разработка научно обоснованных подходов к повышению
эффективности огнетушащих порошковых составов».

Комиссия в составе:

председателя – Левичева С.В., технического директора АО «В.В.П.»

членов комиссии - Калугиной И.В., начальника НТЛ АО «В.В.П.»;

- Гордеева М.А. заместителя генерального директора,

настоящим актом подтверждает, что результаты диссертационной работы Дмитриева Олега Владимировича «Разработка научно обоснованных подходов к повышению эффективности огнетушащих порошковых составов» внедрены в практическую деятельность АО «В.В.П.».

Председатель комиссии:

технический директор АО «В.В.П.»

С.В. Левичев

Члены комиссии:

-начальник научно-исследовательской лаборатории

-заместитель генерального директора

И.В. Калугина

М.А. Гордеев

Приложение 9

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
Ивановской пожарно-спасательной
академии ГПС МЧС России
по научной работе
кандидат медицинских наук, доцент
полковник внутренней службы



И.Ю. Шарабанова
2022 г.

А К Т

внедрения результатов диссертационных исследований
Дмитриева Олега Владимировича «Разработка научно обоснованных подходов к
повышению эффективности огнетушащих порошковых составов» в научную
деятельность Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе председателя – начальника учебно-научного комплекса «Государственный надзор» кандидата технических наук, доцента Самойлова Дмитрия Борисовича, и членов комиссии – начальника кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе учебно-научного комплекса «Государственный надзор») кандидата технических наук, доцента Комелькова Вячеслава Алексеевича и начальник научно-исследовательского отделения учебно-научного комплекса «Государственный надзор» кандидата химических наук Бариновой Елены Васильевны подтверждают, что научные результаты диссертационной работы использованы в научно-исследовательских работах:

- «Исследование огнетушащей способности порошковых составов» (п.124 Плана научной работы ФГБОУ ВПО Ивановский институт ГПС МЧС России за 2011 год);
- «Исследование огнетушащей способности порошковых составов» (п.116 Плана научной работы ФГБОУ ВПО Ивановского института ГПС МЧС России за 2012 год);
- «Исследование огнетушащей способности порошковых составов на основе диаммоний фосфата» (п.86 Плана научной работы ФГБОУ ВПО Ивановского института ГПС МЧС России за 2013 год);
- «Исследование огнетушащей способности порошковых составов» (п.108 Плана научной работы ФГБОУ ВПО Ивановского института ГПС МЧС России за 2014 год);
- «Огнетушащие порошки: совершенствование огнетушащей способности, разработка новых составов и средств подачи» (п.15 Плана научной работы ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России за 2015 год);
- «Исследование огнетушащей способности порошковых составов» (п.5 Плана научной работы ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России за 2016 год).

Председатель комиссии

Д.Б. Самойлов

Члены комиссии:

В.А. Комельков

Е.В. Барина