

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

АБИЕВ ЗАУР АГАДДОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИНГИБИРУЮЩИХ СОСТАВОВ ДЛЯ
ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ**

Специальность 25.00.20 - Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук,

профессор Г.П. Парамонов.

Санкт-Петербург – 2018

Оглавление:

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ.....	9
1.1 Современные представления о механизме воспламенения и взрыва метано-пылевоздушных смесей при производстве горных и взрывных работ	9
1.2 Анализ известных способов и средств предотвращения воспламенения и взрыва метано-пылевоздушных сред.....	17
1.3 Обзор существующих составов ингибирования и флегматизации взрывов МПВС	28
1.4 Выводы по главе 1	32
ГЛАВА 2 МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА ГИБРИДНЫХ СРЕД.....	33
2.1 Системы оценки взрывопожароопасности гибридных смесей	33
2.2 Отечественные и зарубежные методики.....	34
2.3. Проблемы лабораторных исследований	36
2.4 Методика исследования влияния ингибирующих и флегматизирующих добавок на воспламеняемость и взрывчатость угольной пыли.....	39
2.5 Выводы по главе 2.....	50
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ-ИНГИБИТОРОВ НА ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ВЗРЫВ ПВС.....	51
3.1 Обоснование выбора энергии зажигания угольной пыли пиротехническими воспламенителями для определения НКПР	51
3.2 Исследование взрывчатых свойств каменноугольной пыли глубоких шахт Кузнецкого бассейна.....	54

3.3 Экспериментальные исследования влияния различных типов флегматизаторов и ингибиторов на взрыв ПВС.....	63
3.4 Выводы по главе 3.....	87
ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ФЛЕГМАТИЗАТОРОВ И ИНГИБИТОРОВ В СОСТАВЕ СРЕДСТВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ ПВС.....	89
4.1 Обоснование выбора системы АСВП-ЛВ в качестве средства локализации взрывов ПВС.....	89
4.2 Обоснование применения исследуемого пламегасящего состава на основе хлористого калия и карбамида в системе АСВП-ЛВ.	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	99
Список литературы.	101
Приложение А	115
Приложение Б	120
Приложение В.....	124

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы: Практика ведения горных работ в условиях шахт, опасных по газу и пыли, показывает, что, несмотря на достижения в разработке средств и способов предотвращения распространения горения и взрыва метано-пылевоздушных смесей (МПВС) происходят взрывы метана и угольной пыли, сопровождающиеся человеческими жертвами и значительным материальным ущербом. Последние трагические события, произошедшие 25 февраля 2016 г., связанные с взрывом метана и угольной пыли в АО «Воркутауголь» в шахте «Северная», унесшим жизнь 36 шахтеров, показывают, что средства локализации не всегда способны обеспечить требуемый уровень взрывобезопасности.

Проектирование средств и способов локализации взрывов ввиду более высокой чувствительности метано-воздушной смеси (МВС) к импульсу воспламенения, а также более низкой критической температурой её вспышки ведется с целью предотвращения взрыва метано-воздушных смесей. Тем не менее, оценка эффективности их действия производится в пылевоздушных смесях (ПВС).

Значительный вклад в исследование ингибирования газоздушных смесей внесли: Махин В.С., Рыжик А.Б., Дубнов Л.В. В работах М.Г. Годжелло представлены исследования взрывчатости промышленных пылей. Джигрин А.В. – один из авторов разработки автоматической системы взрывоподавления-локализации взрывов МПВС (АСВП-ЛВ). С.А. Калякин, в своих работах показавший наличие противоречий в общепризнанном механизме взрыва угольной пыли. Зарубежные исследователи: В. Барткнехт, К. Кэшдоллар, М. Сапко, А. Дастидар, в своих работах изучали влияние флегматизаторов на предотвращение распространения взрыва метановоздушных и пылегазовых смесей.

Тем не менее, анализ результатов расследования аварий показывает недостаточную эффективность существующих систем локализации взрыва метано-пылевоздушных смесей. Поэтому научные исследования, направленные на

установление взаимосвязи между свойствами ингибирующих и флегматизирующих составов и условиями горения и взрыва ПВС, и разработка рекомендаций по их применению для предотвращения распространения горения и взрыва МПВС являются важной задачей для горнодобывающей отрасли в научном и практическом плане.

Цель диссертационной работы: предотвращение распространения взрыва угольной пыли при ведении горных работ в условиях шахт опасных по газу и пыли.

Идея работы: локализация взрывов угольной пыли на основе применения высокоэффективных ингибирующих составов в многофункциональных системах безопасности угольных шахт.

Задачи исследования:

1. Анализ современных представлений о механизме воспламенения и взрыва метана и угольной пыли при производстве горных работ на угольных шахтах
2. Анализ действующих систем взрывоподавления и локализации взрывов.
3. Разработка лабораторной методики исследования влияния ингибирующих и флегматизирующих добавок на взрывчатость ПВС
4. Экспериментальные исследования влияния различных флегматизаторов и ингибиторов на горение и взрыв ПВС
5. Разработка рекомендаций по применению ингибиторов и флегматизаторов для локализации взрыва ПВС.

Защищаемые научные положения:

1. При выборе огнетушащих порошковых составов для автоматических систем взрывоподавления следует учитывать время их разложения при прохождении фронта пламени продуктов горения угольной пыли.
2. Локализация взрыва угольной пыли достигается применением ингибирующего/флегматизирующего состава на основе смеси хлористого калия и карбамида дисперсностью до 40 мкм и концентрацией 150 г/м³.
3. При использовании в системах взрывоподавления типа АСВП-ЛВ.1М предотвращение распространения взрыва угольной пыли в горной выработке

площадью сечения $S=13 \text{ м}^2$ достигается за счёт применения взрывоподавляющего порошка на основе смеси хлористого калия и карбамида массой 30 кг.

Научная новизна:

1. Установлено, что большей взрывоопасностью среди исследованных образцов угольной пыли Кузнецкого бассейна обладает каменноугольная пыль ш. им. Дзержинского ($V^{\text{daf}} - 35,5\%$, $W - \text{менее } 1\%$, $A^{\text{d}} - 3\%$). Определено, что большим максимальным давлением взрыва обладают фракции пыли дисперсностью 63-94 мкм при концентрации пыли 100 г/м^3 .

2. Установлена закономерность влияния флегматизирующего состава на основе хлористого калия и карбамида в зависимости от его дисперсности и концентрации на локализацию взрыва угольной пыли, также установлено, что наибольшая взрывоподавляющая эффективность состава на основе хлористого калия и карбамида достигается при массовом соотношении частей 1 к 3 и дисперсностью не более 40 мкм.

Практическая значимость работы:

1. Предложены новые рецептуры огнетушащего порошкового состава на основе хлористого калия и карбамида для локализации взрывов угольной пыли.

2. Разработаны рекомендации к использованию предлагаемого состава для применения в автоматических системах взрывоподавления-локализации взрывов.

Методы исследований:

При работе над диссертацией использован комплексный метод исследований, включающий системный анализ результатов научных исследований в области обеспечения безопасности производства горных работ в условиях шахт, опасных по газу и пыли, лабораторные испытания взрывчатых свойств угольной пыли и взрывоподавляющих составов, обработка полученных данных на ЭВМ.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

Обеспечивается применением современной аппаратуры и методов исследований, поддерживаемых соответствующим метрологическим обеспечением с верификацией качества проведения измерений, значительным объемом

экспериментальных данных, удовлетворительной сходимостью результатов экспериментальных данных с результатами других исследователей, апробацией полученных результатов в периодической печати.

Личный вклад автора. Постановка цели и задач исследований; сбор и анализ данных ранее проводимых исследований; постановка цели и задач исследований; непосредственное участие в экспериментальных исследованиях; обработка полученных данных на прикладном программном обеспечении при проведении лабораторных экспериментов; обобщение и сравнительный анализ полученных результатов; разработка практических рекомендаций.

Реализация результатов работы:

1. Разработанный ингибирующий состав рекомендован к применению в автоматических системах взрывоподавления для обеспечения пожаровзрывобезопасности угольных шахт, опасных по газу и пыли (см. приложение В).

2. Научные и практические результаты работы могут быть использованы в учебном процессе Санкт-Петербургского горного университета при проведении занятий по дисциплинам «Химия взрывчатых веществ», «Теория горения и взрыва».

Апробация работы: Содержание и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии в науке» (г. Уфа, 2017 г.), на научно-технических советах Санкт-Петербургского горного университета (Санкт-Петербург, 2014-2017 г.), а также на заседаниях кафедры взрывного дела.

Публикации: Основные результаты диссертационной работы содержатся в 4 научных статьях в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Объем и структура работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения библиографического списка и приложений, изложенных на 129 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка, 24 таблицы и список литературы из 125 наименований.

Автор приносит искреннюю благодарность научному руководителю профессору Парамонову Геннадию Петровичу, развитие идей которого, постоянное внимание и помощь способствовали успешному выполнению работы; доценту Чернобаю Владимиру Ивановичу, за помощь в интерпретации полученных результатов, и другим сотрудникам кафедры ВД за содействие в сборе материалов и практические советы при написании диссертации.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ.

1.1 Современные представления о механизме воспламенения и взрыва метано-пылевоздушных смесей при производстве горных и взрывных работ

Среди опасностей горного производства наиболее тяжелыми по своим последствиям по-прежнему остаются аварии, связанные с воспламенением метана и угольной пыли, которые в большинстве случаев носят характер катастроф.

В современную эпоху предупреждение и локализация взрывов в шахтах приобретает особую значимость, становится не только актуальной задачей, но и практически единственным способом жизнеобеспечения в шахтах и сохранения предприятия.[1]

Горение – это совокупность сложных физико-химических процессов, таких как химические реакции между компонентами (топливо-окислитель), диффузия, теплопередача и пр. Именно теплопередача и (или диффузия) активных центров пламени (АЦП) обуславливают процесс распространения пламени по горючей смеси. Как известно, воспламенением и развивающимся горением называется режим прогрессирующего самоускорения химического процесса. Такой процесс может быть вызван двумя причинами:

- самовоспламенением (когда в любой из точек горючей смеси достигаются некоторые критические параметры нагрева и сжатия)
- воспламенением от внешних источников (неисправное электрооборудование, взрывные работы и фрикционное искрение при работе выемочных и проходческих комбайнов, а также буровых станков и пр.)

В настоящее время существует две основные теории, объясняющие процессы возникновения и развития взрыва:

- тепловая теория,
- теория радикально-цепных (или просто цепных) реакций.

Обе теории базируются на выводах кинетической теории и не только не исключают, но и дополняют друг друга.

В тепловом горении необходимым условием такого режима является превышение скорости тепловыделения (Q_+) над скоростью теплоотвода (Q_-)[2]и, вместе с тем, более сильное ускорение тепловыделения от повышения температуры по сравнению с ускорением теплоотвода, т.е. процесс горения переходит в режим теплового взрыва, когда не только когда $Q_+ > Q_-$, но и когда

$$\frac{\partial Q_+}{\partial T} > \frac{\partial Q_-}{\partial T} \quad (1.1)$$

скорость теплоприхода зависит от температуры больше, чем скорость теплоотвода.[3]

В случае если горение и воспламенение протекают с настолько высокой скоростью, что нагретый в зоне горения газ не успевает расширяться до размеров, сравнимых с размером реактора, и тепло практически не успевает передаваться в соседние слои газа, в непосредственной зоне реакции происходит скачкообразный рост давления и температуры. Граница этой области продвигается в среде со сверхзвуковой скоростью по отношению к ненагретой среде.[4]

Если скорость распространения пламени $V_{\text{п}}$ существенно меньше скорости звука в данной среде – это дефлаграционное горение, если больше – это детонационное горение (взрыв). Однако в реальности между дефлаграционным горением ($V_{\text{п}} = 0,1 \dots 10$ м/с), когда ударная волна вообще отсутствует, и детонационным, когда фронт пламени и фронт ударной волны совмещены, находится довольно большая часть так называемых «двойных нестационарных разрывов».[5]

Согласно теории цепных реакций, при наличии цепного механизма горения, который характерен для углеводородов, быстрое накопление АЦП в газовой смеси делает возможным «холодное» воспламенение смеси, то есть без первоначального разогрева реагирующей среды.

Основными частицами, формирующими АЦП и благодаря которым развивается цепной процесс горения, являются частицы О, Н, ОН, СН₃,

максимальные объёмные доли которых ($V^A, \%$) в пламенах углеводородов достигают: Н – 0,3; О – 1; ОН – 1,5; CH_3 – 0,2[6,7].

Процесс окисления метана кислородом состоит более чем из ста элементарных стадий. Цепная реакция может быть простой и разветвленной. В последнем случае один из регенерированных активных центров будет продолжать реакцию, а другие начнут новые цепи (рисунок 1.1)[8].

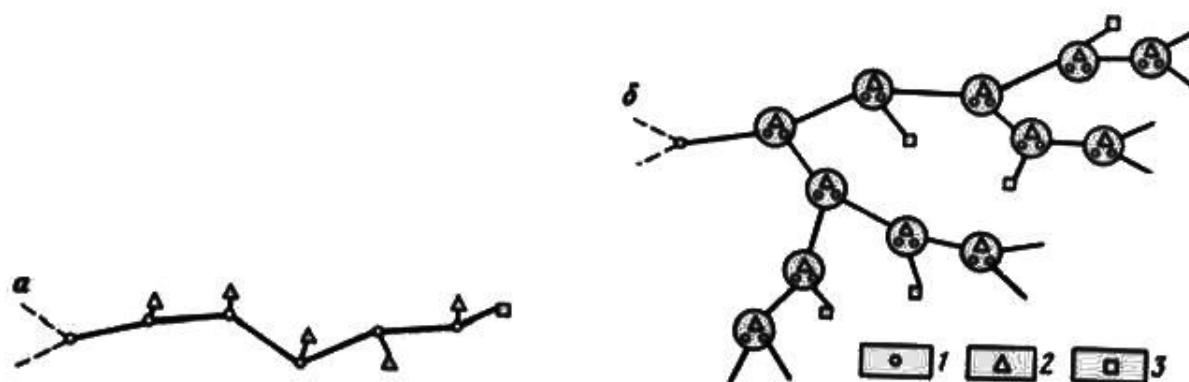
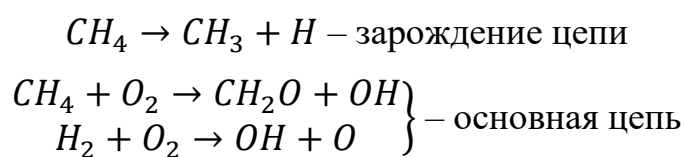
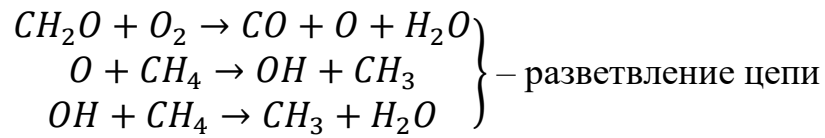


Рисунок 1.1 - Схема цепных реакций: а – простые (неразветвленные); б – разветвленные; 1 – активные центры; 2 – продукты реакции; 3 – побочные продукты зарождения разветвления

Однако имеющийся экспериментальный материал о промежуточных продуктах окисления метана позволил многим авторам предложить более или менее полные схемы протекания этой реакции. В настоящее время выявлены и отобраны 86 элементарных реакций с участием 17 частиц (активных центров); в том числе ОН, Н, О, HO_2 , H_2O_2 , CH_2O . Поскольку тип промежуточных продуктов и характер промежуточных реакций имеет большое значение при оценке условий самовоспламенения газа и разработке мер, предотвращающих вспышку, приведём наиболее вероятные из схем:





и т.д.

Источником зарождения цепи, т.е. образования активных центров в метано-воздушной смеси (МВС) может служить ударная волна. В принципе, достаточно одного активного центра, чтобы исходные компоненты (CH_4 и O_2) превратить в конечные (CO_2 и H_2O). Наибольшим временем жизни обладает радикал OH , а при повышении температуры в богатых метановоздушных смесях, наиболее долгоживущим является атомарный водород (H).

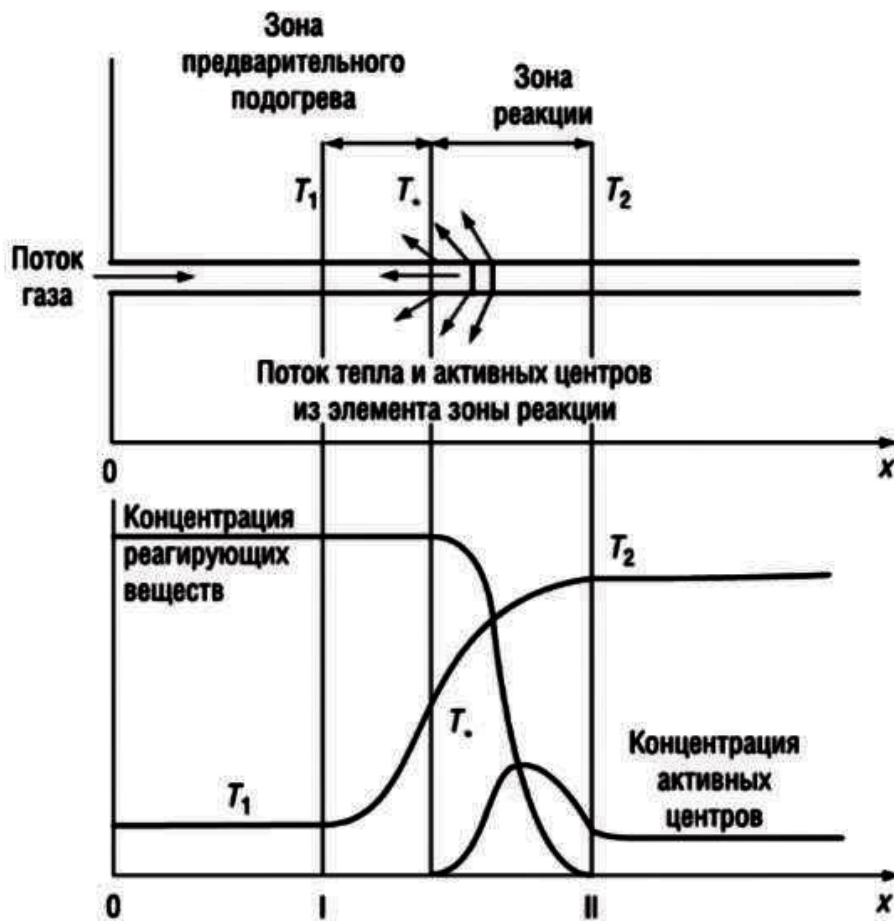


Рисунок 1.2 - Схема распространения и структура волны горения

Концентрация реагирующих веществ в волне горения газовой смеси монотонно падает от начальной величины до нулевой. Одновременно, концентрация активных центров, возрастая в зоне химической реакции, проходит через максимум и снижается до величины, соответствующей тепловому

равновесию между атомами, свободными радикалами и нейтральными молекулами у границы II (рисунок 1.2). Граница между двумя зонами, располагающимися до и после перегиба температурной кривой (зоны предварительного подогрева и реакции), является фронтом воспламенения. В горных выработках на процесс распространения волны горения накладывається турбулизирующее влияние шероховатых поверхностей стенок выработки или движение потока воздуха вентиляции. В результате чего изменяется механизм передачи тепла – с молекулярной теплопроводности на турбулентную теплопроводность и диффузию. Скорость горения увеличивается за счет предварительного нагрева и сжатия газовой смеси волнами сжатия перед фронтом пламени и при определенных параметрах концентрации и объема горючего могут привести к возникновению ударной волны. При этом фронт пламени сливается с фронтом ударной волны, образуя единый фронт детонационной волны (рисунок 1.3).

Процесс горения газовой смеси в горных выработках может распространяться по газовой смеси с различными скоростями. С количественным изменением скорости распространения пламени резко меняется качественная картина протекающего процесса: возникая от слабого источника, волна горения газа может с незначительной скоростью распространяться по слою скопления метана, но также может быстро разогнаться с формированием впереди себя волны сжатия, которая в состоянии произвести разрушительную работу. Волна сжатия быстро переходит в ударную волну, скорость распространения которой достигает нескольких сотен метров в секунду [9].

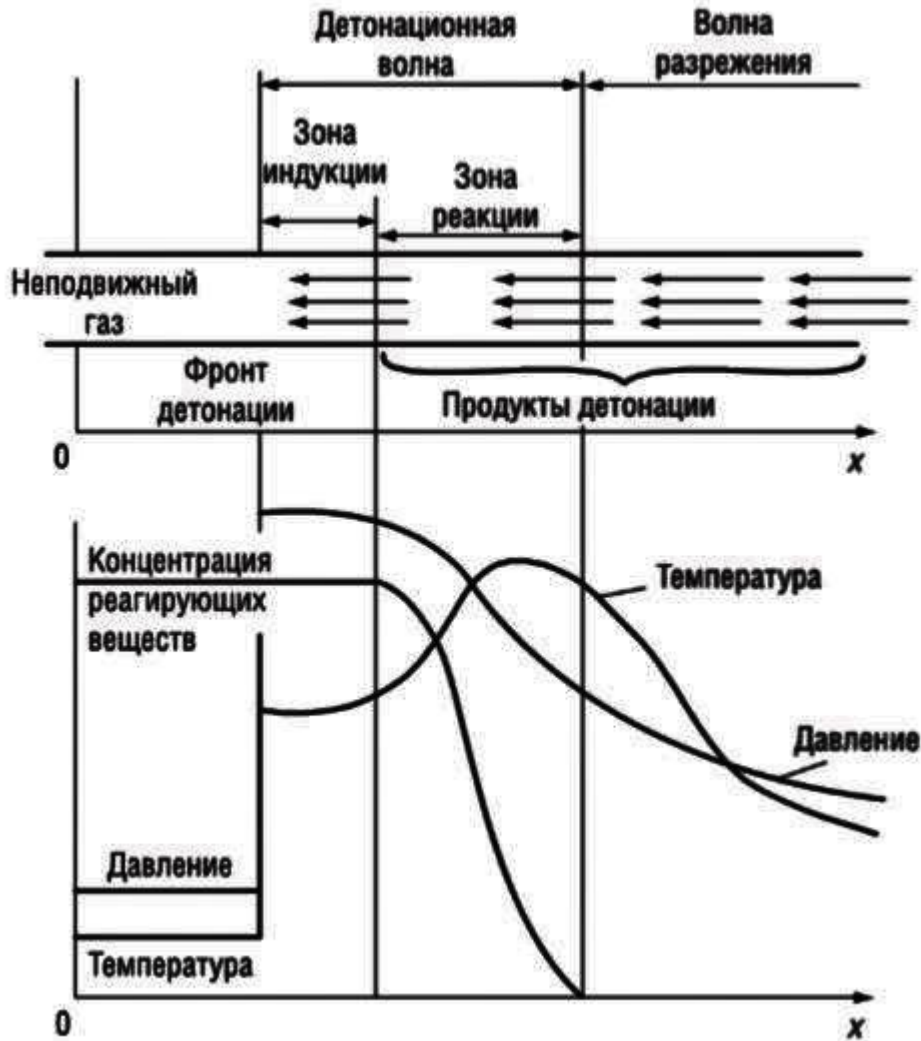


Рисунок 1.3 - Схема распространения и структура детонационной волны взрыва

Отличительными особенностями процесса взрывного горения газа являются продолжающийся разлет продуктов взрывного горения и сохранение высокой температуры продуктов горения и после окончания процесса [9].

Также следует учесть свойство «чистых» метано-воздушных и пылевоздушных смесей существенно понижать свой нижний концентрационный предел взрываемости (НКПВ) как при добавлении в метано-воздушную смесь угольной пыли, так и при повышении концентрации метана в пылевом аэрозоле. Так, например, при добавлении в метано-воздушную смесь $50-100 \text{ г/м}^3$ угольной пыли создаются условия, при которых МВС объёмной концентрацией всего 2% становится взрывчатой, и, аналогично, наличие в пылевоздушной смеси 6% метана увеличивает верхний концентрационный предел взрываемости (ВКПВ) с

1500 до 3000 г/м³ [10]. Таким образом, угольная пыль, отложившаяся на стенках горных выработок и поверхностях горных машин, при переходе во взвешенное состояние, благодаря ударной волне от произошедшего взрыва МВС, может создать взрывоопасную МПВС на большой протяженности горных выработок.

Масса взвешенной в воздухе частицы угля представляет собой совокупность сложных макромолекул разложившихся растений, которые включают в себя молекулы целлюлозы, лигнина, белков, жиров и восков [8], а также алифатическую часть, состоящую из элементов углерода, водорода, кислорода, азота и серы (рисунок 1.4).

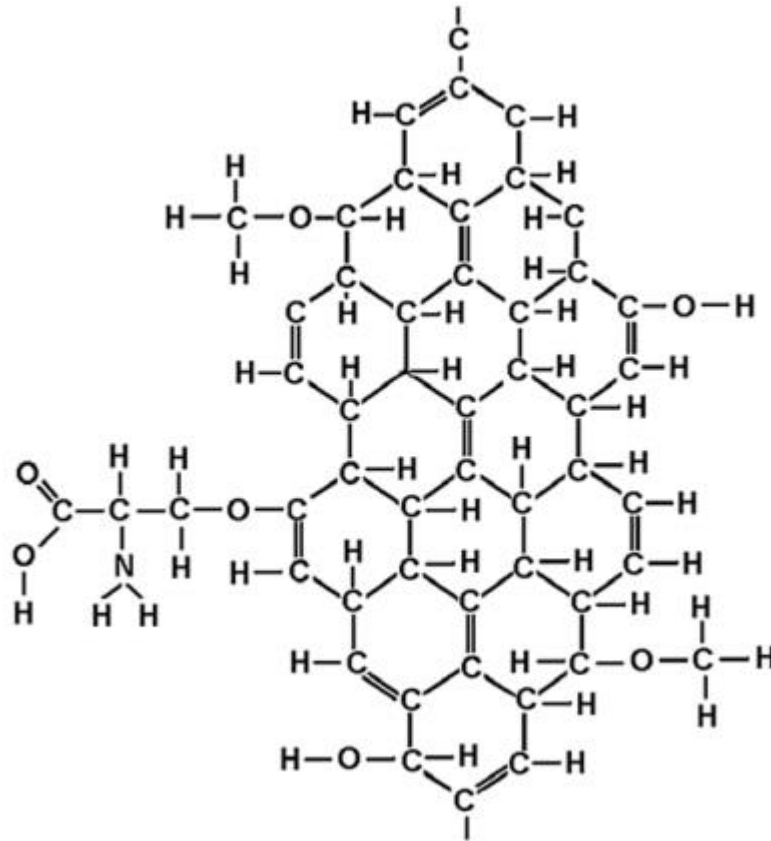


Рисунок 1.4 – Схема фрагмента макромолекулы угля

Согласно гипотезе, предложенной авторами [125] процесс горения и взрыва угольной пыли рассмотрен с позиции распространения горючей среды в результате передачи энергии от слоя к слою. Воспроизводимая энергия в предыдущем слое является инициатором для начала эндотермической реакции в последующем слое, что приводит к увеличению выделяемой энергии,

температуры и избыточного давления в геометрической прогрессии. Скорость распространения фронта пламени возрастает пропорционально увеличению энергии. Количество энергии внешнего источника равно суммарной внутренней энергии межатомных связей горючих фракций угольной пыли и определяется по формуле:

$$U_3 = m \cdot V) \cdot (0,34 \cdot C^P - 2,56 \cdot H^P + 0,22 \cdot O^P \text{ кДж/м}^3,$$

где m – масса фракций угольной пыли, V – начальный объём, H^P и C^P и O^P – массовые доли водорода, углерода и кислорода (%) соответственно.

Экзотермические реакции в частицах угольной пыли начинаются параллельно с эндотермическими. Химические реакции в частицах угольной пыли такие же, как и в метане. Атомы водорода объединяются в молекулы и соединяются с кислородом, входящим в состав угля и поступающим из окружающего воздуха. Свободные радикалы, освобождающиеся в процессе реакции, образуют углекислый газ в соединении с кислородом воздуха и молекулы воды. В пористой массе угольной пыли повышается давление в результате перехода твёрдого вещества в газообразное. Первыми происходят реакции с элементами алифатической группы. Участвующие молекулы метана дополнительно разогревают внутреннюю часть частицы. Суммарное количество энергии при образовании продуктов горения угольной пыли определяется по формуле:

$$E = (m \cdot V) \cdot (-4,43 \cdot H^P - 0,328 \cdot C^P, \text{ кДж/м}^3,$$

где m – масса фракций угольной пыли, V – начальный объём, H^P и C^P – массовые доли водорода и углерода (%).

Проведенные [125] расчёты, показали, что при сгоревшей массе витающей пыли в 1 г количество выделившейся энергии значительно превышает на возгорание этой пыли (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Результаты расчета количества выделяющейся энергии

Шахта, пласт угля	Масса пыли, г/моль	Затраты энергии U_3 , кДж	Выделение энергии E_3 ,	Отношение E_3/U_3
Шахта «Полысаевская», пласт «Бреевский»	1/0,131	32,65	46,7	1,43
Шахта «Талдинская- Западная», пласт 67	1/0,129	32,45	45,2	1,393
Шахта им. С.М. Кирова, пласт «Болдыревский»	1/0,130	36,8	47,71	1,296

Скорость перехода реакций от одного слоя к соседнему слою зависит от продолжительности эндотермических реакций и начала экзотермических. Визуально этот переход сопровождается переходом пламени горения. Таким образом, скорость распространения пламени в выработке зависит от суммарной продолжительности реакций разложения горючего вещества на элементы. При возникновении внешнего источника зажигания происходит нагревание горючего вещества и молекул кислорода и азота в воздухе. Продолжительность эндотермических реакций метана и угольной пыли не одинакова, так как в отличие от угольной пыли к молекулам метана кислород воздуха имеет непосредственный доступ.

1.2 Анализ известных способов и средств предотвращения воспламенения и взрыва метано-пылевоздушных сред

Анализируя современные представления о процессе горения и взрыва МПВС очевидно, что для создания условий их предотвращения и ликвидации необходимо:

1. Исключить возможность возникновения энергетического импульса, «запускающего» процесс.

2. Исключить наличие горючего компонента концентрацией, превышающей НКПВ и ВКПВ.
3. Исключить доступ окислителя (кислорода) к очагу или снизить его содержание в смеси.
4. Охладить очаг ниже температуры воспламенения.
5. Прервать или замедлить образование новых АЦП (прервать цепные реакции горения).

Первые два пункта имеют место быть в ситуации, когда воспламенения ещё не произошло. Их решением обычно являются такие профилактические операции как применение взрывозащищенного горно-шахтного оборудования, применение предохранительных взрывчатых веществ (ПВВ) при ведении взрывных работ, контроль над концентрацией и ликвидация скоплений метана, мероприятия по превращению угольной пыли в невзрывчатую среду.

Мероприятия, направленные на предупреждение взрывов угольной пыли реализуются путем применения:

- инертной пыли (осланцевание);
- воды или водных растворов поверхностно-активных веществ (гидропылевзрывозащита);
- воды и инертной пыли.

Гидропылевзрывозащита включает в себя:

- орошение пыли водой или растворами ПАВ;
- уборка пыли;
- увлажнение угля в массиве;
- связывание пыли.

Последние же три пункта условий предотвращения взрыва относятся к ситуации, когда воспламенение горючей смеси уже произошло и необходимо принять меры по его ликвидации или локализации.

Для локализации взрывов МПВС применяются заслоны. По принципу действия заслоны делятся на пассивные и активные (автоматические). Пассивные

заслоны срабатывают непосредственно от действия ударной волны взрыва, а автоматические от специальных датчиков или устройств.

Пассивные заслоны классифицируют по виду пламегасящего вещества (вода, инертная пыль), количеству защищаемых выработок (основные и вспомогательные) и по распределению гасящего вещества в заслоне (концентрированные и рассредоточенные). Заслоны также отличаются конструктивно, способом крепления в выработке и по геометрическим параметрам.

1.2.1 Оценка эффективности пассивных заслонов

Сланцевые заслоны представляют собой ряд установленных под кровлей поперек выработки деревянных полок жесткой конструкции или со свободно лежащим настилом с опорами в виде перевернутой трапеции, на каждой из которых размещена инертная пыль в насыпном виде (рисунок 1.5).

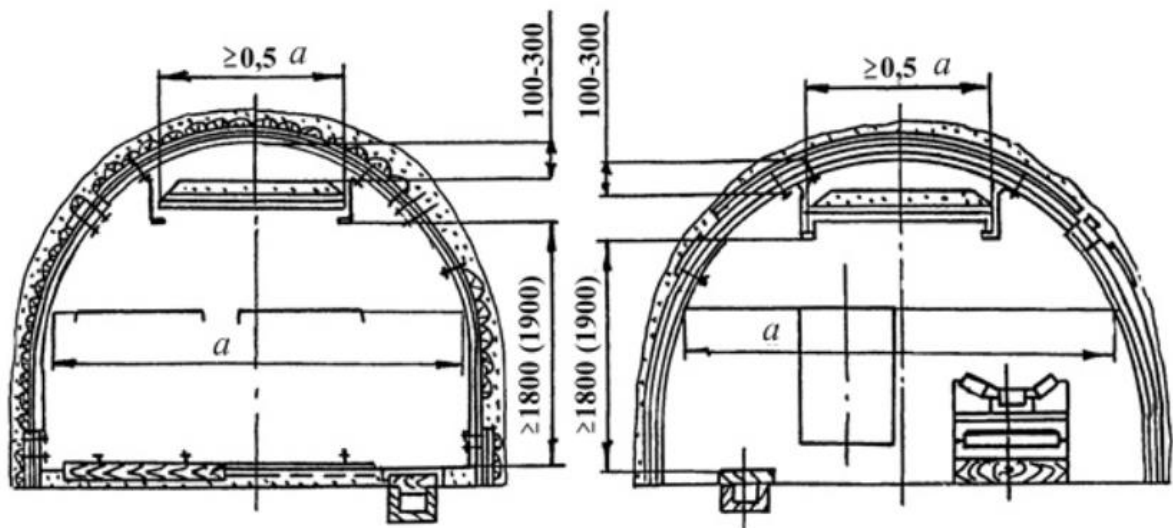


Рисунок 1.5 - Схема крепления сланцевого заслона в горной выработке

Сланцевые заслоны, которые применяются в отечественных и зарубежных угольных шахтах, не претерпели никаких существенных конструкционных или иных изменений. Их эффективность в основном зависит от

качества используемой инертной пыли. В случае если инертная пыль увлажнилась или слежалась, то она подлежит немедленной замене.

Водяные заслоны представляют собой ряд установленных, наполненных водой, легко опрокидываемых или разрушаемых сосудов емкостью не более 80 л (как правило, 40÷50 л) каждый, устанавливаемых на свободно подвешенных деревянных полках, расположенных поперек выработки у кровли (рисунок 1.6).

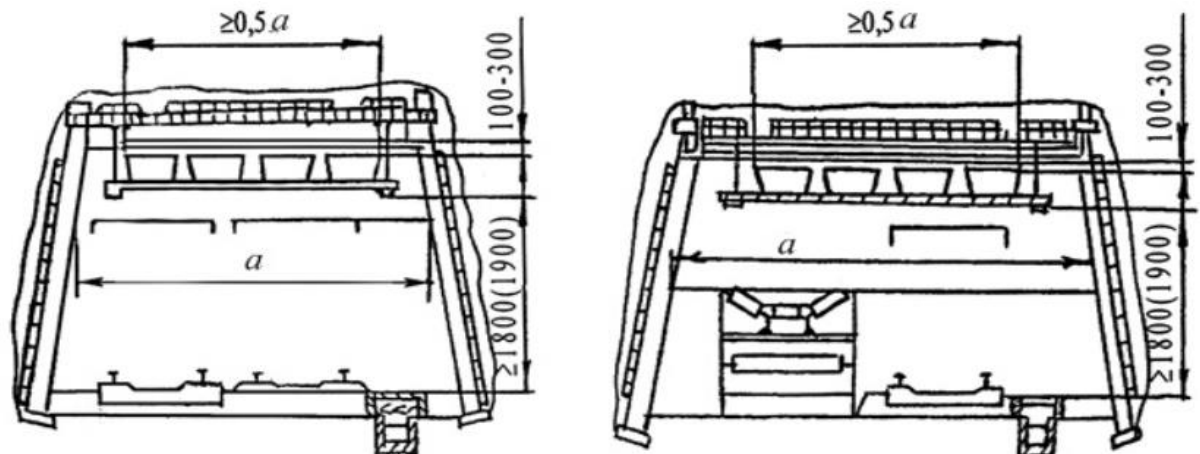


Рисунок 1.6 - Схема крепления водяного заслона в горной выработке

Производя анализ причин и обстоятельств аварий, произошедших в угольных шахтах, можно сделать вывод о том, что условия, при которых применение пассивных, как водяных, так и сланцевых заслонов для локализации взрывов МПВС крайне ограничены и во многих случаях не эффективны.

Применяемая в сланцевых заслонах инертная пыль обладает низкой пламегасящей и флегматизирующей эффективностью ($C_{\phi} = 790 \text{ г/м}^3$), кроме того, после опрокидывания полок в выработке из-за неравномерного распределения инертной пыли образуются незафлегматизированные каналы (чаще всего под кровлей выработки) через которые происходит «проскок» пламени за пределы заслона.

Помимо этого, в случае водяных заслонов, их эффективность зависит от параметров воздушной ударной волны, поскольку для положительного эффекта требуется определенная степень диспергированности воды. Другими словами, даже в случае, когда в водяном заслоне находится требуемое количество воды, а

также когда распределение воды по объёму выработки удовлетворяет необходимым для флегматизации МПВС параметрам, завеса, созданная ударной волной, может оказаться бесполезной.

Как упоминалось ранее, условия эффективного применения пассивных заслонов крайне ограничены. При «слабых» взрывах интенсивности УВВ может не хватить для опрокидывания полок (емкостей) с флегматизатором или для перевода флегматизатора во взвешенное состояние. Как известно, при малой скорости горения расстояние между фронтом УВВ и фронтом пламени значительно, отсюда вытекает высокая вероятность того, что в момент прихода фронта пламени пламегасящая среда уже полностью или в большей мере утратит взрывозащитные свойства. При «сильных» же взрывах имеет место высокоскоростное взрывное горение. Особенностью таких взрывов является обратная «слабым» взрывам ситуация - расстояние между фронтом УВВ и фронтом пламени мало (и тем ниже, чем выше скорость протекания реакции). Пассивный заслон не успевает вовремя достичь необходимой концентрации флегматизатора и перекрыть сечение выработки пламегасящей средой. Таким образом, пассивный заслон, установленный с соблюдением всех требований может выполнить поставленную перед ним задачу только в узком диапазоне скоростей распространения пламени горения, границами которого по данным ряда исследований является $50 \div 300$ м/с.

Также необходимо учесть, что пассивный заслон представляет собой крайне громоздкое стационарное сооружение, которое занимает $20 \div 30$ м выработки. Источники воспламенения, в свою очередь рассредоточены, а некоторые из них даже подвижны (электроприводы конвейеров и перегружателей и т.д.). В связи с этим область применения пассивных заслонов также значительно сокращается. Помимо перечисленного необходимо отметить, что надежность действия заслонов даже в таком узком диапазоне условий применения в значительной степени зависит ещё и от качества изготовления и установки полок, соблюдения норм загрузки заслона инертной пылью или заполнения водой и сохранения этих

норм в процессе эксплуатации. К сожалению, как показывает практика, требования эксплуатации заслонов часто не выполняются.

По указанным выше причинам, применение пассивных заслонов в большинстве случаев оказывается малоэффективным. Даже в «идеальных» условиях, когда все требования и нормы использования пассивных заслонов были соблюдены, выполняется максимум одно из трёх условий локализации и ликвидации взрыва.

1.2.1 Оценка эффективности автоматических заслонов

Применение так называемой второй линии взрывозащиты ведется по пути использования принципиально новых заслонов - автоматических систем взрывоподавления (АСВП), которые преследуют цель локализовать вспышку (взрыв) МПВС, причем непосредственно очаге - на начальной стадии развития. Принципиальная схема автоматической системы представлена на рисунке 1.7.

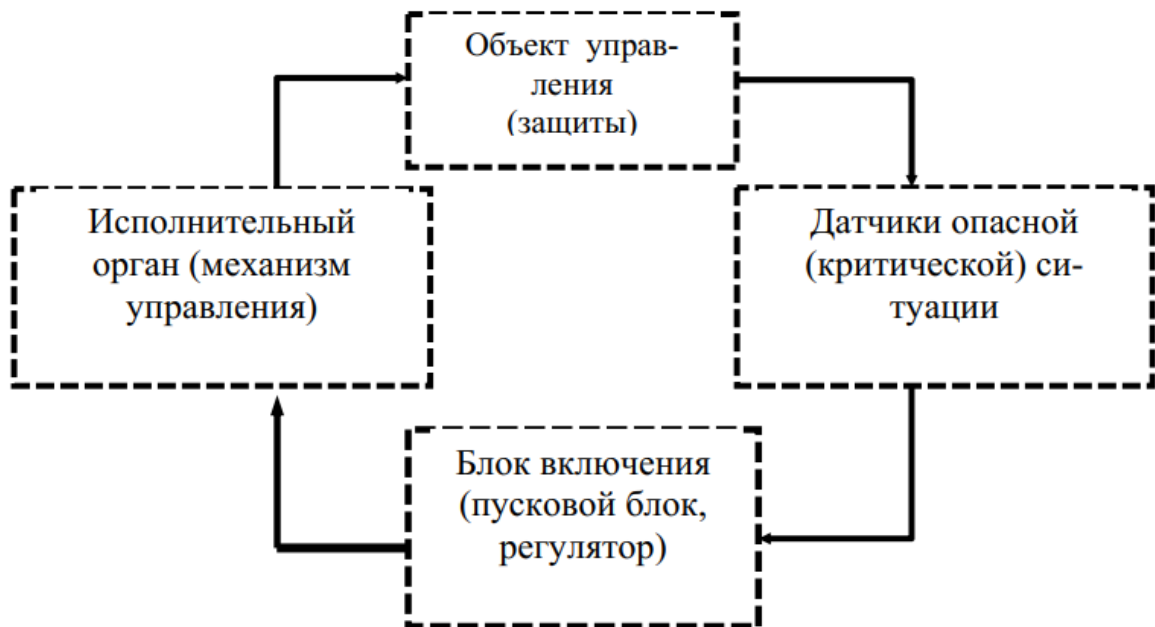


Рисунок 1.7 - Структурная схема автоматической системы.

Основываясь на данной структурной схеме можно построить блок схему всех видов АСВП в горной выработке (рисунок 1.8, 1.9, 1.10)



Рисунок 1.8 - Блок-схема пассивного заслона

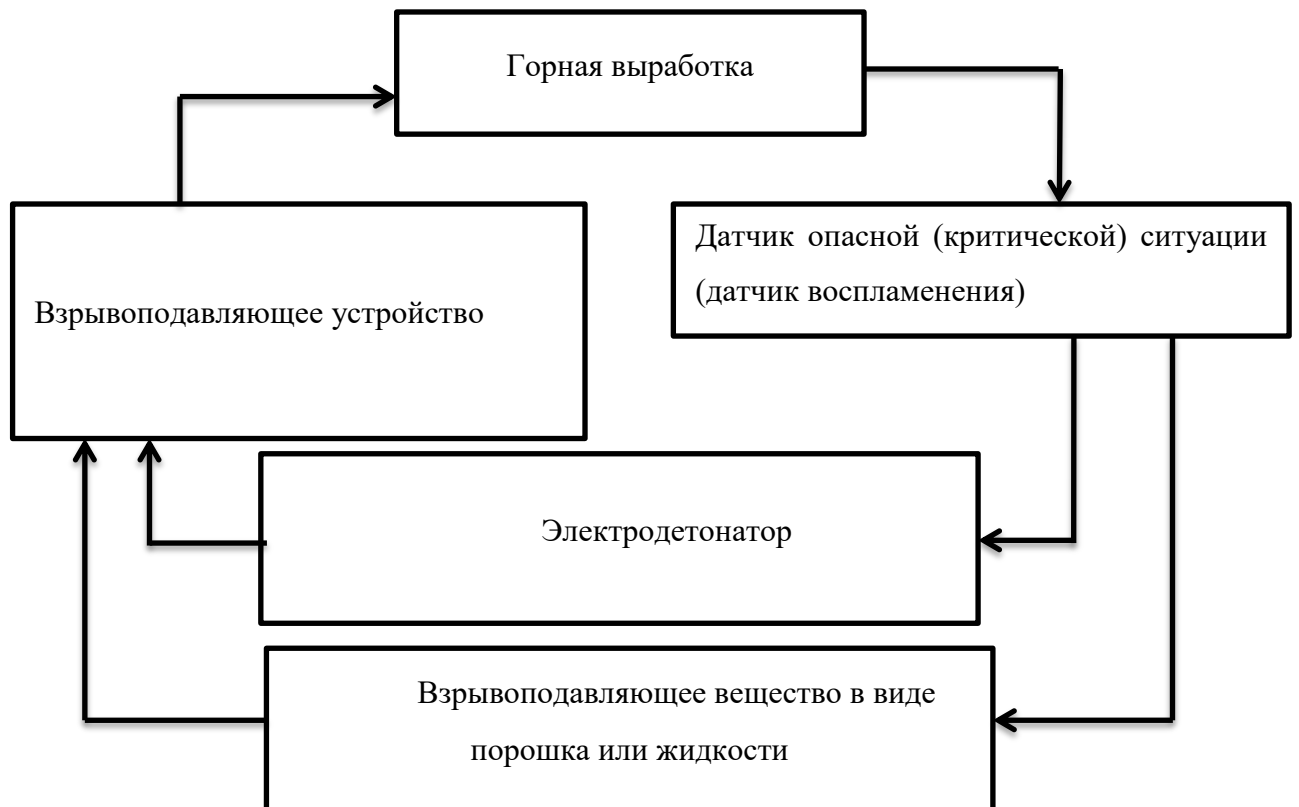


Рисунок 1.9 - Блок-схема первичного заслона ПЗМ-2

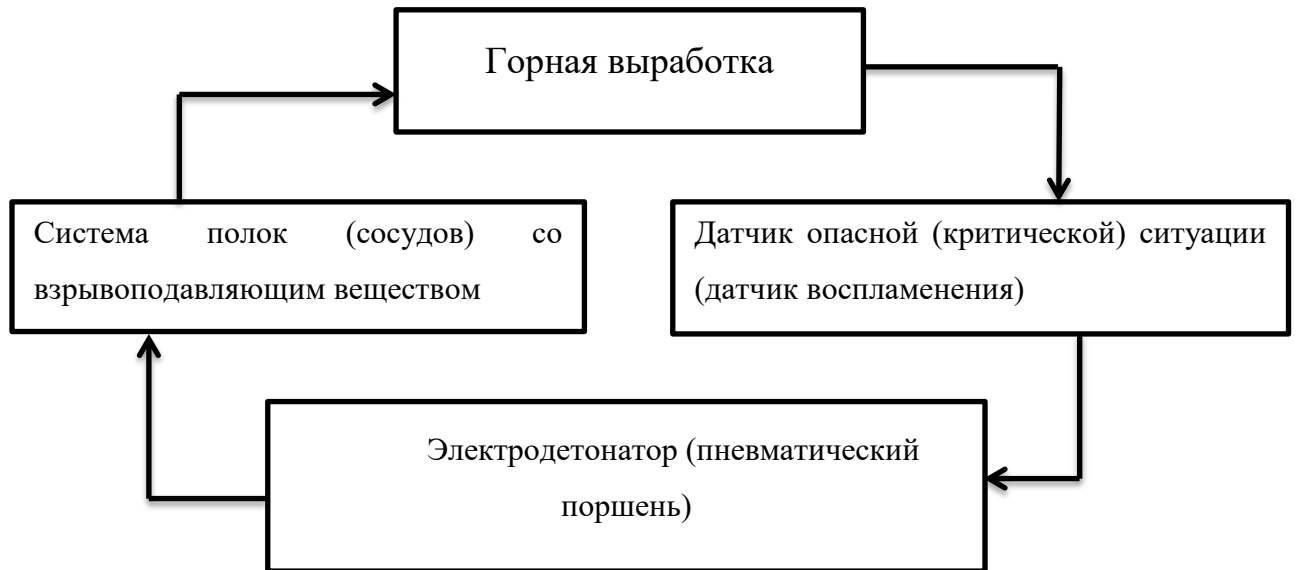


Рисунок 1.10 - Блок-схема заслона с принудительным распылением взрывоподавляющего вещества

Автоматические системы призваны устранить существенные недостатки пассивных заслонов. Среди таких недостатков высокая инерционность срабатывания. В попытке устранения этого недостатка в середине 50-х годов XX века была создана система ПЗМ-2 и ПЗМ-3 на базе пассивного заслона. Наличие принудительного механизма опрокидывания полок, который приводился в действие фотоэлектрическим датчиком пламени, позволял значительно снизить инерционность системы, однако, ввиду своей сложности и громоздкости конструкции, а также неспособности локализовать взрыв в загазованной выработке, выпуск данных систем был прекращён.

По своей конструкции все заслоны с принудительным распылением пламегасящего состава отличаются друг от друга по способу распыления. Распыление может быть осуществлено поршнем, энергия движения которого образуется от взрыва заряда ВВ, энергией сжатого (сжиженного) под высоким давлением газа, энергией взрыва заряда ВВ.

Автоматические заслоны с принудительным распылением можно разделить на 3 конструктивные группы (таблица 1.2.).

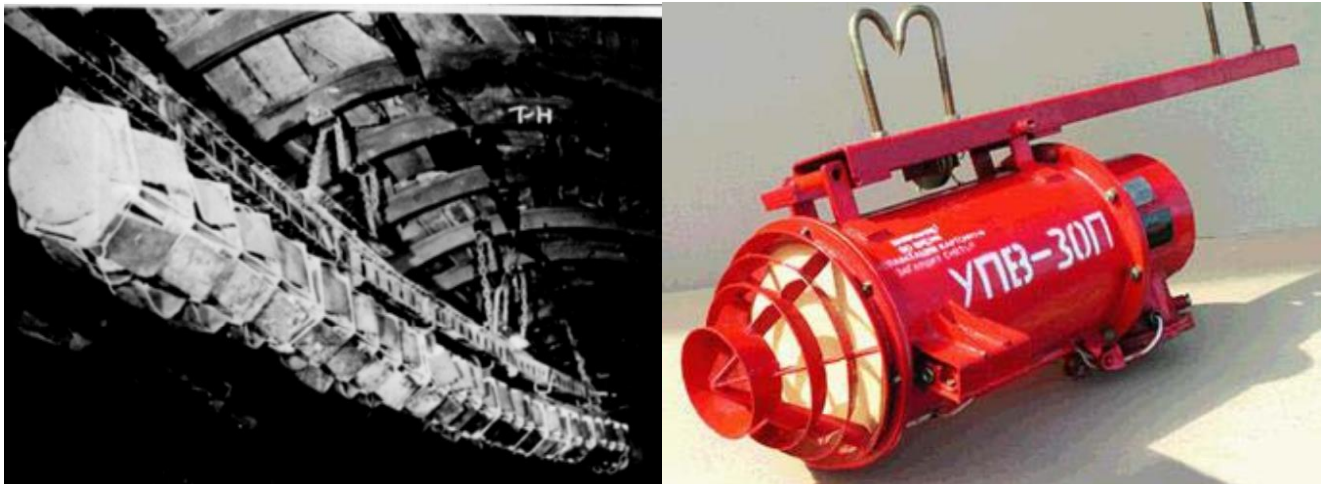
Таблица 1.2 – Конструктивные группы автоматических систем взрывоподавления

Таблица 1 – Конструктивные группы автоматических систем взрывоподавления.

№ п/п	Краткое описание группы	Инерционность срабатывания, мс	Пламегасящее вещество (ингибитор, флегматизатор)	Кол-во пламегасящего вещества в системе.	Основные недостатки
1.	АСВП ствольного типа направленного действия (BVS, Total, ФРГ)	100÷150	Порошок «трололяр» на основе фосфата аммония	393,6 л	Высокая инерционность срабатывания, низкая допустимая ударостойкость, и как следствие невозможность применения при ведении ВР
2.	АСВП из отдельных, расфасованных в контейнеры с выработкой, гасящим веществом	50÷75	Вода, инертная пыль, NaHCO_3	18,8 кг/м ²	Низкая мобильность системы, габариты, низкая механическая прочность, малоэффективное ППВ
3.	АСВП с одним протяженным (линейным) взрывоподавительным, заполненным порошковым пламегасителем	30÷50	Гидрокарбонат и карбонат натрия	25÷40 кг	Не оптимальные условия распыления низкоэффективного ППВ. Опасность для рабочих в случае ложного срабатывания

Как показала практика, наиболее оптимальным вариантом с точки зрения создания мобильной, не загромождающей поперечное сечение горной выработки АСВП является именно представители третьей конструктивной группы.

Главной задачей, при разработке таких систем было создание АСВП с высоким быстродействием и, в то же время, высокой устойчивостью к механическим воздействиям. Результатом первых сравнительно успешных попыток стало создание таких систем как «Заслон АВП-1» и «СЛВА-1» (рисунок 1.11.)



а)

б)

Рисунок 1.11 - Внешний вид системы а) - «Заслон АВП-1»; б) - «СЛВА-1»

Ввиду несовершенства конструкции, а также частых случаев брака при изготовлении, происходили ложные срабатывания системы «Заслон АВП-1», что послужило причиной приостановки выпуска таких систем. Что касается «СЛВА-1», то основными недостаткам этой системы были автономный блок питания, а также то, на поверхность стекла датчиков осаждается слой пыли, что снижает надежность действия всей системы.

Наиболее удачной разработкой в этой области является автоматическая система взрывоподавления – локализации взрывов АСВП-ЛВ (рисунок 1.12,1.13), имеющая лучшие в мире технические характеристики по быстродействию и параметрам создаваемого локализирующего облака взрывоподавляющего порошка [11].



Рисунок 1.12 - Внешний вид автоматической системы взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ(.1М)

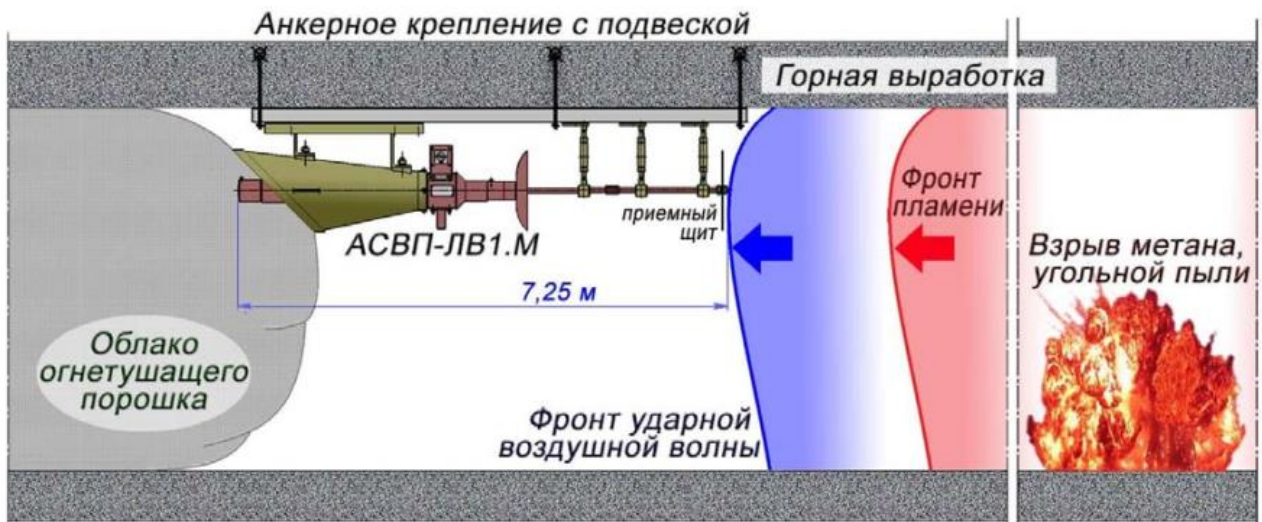


Рисунок 1.13 - Принцип действия автоматической системы взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ(.1М)

Система АСВП-ЛВ состоит из устройства локализации взрыва (УЛВ) и автономного командного устройства (АКУ). УЛВ состоит из устройства срабатывания, конусообразного бункера и промежуточной камеры, заполненных огнетушащим порошком, внутри которых коаксиально расположена рабочая полость, заполненная сжатым воздухом высокого давления. АКУ состыковано с устройством срабатывания УЛВ и состоит из выносных штанг, соединительных муфт и приемного щита.

К недостаткам данной системы относят:

- возможность отказов системы при “тихом” взрыве;
- несанкционированное срабатывание системы вследствие механического воздействия на нее;
- неполный выброс порошка из бункера;
- возможность прогиба выдвижной штанги и приемного щита, что может привести к отказу системы.

Стоит также отметить, что согласно результатам испытаний огнетушащих порошков, проведенных авторами АСВП-ЛВ на базе ФГУП НМЗ «Искра», порошки марок «П-АГС» (ТУ 2149-001-00159158-99), «ИСТО-1» (ТУ 2149-001-54572789-00) и ПВХ-1 (ТУ 6-8-106-84) концентрацией 10 г/м³ обеспечивают безопасность в отношении воспламенения метано-воздушной среды.

1.3 Обзор существующих составов ингибирования и флегматизации взрывов МПВС

В качестве пламегасящих веществ наиболее часто применяются вода, пена, инертные газы, а также огнетушащие порошковые составы (ОПС) [12]. Наиболее эффективным средством ингибирования цепных реакций горения являются ОПС. Их огнетушащая эффективность в 200 раз выше галогенидов металлов, в 40 раз выше воды, в 20 раз пены и в 4 раза выше, чем у CO₂ [13,14].

Авторами работы [15] приводятся совокупность следующих механизмов, отвечающих за прекращение горения: охлаждение зоны горения за счет нагрева частиц порошка, частичное испарение и разложение в пламени; разбавление

горючей среды газообразными продуктами; эффект огнепреграждения, достигаемым при прохождении через узкие каналы, создаваемые порошковым облаком; ингибирование химических реакций газообразными продуктами разложения и испарения порошков или гетерогенным обрывом цепей на поверхности порошков.

Среди неоспоримых достоинств порошков зарубежные и отечественные исследователи приводят [16,17,18]:

- возможность их применения в широком диапазоне температур окружающей среды (от минус 50 °С до плюс 50 °С), а также длительный срок хранения без потери свойств;
- отсутствие токсичных, озоноразрушающих веществ, химическую инертность, низкую коррозионную активность;
- минимальный ущерб от применения, сравнительно с установками пенного и водного тушения.

Механизм огнетушащего действия порошков заключается главным образом в ингибировании процесса горения путём связывания АЦП и, в меньшей степени, в охлаждении очага пламени. Таким образом, происходит либо гомогенное воздействие газообразных продуктов возгонки порошков с активными центрами, либо гетерогенная рекомбинация этих центров на поверхности частицы[19].

Основными компонентами огнетушащих порошков на сегодняшний день являются фосфорно-аммонийные соли, сульфат аммония и бикарбонат натрия (таблица 1.3.).

Таблица 1.3 - Порошковые огнетушащие составы

Название ОПС	Основной компонент	Область применения
ПФ	Фосфат аммония	Тушение пожаров А, В, Склассов
ПИРАНТ-А	Фосфат аммония	Тушение пожаров А, В, Склассов
ПИРАНТ-АН	Фосфат аммония	Тушение пожаров А, В, Склассов
ПИРАНТ-АК	Фосфат аммония	Тушение пожаров А, В, Склассов
П-1А	Фосфат аммония	Тушение пожаров А, В, Склассов

Продолжение таблицы 1.3

Р-11-24	Фосфат аммония	Тушение пожаров А, В, Склассов
П-4АП	Фосфат аммония	Тушение пожаров А, В, Склассов
ПСБ	Бикарбонат натрия	Тушение пожаров В,Склассов
ПСБ-2	Бикарбонат натрия	Тушение пожаров В,Склассов
ПСБ-3	Бикарбонат натрия	Тушение пожаров В,Склассов
ИСТО-1	Фосфат аммония, сульфат аммония	Тушение пожаров А, В,С, Екклассов
П-АГС	Фосфат аммония	Тушение пожаров А, В,С, Екклассов
ВЕКСОН	Фосфат аммония, сульфат аммония	Тушение пожаров А, В,С, Екклассов
Феникс АВС-40	Фосфат аммония	Тушение пожаров А, В,С, Екклассов
Феникс АВС-70	Фосфат аммония	Тушение пожаров А, В,С, Екклассов

Гетерогенное ингибирование является сложнейшим фактором воздействия на пламя. Исходя из этого, при тушении пламени стоит применять комбинированные порошково-пенные средства, чтобы охладить очаг пеной после подавления ингибитором горения. Однако, это не применимо к условиям взрыва, так как для его локализации отводится не более 100 мс. Для условий угледобывающих предприятий особый интерес представляют такие вещества, которые могут совмещать пламегасящие и локализирующие свойства. Такими веществами являются взрывоподавляющие порошки. Основная область их применения – снаряжение автоматических систем взрывоподавления. Кроме того, в угольных шахтах такие порошки находят и другое применение: обработка отложившейся угольной пыли; забойка шпуров и скважин [20].

Как было отмечено Краснянским М.Е. в 1990 году [21], в зарубежных источниках нет каких-либо сведений о серийном производстве и применении специальных взрывоподавляющих порошков. Такая информация актуальна и по сей день. Автор приводит сведения об отечественных взрывоподавляющих порошках, таких как ПВК-1 (основе карбамида) и КСВ-30(на основе бикарбоната

натрия), однако информация о производстве и использовании данных, или иных взрывоподавляющих составов, в наши дни отсутствует. Автоматические системы взрывоподавления снаряжают серийными огнетушащими порошками общего назначения (приложение А), в подавляющем большинстве, как отмечено выше, на основе аммофоса и сульфата аммония.

Для того чтобы оценить эффективность такого решения, необходимо помнить, что физико-химические процессы горения решительным образом отличаются от процессов, происходящих при взрыве. Отсюда можно сделать вывод, что огнетушащие составы, применяемые при тушении огня, могут оказаться не самыми эффективными в условиях локализации взрыва. В работе [22] показано, что в условиях температур до 2000 °С в связи с изменением причин образования свободных радикалов, обычного эффекта ингибирования, являющегося основой огнетушащих порошков, уже не достаточно для локализации очага. В таком случае, необходимо очень быстро отвести из реакционной зоны химическую часть энергии, и для этих целей лучше всего использовать химические агенты, обладающие большой скоростью разложения. Таким образом, сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, применяемый при пламегашении за счёт высокого показателя теплопоглощения, (4,5 кДж/г) будет не так эффективен при локализации взрыва, т.к. его кинетические параметры, а именно скорость разложения, гораздо ниже, чем, скажем, у бикарбоната натрия (NaHCO_3) (таблица 1.4.). Тем самым за время, которое необходимо $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ чтобы поглотить 4,5 кДж теплоты, NaHCO_3 успеет поглотить 900 кДж.

Таблица 1.4 - Теплопоглощение и скорость разложения солей, служащих основой огнетушащих порошков

Вещество	Теплопоглощение при полном разложении Q, кДж/г	Время «полураспада» $\tau(1/2)$, с, при 1000 °С	Тушащая навеска (очаг 36 см ² , спирт), г
KCl	0,5	-	0,17
NaHCO ₃	1,8	1	0,15
(NH ₄) ₂ HPO ₄	4,0	10	0,12
(NH ₄) H ₂ PO ₄	3,6	40	0,16
NH ₄ Cl	4,3	70	0,22
(NH ₄) ₂ SO ₄	4,5	500	0,26

1.4 Выводы по главе 1

По результатам обзора и анализа научно-технической информации, представленного в главе 1, можно сделать следующие выводы:

1. Анализ результатов расследования аварий на угольных шахтах показывает недостаточную эффективность существующих систем локализации взрыва метано-пылевоздушных смесей.
2. По сравнению с другими средствами пламегашения, наибольшей эффективностью ингибирования цепных реакций горения обладают огнетушащие порошковые составы, которые имеют сравнительно низкую стоимость, нетоксичны, малоагрессивны и применяются в широком диапазоне температур.
3. Согласно данным [23,24] общепризнанный механизм взрыва угольной пыли имеет ряд экспериментально подтверждённых противоречий, из чего следует, что при выборе ингибирующих составов для подавления взрывов метано-пылевоздушных смесей необходимо исследовать и определить порошковые составы, эффективные, в том числе, и для ингибирования угольного аэрозоля.
3. Физико-механические процессы горения значительно отличаются от процессов взрыва, этот факт нужно учитывать при выборе ингибиторов, применяемых в автоматических системах локализации-взрывоподавления.

ГЛАВА 2 МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА ГИБРИДНЫХ СРЕД

2.1 Системы оценки взрывопожароопасности гибридных смесей

В угольных шахтах на сегодняшний день остаётся крайне актуальной проблема обеспечения взрывобезопасности процессов, протекающих в присутствии гибридных смесей, в частности, угольная пыль – воздух, метан – воздух, метан – угольная пыль – воздух.

Разработанные и утверждённые в разных странах методики испытаний взрывопожароопасности гибридных смесей имеют существенные различия, так как разрабатывались не независимо друг от друга и не подвергались международной стандартизации. Тем не менее, между ними прослеживаются общие черты:

- оценка производится в установках малого объёма (до 20 л.);
- оценка проводится в основном в лабораторных условиях.
- оценка проводится на небольших количествах исследуемого образца.

Общепринятая у нас и за рубежом система оценки взрывоопасных свойств гибридных смесей включает пять основных экспериментальных характеристик взрываемости: нижнего концентрационного предела распространения пламени (*НКПП*), максимального давления взрыва (P_{max}), максимальной скорости нарастания давления взрыва $(dP/d\tau)_{max}$, индекса взрывопожароопасности (K_{st}), минимального взрывоопасного содержания кислорода (*МВСК*) и минимальной флегматизирующей концентрации флегматизатора (φ_{ϕ}) [25].

2.2 Отечественные и зарубежные методики

Метод экспериментального исследования и оценки показателей взрывоопасности, применяемый в Российской Федерации, в т.ч. вопрос флегматизации и ингибирования угольной пыли, основан на испытаниях, в ходе которых определяется точка флегматизации, соответствующая минимальной инертизационной концентрации флегматизатора (рисунок 2.1.).

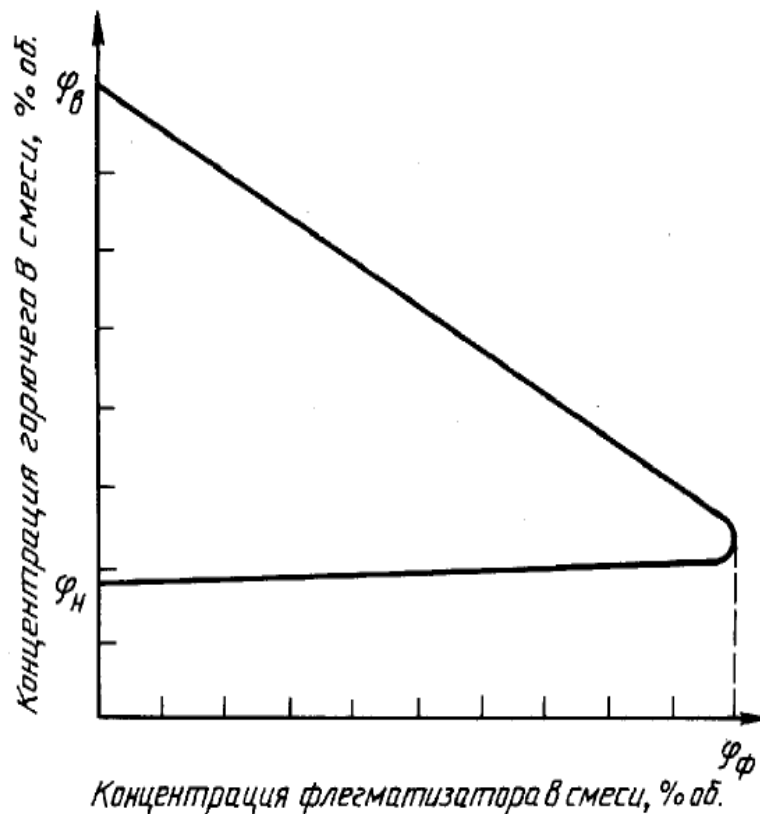


Рисунок 2.1 - Кривая флегматизации

Испытания проводятся на установке, схема которой представлена на рисунке 2.2. Методика проведения испытаний подробно описана в ГОСТ 12.1.044-89. Источником зажигания аэровзвеси является спираль из проволоки марки Х80Н20-Н, нагреваемая электрическим током до температуры (1050 ± 50) °С. Если в процессе испытаний аэровзвеси максимальное давление взрыва (P_{max}) не превышает 0,05 МПа, то исследуемую аэровзвесь относят к взрывобезопасной. Однако, при исследовании горючих (согласно ГОСТ 12.1.004-76) веществ, энергии зажигания, производимой спиралью не достаточно для оценки взрывобезопасности аэровзвеси. В этом случае рекомендуется проводить

испытания в крупномасштабной взрывной камере вместимостью не менее $0,02 \text{ м}^3$ с использованием источника зажигания с запасом энергии не менее 10 кДж [26].

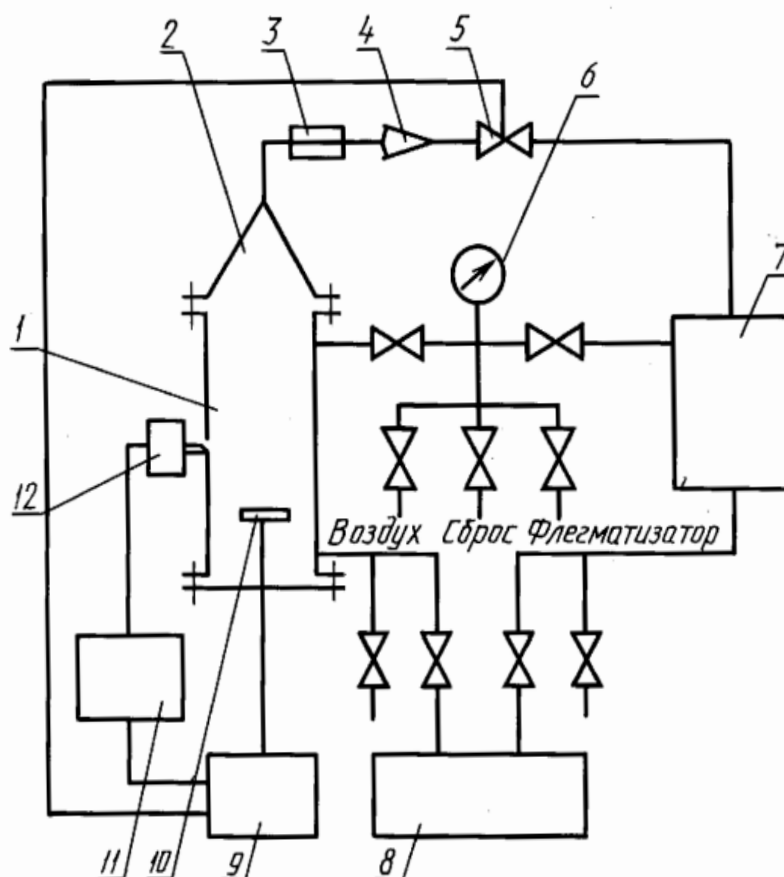


Рисунок 2.2 - Схема лабораторной установки

1 – реакционный сосуд; 2 – конус распылителя; 3 – форкамера; 4 – обратный клапан; 5 – клапан с электроприводом; 6 – манометр; 7 – ресивер; 8 – газоанализатор; 9 – пульт управления; 10 – источник зажигания; 11 – регистрирующая аппаратура; 12 – датчик давления.

За рубежом такой камерой стала установка объемом 1 м^3 , разработанная В. Барткнехтом в 1986г. Исследование показателей взрывоопасности промышленных пылей с помощью данной установки вошло в международный стандарт (ISO 6184/1). Камера такого объема была сравнительно дорогостоящей и ввиду своих габаритов возникали трудности с её размещением в лабораториях [27].

На основе своих дальнейших исследований В. Барткнехт сделал вывод о том, что сферический резервуар вместимостью 20 л ($0,02 \text{ м}^3$) является наименьшей

емкостью, достаточной для достижения желаемого результата, к тому же такой вариант наиболее доступен. Был выведен закон подобия для емкостей аналогичной формы:

$$\left(\frac{dP}{dt}\right)_{max} = K_{st} \cdot V^{1/3}$$

где $(dP/dt)_{max}$ - максимальное значение скорости роста давления МПа/с;

V - объем резервуара, м³;

K_{st} , - параметр взрываемости пылевзвеси, МПа · м/с.

Исходя из анализа последних отечественных и зарубежных публикаций, современные исследования инертизации взрывоопасных аэрозолей проводят на установках, аналогичных вышеописанной [28]. Самые известные из них - автоклав вместимостью 20л швейцарской фирмы «KühnerAG» (на сегодняшний день такая установка используется при исследованиях в научном центре ВостНИИ), а также взрывная камера модели ETD-20L DG (Китай). В качестве исследуемой характеристики принимается минимальная инертизирующая концентрация (МИК), г/м³ - наименьшая концентрация инертного материала, при которой взрыв пыли становится невозможен при любой концентрации горючего [29].

2.3. Проблемы лабораторных исследований

На сегодняшний день лабораторные исследования параметров взрывчатости и инертизации гибридных смесей, в том числе и угольного аэрозоля, встречаются несколько серьёзных проблем, изучение и решение которых позволит гораздо лучше анализировать, прогнозировать, а главное предотвращать взрывы гибридных смесей. Среди них стоит отметить:

- влияние объема экспериментальной камеры на результаты исследований;
- влияние энергии источника воспламенения;
- учёт эффективности дисперсии пыли при её подаче во взрывную камеру;
- турбулентность.

Были найдены значительные различия между результатами, полученными при использовании сферического резервуара объемом 20л и сосуда объёмом 1м³[30]. В частности, некоторые виды слабореактивной пыли взрывались в камере 20л и были полностью не взрывчаты в камере объемом 1м³.

Таблица 2.1 - Взрывчатые характеристики, определенные с помощью камеры объемом 1м³ и сферы объемом 20л.

№	Пыль	K_{st} 1м ³ (бар*м/с)	K_{st} 20л. (бар*м/с)	P_{max} 1м ³ (бар)	P_{max} 20л.(бар)
1	Ликоподий	177	120	-	-
2	Древесные опилки	80	140	-	-
3	Пшеничная мука	80	45	-	-
4	Стеарат кальция	140	197	6,6	9,1
5	Угольная пыль (Великобр.)	70	127	6,5	7
6	Лигнит	138	113	6,2	7,3
7	Декстринмальтоза	205	147	6,8	9,5
8	Монохлорацетат натрия	0	62	7,4	0
9	Поливинилхлорид	64	113	7,8	8,7
10	Твёрдые швейные остатки	0	65	1,3	0

Увеличение энергии зажигания может привести, в зависимости от пыли, к увеличению либо уменьшению параметра K_{st} . Исходя из этого, различия можно объяснить явлением «перегрузки» аэровзвеси воспламенителями с энергией зажигания 10 кДж в 20л камере [31].

Исследования [32] показывают, что в процессе подачи под давлением образца пыли через мультифазный клапан, происходит значительное уменьшение размера частиц пыли в сравнении с исходным образцом, что оказывает влияние на результаты испытаний. Также необходимо учитывать и роль турбулентности. График на рисунке 2.3 показывает, что интенсивность турбулентности

существенно влияет на параметр $(dP/dt)_{\max}$. Отсюда следует необходимость контроля над моментом инициирования смеси (времени задержки инициирования).

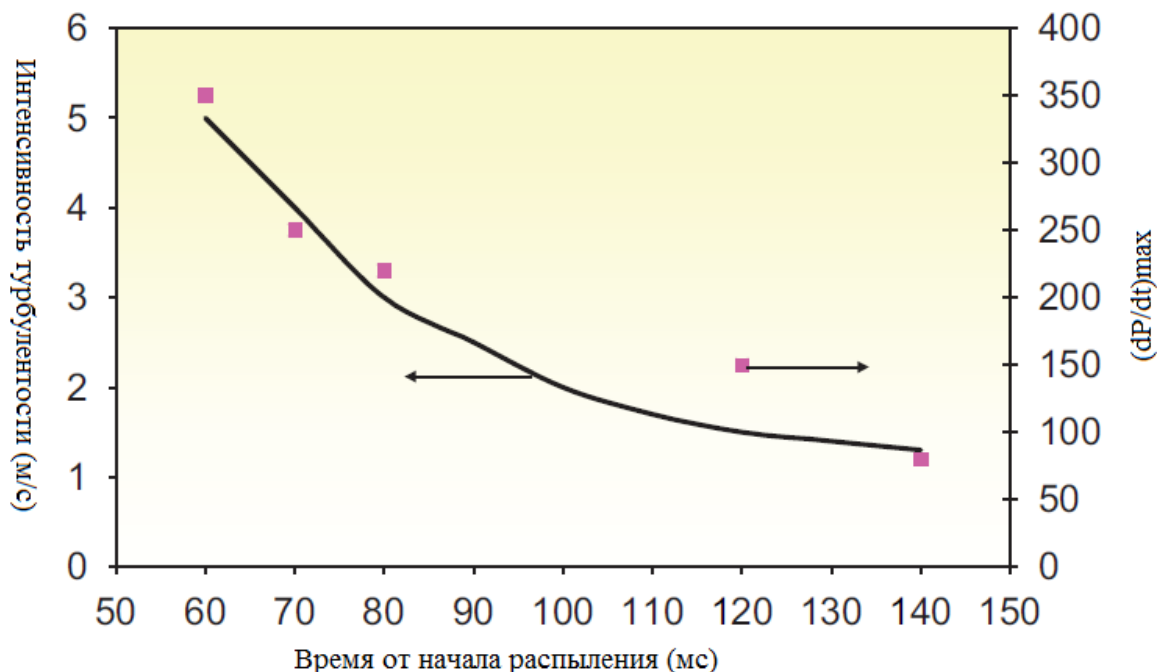


Рисунок 2.3 - Изменение интенсивности турбулентности в 20 л. сфере как функция от времени от начала распыления и влияние на скорость нарастания давления при инициировании взрывавеси ликоподия

На данный момент исследование взрывчатых характеристик гибридных смесей включает большое количество экспериментальных исследований. К сожалению, при этом процессу инертизации и исследованию механизмов ингибирования и флегматизации посвящено сравнительно небольшое количество работ, в том числе и по причине отсутствия общепринятых методик.

Современные лабораторные исследования процессов ингибирования, инертизации и флегматизации взрывов гибридных смесей, в большинстве случаев проводят в камерах объемом 20л. Установки такого типа зарекомендовали себя как наиболее пригодные для работы в условиях лаборатории, ввиду минимизации расхода, как времени, так и материальных средств на проведение эксперимента, не говоря уже о безопасности при их проведении, в сравнении с промышленными

испытаниями. Однако, не смотря на это, существует достаточное количество неопределенностей в условиях и методике применения данных установок с целью получения наиболее достоверных результатов. Так, например, в работах [29,33] установлена достаточно высокая сходимость результатов полномасштабных испытаний взрывчатых характеристик пыли и минимальной инертизационной концентрации в условиях шахты с лабораторной установкой объемом 20л. Авторы объясняют такую сходимость установки меньшего объема явлением «перегрузки» взрывной камеры воспламенителями с энергией зажигания 10 кДж, сходным по энергетике с условиями взрыва в шахте вследствие нарастания скорости распространения пламени по выработке.

2.4 Методика исследования влияния ингибирующих и флегматизирующих добавок на воспламеняемость и взрывчатость угольной пыли

Подавление воспламенения и взрыва угольной пыли на многих предприятиях угледобывающей отрасли до настоящего времени проводится не так эффективно, как технологии добычи полезного ископаемого [34]. Востребованность новых методов и составов для повышения безопасности ведения горных работ подтверждается крупными катастрофами, влекущими за собой человеческие жертвы, а также значительный материальный ущерб [34, 35]. Поэтому и лабораторные исследования не менее важны, т.к. позволяют не только качественно, но и на количественном уровне определять важнейшие закономерности развития воспламенения и взрыва мелкодисперсной угольной пыли, а также оценить эффективность применяемых для подавления процесса детонационного горения каменноугольной пыли ингибиторов и флегматизаторов [34-38].

Разработанная автором методика, рассматриваемая в настоящей работе, базируется на общепринятой системе оценки взрывоопасных свойств пыли, изложенных в ФЗ № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями на 29 июля 2017 года) и ГОСТ 12.1.044-89 и

методах изложенных, в международных стандартах [39-41] и опыте других ученых отраженном в [35,64, 42].

Методика позволяет определить:

P_{ex} - максимальное избыточное давление взрыва, возникающее при дефлаграционном сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси в замкнутом сосуде при начальном давлении смеси 101,3 кПа;

P_{max} - наибольшее значение давления взрыва (максимальное давление взрыва), определенное экспериментально в рамках взрывного диапазона концентрации пыли, МПа. Максимальное давление взрыва (P_{max}) рассчитывается программными методами автоматическим пересчетом из P_{ex} .

dP/dt - отношение приращения давления, развиваемого при взрыве в замкнутом сосуде, к интервалу времени, в течение которого это приращение произошло (скорость нарастания давления при взрыве), МПа/с;

K_{st} - трансформационный коэффициент (постоянная Бартнехта), позволяющий классифицировать пыль по параметрам взрываемости аэрозоля и выполнить расчет характеристик взрыва для больших объемов, МПа*м/с.

Методика, предназначена для определения вышеприведенных параметров взрыва, как аэрозоля каменноугольной пыли в воздухе, или в воздушной среде содержащей метан (гибридные смеси), так и аэродисперсной пыли содержащей добавки флегматизаторов и/или ингибиторов. Под флегматизаторами подразумеваются инертные вещества и материалы, основным механизмом взрывоподавления которых, является принцип огнепреграждения и разбавления, а под ингибиторами – катализаторы отрицательного действия способные тормозить химические реакции горения, протекающие как во фронте детонационного горения, так и в остальном объеме.

Рассматриваемая в настоящей работе методика, основана на материально-технической части, которая включает в себя лабораторный комплекс, основными блоками которого являются 20-литровая сферическая взрывная камера (СВК) и система управления и сбора данных схематически представленные на рисунке 2.4.

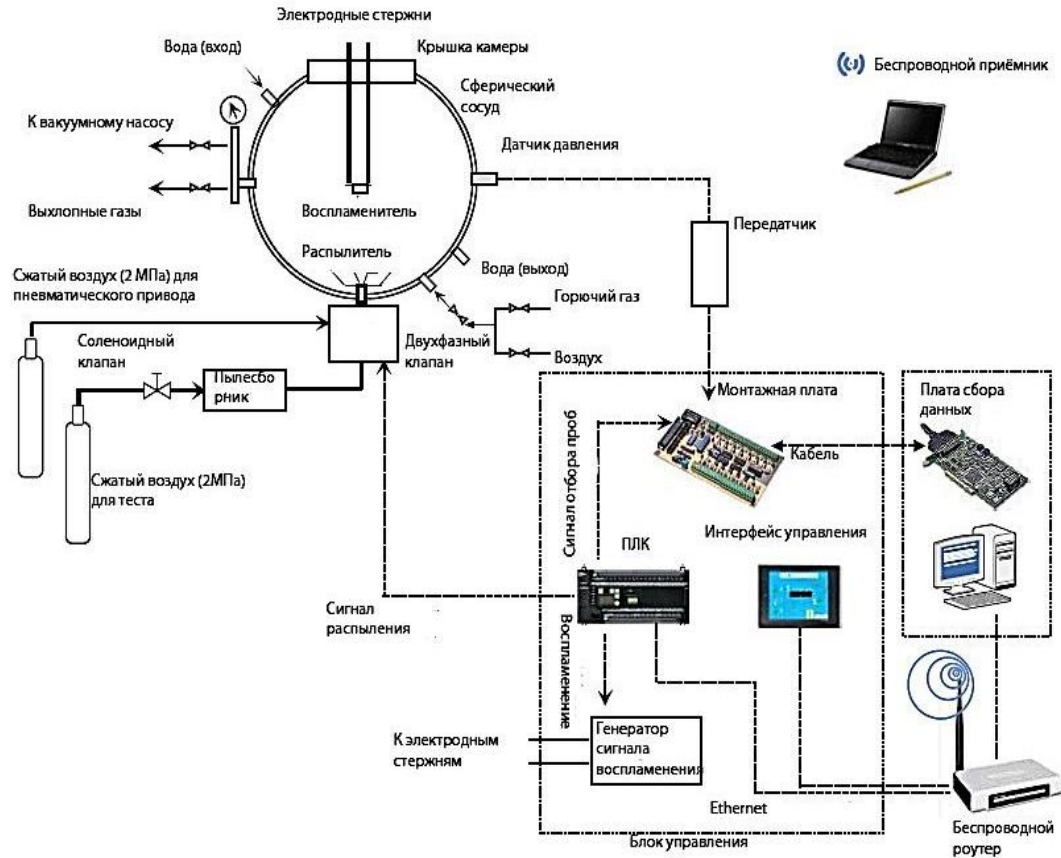


Рисунок 2.4 - Схема лабораторной установки

В блоке управления (БУ) установлен программируемый логический контроллер (ПЛК), генератор сигнала воспламенения, панель данных давления и пользовательский интерфейс. Он (БУ) соединен с компьютером через Ethernet кабели. Изменение давления во взрывной камере переводится в электрический сигнал датчиком давления и передающим устройством, записывается системой сбора данных и сохраняется в памяти компьютера. Чувствительность датчиков давления – 0,021 кПа.

Оболочка камеры двухслойная. Для поддержания постоянной температуры внутрь камеры заливали воду; возможно применение и другого хладагента. На одной из сторон СВК находится смотровое окно для визуального наблюдения за процессом воспламенения гибридной смеси внутри камеры. СВК оборудована клапанами (входные и выходные соединения) для откачки воздуха, удаления продуктов горения, слива/налива хладагента и т.п.

Мультифазный (быстродействующий) клапан подачи пыли/воздуха установлен под дном испытательной камеры и используется для контроля над

процессом рассеяния пыли. Реле давления установлено внутри стенки сосуда и используется для определения динамического давления взрыва пыли. Структура соединения крышки с камерой аналогична таковой на промышленных и лабораторных автоклавах. Манипуляции с крышкой может производить один человек. Рассеивающее сопло установлено на дне камеры и используется для равномерного рассеяния пыли в камере. Общий вид 20 л СВК показан на рисунке 2.5.

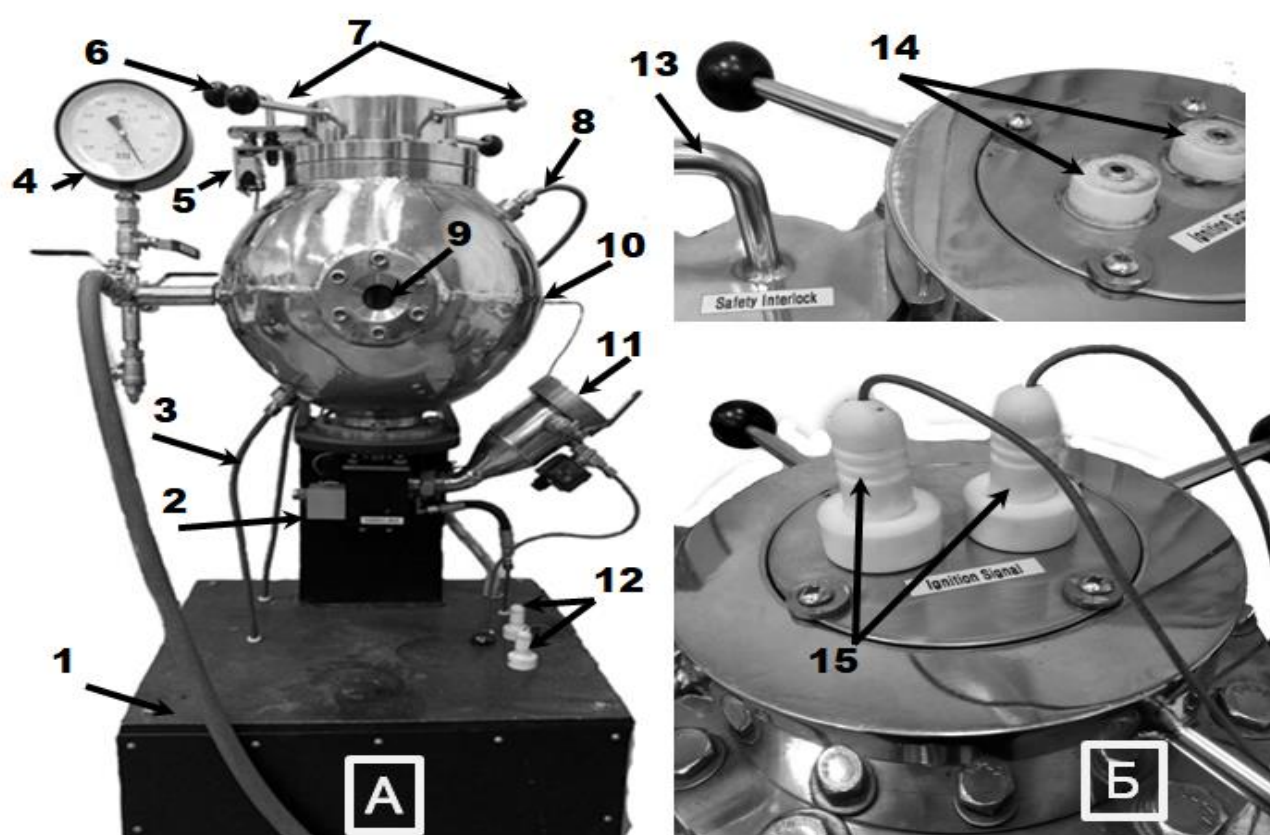


Рисунок 2.5 - А. Внешний вид 20-литровой взрывной камеры (слева); Б. Увеличенный фрагмент запорной крышки (справа), со снятыми и подсоединенными кабелями зажигания:

1 - основание (стойка); 2 - мультифазный клапан подачи пыли/воздуха; 3 - вывод рециркуляционной воды; 4 - вакуумметр; 5 - предохранительная задвижка; 6 и 13 - ручка замка безопасности предохранительной задвижки; 7 - поворотные ручки крышки камеры; 8 - ввод для рециркуляционной воды; 9 - смотровое окно; 10 - ввод датчика давления; 11 - сосуд для образцов пыли (сосуд предварительной

компрессии); 12 - контакты проводов зажигания в снятом положении; 14 - выход токопроводов на поверхность запорной крышки; 15 - контакты проводов зажигания в подсоединенном к токопроводам состоянии.

Алгоритм проведения эксперимента согласно предлагаемой методике состоит из трех этапов.

Первый этап включает в себя: подготовку системы управления, а так же подготовку установки к работе и пробоподготовку образца для исследований или партии образцов одной серии, приготовление химического воспламенителя согласно рецептуре и сборку иницирующего устройства.

Операции пробоподготовки образцов для исследования, включают в себя операции размолва, гранулометрического анализа и ситового отсева для получения необходимых по дисперсности фракций. На основании накопленного опыта и литературных данных, изложенных в [35, 36, 38, 43-45] рекомендовано проводить научные исследования с фракциями следующего дисперсионного состава: $250 \div 500$ мкм, $150 \div 250$ мкм, $75 \div 150$ мкм, $50 \div 75$ мкм.

В случае исследования образцов каменноугольной пыли необходимо знать следующие ее параметры: зольность, выход летучих и влажность. Эти параметры можно определить, проведя входной контроль.

Пробоподготовка ингибирующих и/или флегматизирующих добавок включает в себя их диспергирование и ситовой рассев для получения фракций, аналогичных по составу основному образцу, т.е. имеющему тот же дисперсионный состав, в который их планируют добавлять.

Разработанное иницирующее устройство включает в себя навеску химического воспламенителя, общей массой 2,4 г, размещаемого в рабочей емкости. В качестве рабочей емкости лучше всего зарекомендовали себя пробирки Эппендорфа. Для такого количества химического воспламенителя использовалась пробирка Эппендорфа объемом 1,5 мл.

Примененный химический воспламенитель по своему составу состоит из: 0,96 г циркониевого порошка; 0,72 г $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ (нитрата бария); 0,72 г BaO (оксида бария).

Каждое устройство при электровоспламенении выделяет 10 кДж энергии. Давление, создаваемое двумя такими воспламенителями, составит $P_{\text{воспл}} = (0,19 \pm 0,01)$ МПа. Применение такого рода устройства в нашем случае было экономически выгодно и менее трудозатратно, по сравнению с приобретением стандартных промышленных воспламенителей описанных в [39-41]

Итогом первого (подготовительного) этапа, является загруженный в сосуд предварительной компрессии образец, подсоединенные к тоководам крышки иницирующего устройства в количестве 2 штук и направленные в противоположные друг от друга стороны и закрытая крышка СВК.


Второй этап является непосредственным этапом проведения экспериментальной работы, заключающейся в проведении эксперимента и обработки полученных результатов программными средствами.

Поскольку все подготовительные операции выполнены на первом этапе и установка полностью готова к работе, то на данном этапе работа проводится только с прикладным программным комплексом «*ExTest*».

При успешном проведении эксперимента получаем визуализированный в виде графика результат и искомые значения, а именно P_{max} и dP/dt , P_{ex} и K_{st} .

При работе на прикладном программном комплексе «*ExTest*» необходимо будет выполнить следующие действия:

1. Запустить программное обеспечение «*ExTest*» на компьютере, соединенном с блоком управления лабораторной установки.

2. Войти на вкладку «*File*» в открывшемся диалоговом окне выбрать «*New test*». Второй способ открытия новой карты испытаний заключается в непосредственном нажатии на панели инструментов значка  «*Create a new testcard*».

3. Заполнить карту испытания. В пустые ячейки карты (диалоговые информационные окна) необходимо ввести для каждого конкретного испытания концентрацию пыли и концентрацию кислорода в воздухе, температуру и

влажность воздуха окружающей среды. При длительной работе с одним и тем же веществом (маркой угля), для оптимизации дальнейшей работы, необходимо ввести краткие характеристики испытуемого образца, например такие как: название (номер) испытуемого образца; принадлежность образца; условия подготовки образца; дисперсность; влажность; энергия зажигания; задержка воспламенения; начальное давление в камере; начальная температура; нижний концентрационный предел; максимальное давление взрыва; минимальное взрывоопасное содержание кислорода; номер опыта; дата опыта. Дополнительно в соответствующих диалоговых окнах можно оставить комментарии, а также сохранить введенную информацию как шаблон карты испытаний для последующих опытов и изменения данных в ней. При этом поля “Test Standard” и “Test Device” выставляются по умолчанию.

4. После заполнения карты испытаний необходимо нажать на кнопку «*Start Test*», появится интерфейс сбора данных в ожидании триггерного сигнала.

5. Взвесить образец угольной пыли и поместите его в сосуд предварительной компрессии, плотно завинтите крышку сосуда.

6. Прикрутить пиротехнические воспламенители к концам электродных стержней верхней крышки основной камеры сгорания.

7. Закрывать основную крышку установки. Завинтить её до упора и установить блокировку (*Safety Interlock*) в основное положение. На верху этой крышки к разъемам электродов необходимо подключить кабели зажигания.

Очередность выполнения операций 5, 6 и 7 на первом этапе или втором этапе на конечный результат не влияет.

8. Закрывать запорные вентили выхлопного крана и крана ввода газа и открыть вентиль вакуумного крана. Включить вакуумный насос. Когда стрелка вакуумметра остановится на $-0,065$ МПа закрыть вентиль вакуумного крана и отключить насос. Подождать около 3 секунд, затем установить значение вакуумметра на $-0,06$ МПа с помощью вентиля выхлопного крана.

9. Убедиться (еще раз проверить) в закрытии крана вакуумметра и закрытии остальных вентилях.

10. В том случае, если при заполнении карты испытания, забыли указать значение времени рассеяния пыли (*Dust Dispersion Time*) равное 50 мс, задержку зажигания (*Ignition Delay*) равную 60 мс, а также давление мультифазного клапана сосуда предварительной компрессии (*Setting Pressure*) равное 2 МПа, то это можно сделать на встроенном интерфейсе лабораторного блока управления.

11. На лабораторном блоке управления нажать кнопку подготовки сжатого воздуха (*Prepare Gas*) для впрыска пыли внутрь камеры (рисунок 2.6 кнопка 2). Кнопка «*Prepare Gas*» автоматически отключится, когда давления достигнет заданного уровня (*Setting Pressure*).

Заданные значения и готовность установки к работе можно увидеть на панели блока управления экспериментальной установки (см. рисунок 2.6 а. кнопки управления и 2.6 б. индикаторы).



Рисунок 2.6 - Увеличенные фрагменты панели блока управления взрывной камерой:

а.) установленные значения и кнопки управления: 1 - циркуляция воды; 2 - сжатый газ; 3 - инициирования воспламенителей; б.) индикаторы готовности: 4 - питание установки,

5 - циркуляция воды, 6 - сосуд предварительной компрессии (при достижении заданных 2 МПа загорается зеленым цветом), 7 - инициирование, 8 и 9 - индикаторы готовности установки для воспламенения (перед воспламенением должны быть активны)

12. Нажать кнопку «*Manual Trigger*» на интерфейсе сбора данных программы «*ExTest*», после чего сразу нажать на кнопку зажигания (*Ignite*) на панели пользовательского интерфейса (см. рисунок 2.6 кнопка 3).

Если избыточное давление ($P_{изб}$) превысило созданное воспламенителем давление ($P_{воспл}$) на 0,02 МПа, то считается, что взрыв угольной пыли произошёл [35, 39-41].

После успешного воспламенения программа «*ExTest*» автоматически выведет кривую давления-времени по данному испытанию см. рисунок 2.7. и позволить получить исходные данные для дальнейшей их обработки и графической визуализации см. рисунок 2.8.

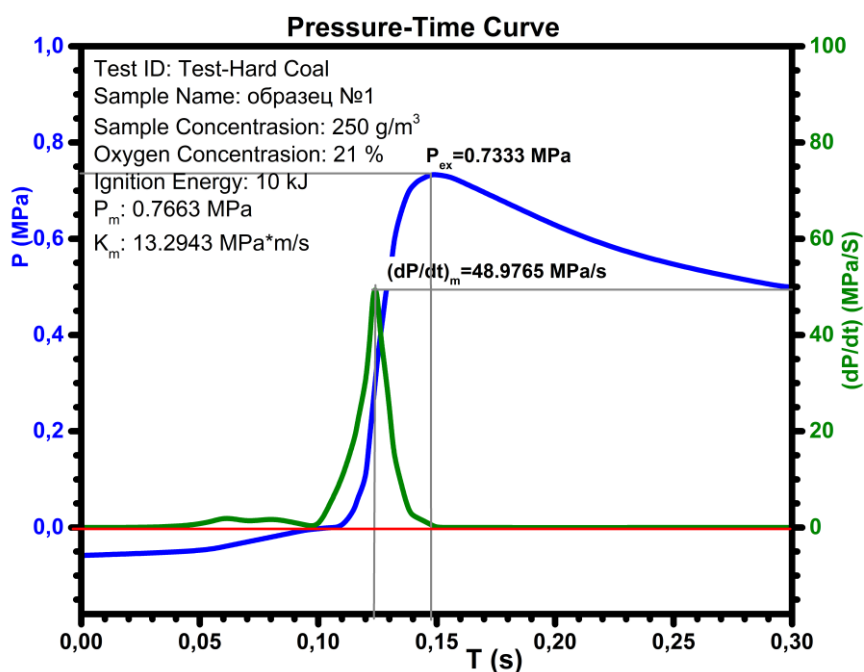


Рисунок 2.7 - Кривая давления-времени образца № 1 (визуализация средствами OriginPro)

С помощью полученных, прикладным программным комплексом «*ExTest*», по результатам эксперимента массива данных, в среде OriginPro построены зависимости динамики изменения давления взрыва от дисперсионного состава, приведенные на рисунке 2.8.

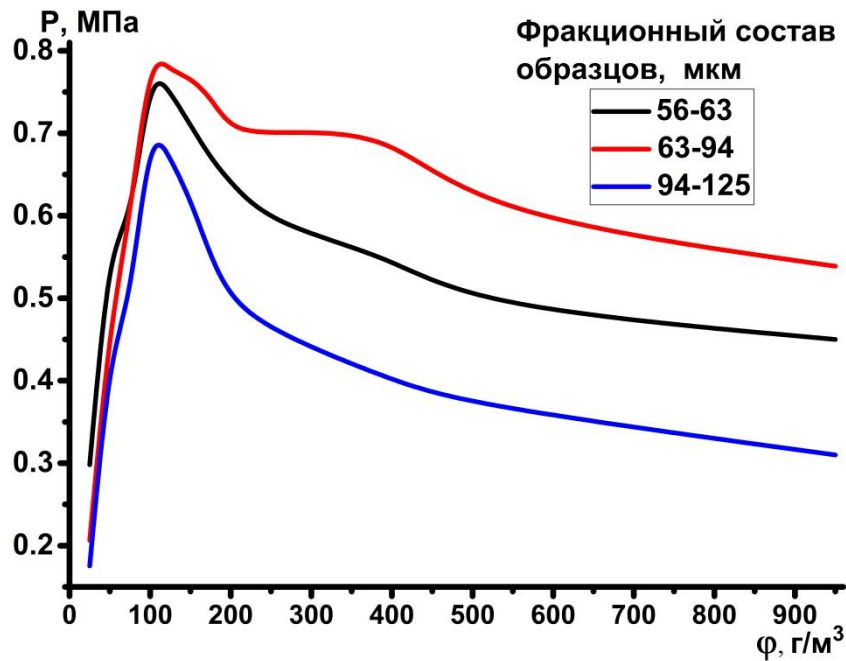


Рисунок 2.8 - График зависимости изменения давления взрыва от концентрации пылевоздушной смеси в объеме взрывной камеры установки

13. Открыть выхлопной клапан для выравнивания давления в сосуде с атмосферным давлением и включить вытяжку, после чего нужно снять крышку установки и тщательно очистить её внутреннюю часть с помощью воздушного компрессора.

14. Для получения более достоверных результатов необходимо повторить все предыдущие шаги (1 – 12) для других образцов угольной пыли без добавок. Каждый из пяти образцов различных фракций пыли испытать несколько раз, изменяя концентрацию угольной пыли. Испытания начинать с концентрации 250 г/м^3 , повышая концентрацию с шагом 250 г/м^3 , или понижая, с шагом 50% от предыдущего значения концентрации в соответствии с приведенным ниже рядом значений: ...; 60; 125; 250; 500; 750; 1000; 1250; 1500; ... г/м^3 .

15. Исследование влияния ингибиторов и флегматизаторов проводить в соответствии с вышеизложенным алгоритмом с пункта 1 по 12. С каждым из выбранных ингибиторов или флегматизаторов производить по 10 попыток воспламенения угольной пылевоздушной смеси с шагом концентрации в ней ингибитора 10% от массы угольной пыли.

Указанная методика испытаний позволяет выявить наиболее значимые параметры воспламенения и взрыва угольной пылевоздушной смеси. Разработанное инициирующее устройство из химического воспламенителя даёт возможность полноценно заменить стандартные промышленные воспламенители и снизить трудозатраты на лабораторные испытания. При этом также появляется возможность регулировать энергию взрыва в широком диапазоне, настраивая испытываемую камеру под задачи исследователя.

Результаты методики, визуализированные программными средствами, на экране монитора и качественно и количественно в он-лайн режиме могут оценить эффективность применения инертных и иных добавок в исследуемые пылевоздушные смеси.

Недостатком методики является слабый графический интерфейс программы «*ExTest*», но данный недостаток устраняется с помощью различных программ позволяющих по массиву данных строить графики и их обрабатывать, например OriginPro.

2.5 Выводы по главе 2

1. Разработка методик, направленных на более точное исследование конкретного процесса в лабораторных условиях является основной тенденцией экспериментального исследования процессов ингибирования и флегматизации гибридных смесей.
2. Разработана лабораторная методика исследования влияния ингибирующих и флегматизирующих добавок на воспламеняемость и взрывчатость угольной пыли.
3. Приведена общая схема комплекса и показана основная часть лабораторной установки. Кроме того, описаны измерительные приборы и разработаны указания для проведения испытаний на лабораторной установке. Результаты работы получаются с помощью прикладного программного комплекса «*ExTest*».
4. Подробно рассмотрено устройство инициирования процесса воспламенения и приведен состав химического воспламенителя.
5. Даны рекомендации для повышения точности исследований и для оценки достоверности лабораторных измерений.
6. Проведено обоснование выбора дисперсного состава каменноугольной пыли на основании физико-химических особенностей, указан гранулометрический диапазон по фракциям, с которым целесообразнее проводить исследования.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ-ИНГИБИТОРОВ НА ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ВЗРЫВ ПВС

3.1 Обоснование выбора энергии зажигания угольной пыли пиротехническими воспламенителями для определения НКПР

Исходя из выводов, полученных в предыдущей главе работы, было обнаружено значительное влияние энергии зажигания, производимой пиротехническими воспламенителями на область стабильного воспламенения и взрыва пылевых аэрозолей. В связи с этим возникла необходимость определения энергии зажигания, которая не будет оказывать влияния на результаты, а, следовательно, позволит получить наиболее точные данные о взрывчатых характеристиках исследуемых образцов пыли.

Для исследования влияния энергии зажигания значения НКПР для сульфидной пыли и угольной пыли шахты им. Дзержинского измерялись при пяти энергиях зажигания 1, 3, 5, 7 и 10 кДж. Как для угольной, так и для сульфидной пыли в качестве опытного образца была выбрана пыль фракцией 63-94 мкм. Динамика изменения НКПР была построена как функция энергии зажигания, показанной на графике (рисунок 3.1.).

Из результатов испытаний видно, что энергия зажигания оказывает значительное влияние на НКПР образцов пыли, и важно отметить, что значения НКПР для различных порошков постепенно стабилизируются, когда энергия зажигания достаточно высока. Фактически, происходит ли взрыв пыли, в значительной степени зависит от выхода летучих в процессе нагрева. (Здесь подразумевается принятый механизм воспламенения по теории Н.Н. Семенова). Очевидно, что энергия источников воспламенения будет существенно влиять на выход летучих. Когда источник воспламенения обладает низкой энергетикой, частицы не могут эффективно выделять достаточное количество летучих веществ, так что измеренные результаты основаны скорее на воспламеняемости, чем

взрываемости. В этой ситуации измеренный НКПР будет выше истинного значения, и это отклонение будет увеличиваться с уменьшением воспламеняемости пыли.

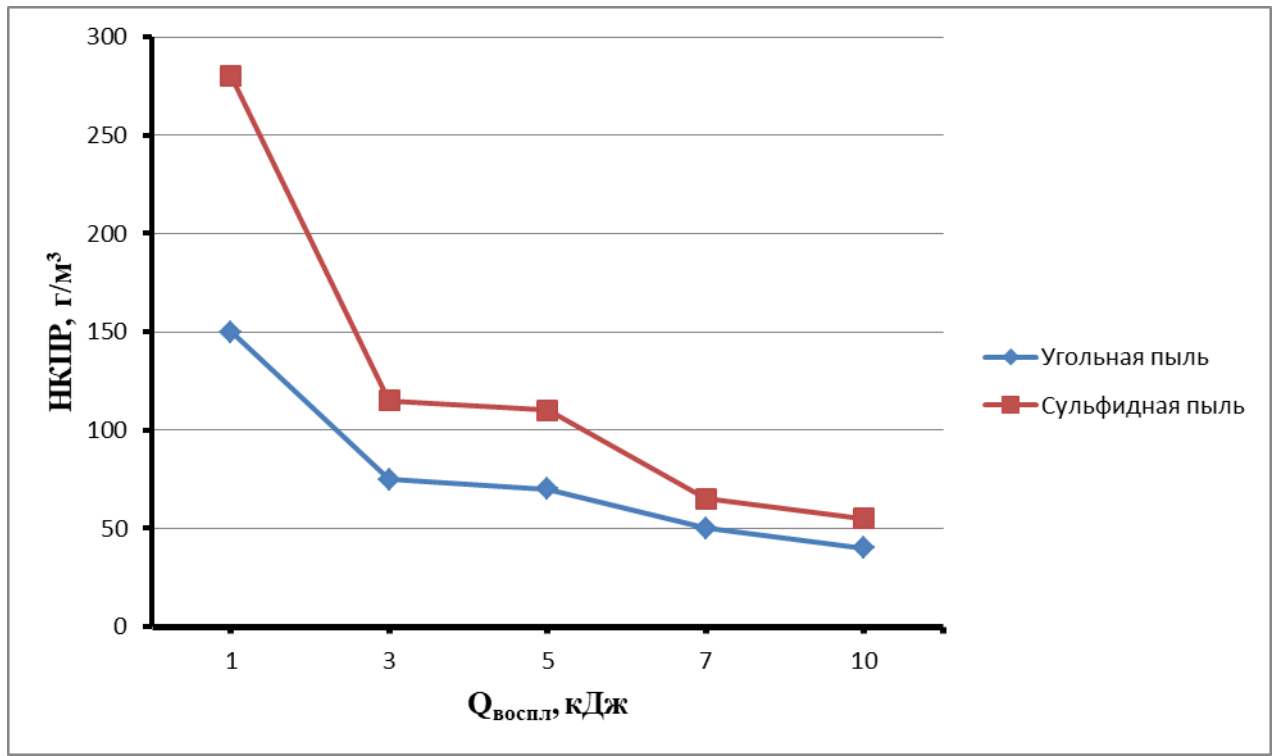


Рисунок 3.1 - График зависимости НКПР от энергии, производимой пиротехническим воспламенителем

Поэтому для получения истинного НКПР энергии зажигания должно быть достаточно, чтобы обеспечить достаточный уровень выхода летучих. Результаты, полученные в работах авторов: Гоинг [30], Кэшдоллар [33] и Хертцберг [120], показали, что энергия зажигания должна быть увеличена до тех пор, пока измерения НКПР не будут независимы от энергии. Для угольной пыли шахты им. Дзержинского и сульфидной пыли, как показано на рисунке 3.1, можно обнаружить, что измерения НКПР не зависят от энергии, когда энергия зажигания увеличивается от 3 кДж до 5 кДж соответственно. Конечно, слишком высокая энергия также неблагоприятна для измерения НКПР, особенно для пыли с более высокой воспламеняемостью. Например, на рисунке 3.2 показана зависимость изменения НКПР муки от энергии зажигания. (По сравнению с угольной и сульфидной пылью, мука имеет более высокую воспламеняемость.) Как и

ожидалось, измеренный НКПР муки стабилизируется, когда энергия зажигания колеблется от 3 до 5 кДж. Тем не менее, когда энергия воспламенителя возникает до 10 кДж, внезапное снижение НКПР возникает из-за чрезмерно мощного воспламенителя. С одной стороны, когда в опытах используется слишком мощный воспламенитель, энергия, выделяемая воспламенителем, достаточна для сжигания достаточного количества пыли, чтобы невзрывчатая система могла выглядеть взрывоопасной.

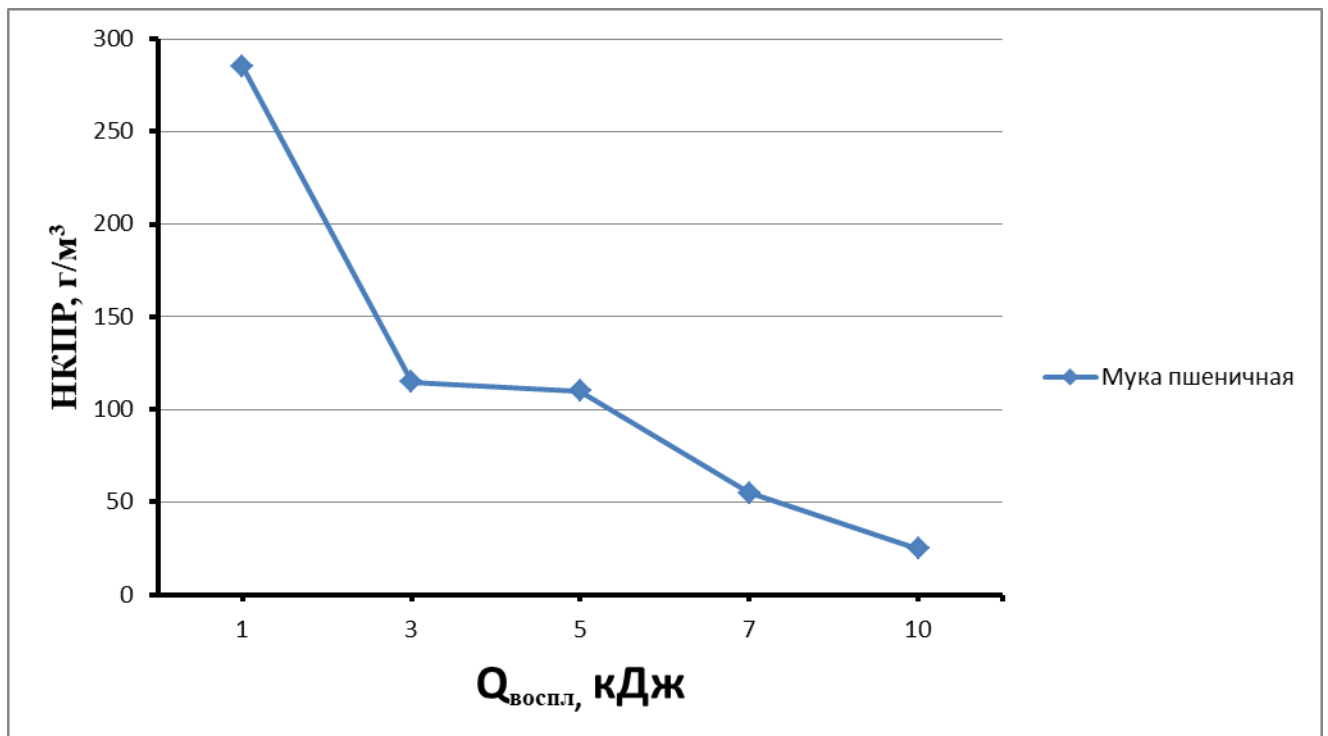


Рисунок 3.2 - Динамика изменения НКПР пшеничной муки в зависимости от энергии пиротехнического воспламенителя

С другой стороны, из-за чрезмерно большой энергии воспламенения, начальная температура системы заметно повысится, что, в свою очередь, приведет к снижению измеренного НКПР. На практике наиболее подходящая энергия зажигания в измерениях НКПР связана с объёмом взрывной камеры. Для лабораторных установок энергия 10 кДж может давать слишком низкие значения НКПР [121, 30, 29], а на рис. 3.1 и 3.2 энергетические диапазоны 3-5 кДж являются наиболее подходящими для сферической взрывной камеры объёмом 20 литров для измерений НКПР различной пыли. Таким образом, для повышения

точности исследований для проведения дальнейших испытаний было решено использовать вместо двух пиротехнических воспламенителей общей энергией 10 кДж один, общей энергией 5кДж.

3.2 Исследование взрывчатых свойств каменноугольной пыли глубоких шахт Кузнецкого бассейна

На первом этапе проводились исследования взрывоопасных характеристик образцов каменного угля Кузнецкого бассейна, отобранных из очистного забоя сверхкатегорийной шахты им. Дзержинского (образец 1), шахты 3 категории Котинская (образец 2) и сверхкатегорийной шахты им. 7 ноября (образец 3) [9, 63]. Все шахты опасные по взрывам каменноугольной пыли. Основные результаты проведенных испытаний представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Оценка взрывчатых характеристик КУП в зависимости от марки угля

№ опыта	Марка угля	Концентрация пыли, г/м ³	Масса пыли, г	Дисперсность пыли, мкм	P_m , МПа
1	Дзержинского	25	0,5	56-63	0,2980
2	Котинская		0,5		0,2540
3	7 ноября		0,5		0,2710
4	Дзержинского	50	1		0,5695
5	Котинская		1		0,5125
6	7 ноября		1		0,5472
7	Дзержинского	75	1,5		0,5846
8	Котинская		1,5		0,5643
9	7 ноября		1,5		0,5725
10	Дзержинского	100	2		0,7915
11	Котинская		2		0,7512
12	7 ноября		2		0,7740

Продолжение таблицы 3.1

13	Дзержинского	25	0,5	63-94	0,2064
14	Котинская		0,5		0,2015
15	7 ноября		0,5		0,2022
16	Дзержинского	50	1		0,4674
17	Котинская		1		0,4428
18	7 ноября		1		0,4522
19	Дзержинского	75	1,5		0,5963
20	Котинская		1,5		0,5817
21	7 ноября		1,5		0,5810
22	Дзержинского	100	2	0,7923	
23	Котинская		2	0,7527	
24	7 ноября		2	0,7718	
25	Дзержинского	25	0,5	94-125	0,1754
26	Котинская		0,5		0,1825
27	7 ноября		0,5		0,1813
28	Дзержинского	50	1		0,4354
29	Котинская		1		0,4279
30	7 ноября		1		0,4305
31	Дзержинского	75	1,5		0,4905
32	Котинская		1,5		0,4817
33	7 ноября		1,5		0,4892
34	Дзержинского	100	2	0,7119	
35	Котинская		2	0,6964	
36	7 ноября		2	0,7017	

Полученные результаты обрабатывались на прикладном программном обеспечении «OriginPro». По полученным данным строились графики зависимости давления взрыва пылевоздушной смеси от концентрации и

дисперсности угольной пыли рисунке 3.3 и времени взрывного горения пылегазовой смеси – рисунок 3.4.

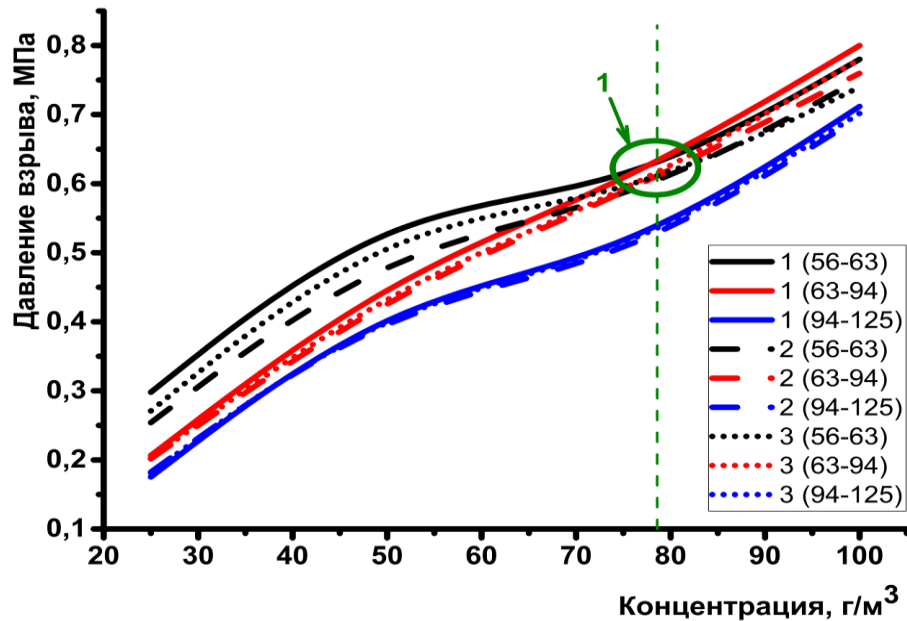


Рисунок 3.3 - График зависимости давления взрыва пылевоздушной смеси от концентрации и дисперсности угольной пыли

Зона 1, выделенная на графике, – зона равенства давлений взрыва, фракций дисперсности 56-63 и 63-94 мкм, при концентрации пыли в области 76 – 80 г/м³.

Согласно полученным экспериментальным данным, принято решение дальнейшие исследования проводить с фракциями пыли менее 94 мкм, так как для фракции 94-125 мкм давление взрыва не зависит от марки угля. Причем, отдельный интерес представляют фракции дисперсностью менее 63 мкм, так как при концентрациях менее 70 г/м³ давление взрыва у них более высокое, чем у образцов 1, 2 и 3 пыли дисперсностью 63-94 мкм. Также, следует отметить, что при концентрациях пыли более 80 г/м³ давление взрыва становится больше, чем у фракций 56-63 мкм.

Целесообразно проводить дальнейшую работу в области низких концентраций (менее 70 г/м³) с фракциями пыли менее 63 мкм и в области высоких концентраций (более 80 г/м³) с фракциями пыли до 100 мкм (например: 63-94мкм).

Полученные результаты подтверждаются требованиями [46] и данными работ [9, 45, 58, 59], также хорошо согласуются с результатами, изложенными в [122, 123, 55, 36, 62].

Одним из результатов работы стала возникающая проблема получения мелкодисперсных фракций. Она заключалась в проблеме получения фракций менее 63 мкм при операциях сухого рассева, при котором свойства и состав пыли не будут изменяться. Например, получить пыль каменного угля шахты им. Дзержинского дисперсностью менее 56 мкм, практически не удалось из-за забивания ячеек сита, смена режимов просеивания результатов не дала. На основании выполненных работ по рассеву образцов на фракции было отмечено, что получение фракций менее 56 мкм принципиально возможно, но требует разработки дополнительного алгоритма сухого рассева и в разы больших трудозатрат.

Результаты визуализации экспериментальных данных отражающих зависимость изменения давления взрыва от времени сгорания угольного аэрозоля приведены на рисунке 3.4.

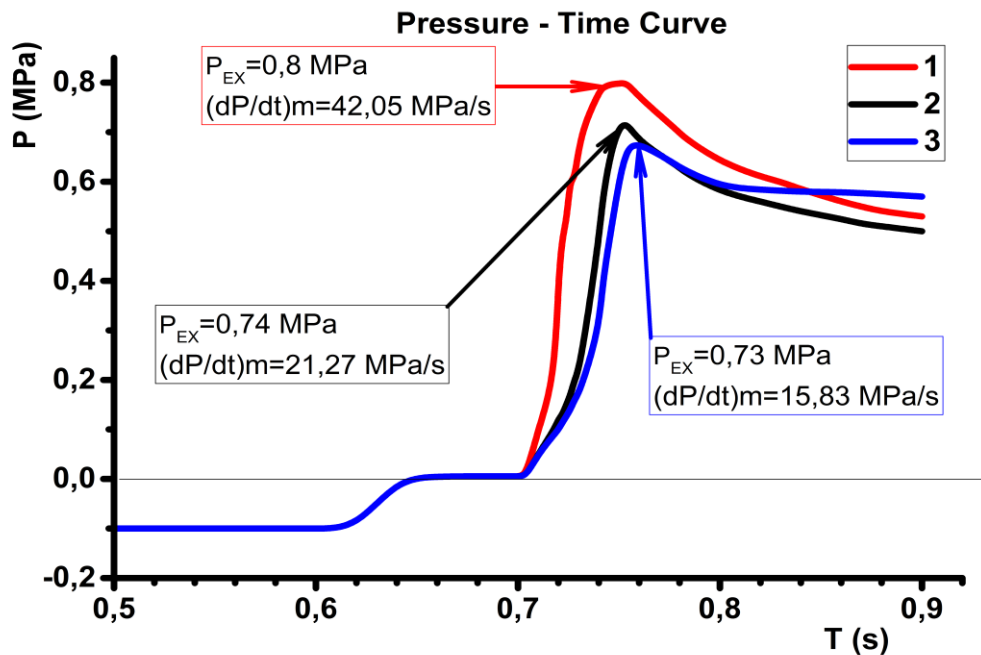


Рисунок 3.4 - График зависимости изменения давления взрыва (P , МПа) от времени (t , с) взрывного горения пылегазовой смеси во взрывной камере: 1 –

образец 1 ш. им. Дзержинского; 2 – образец 2 – ш. Котинская и 3 – образец 3 ш. им. 7 Ноября.

Согласно полученным экспериментальным данным, в том числе представленным на рисунке 3.4, наибольшей взрывоопасностью обладает каменный уголь, отобранный на шахте им. Дзержинского (образец 1). Давление взрыва рассмотренных образцов изменяется в узком диапазоне 0,73 – 0,8 МПа, что не противоречит справочным данным. Скорость нарастания давления взрыва, угля разных шахт отличается существенно. Например, у образца 1 (ш. им. Дзержинского) скорость нарастания давления 42,05 МПа/с, а у образца 3 (ш. им. 7 ноября) 15,83 МПа/с.

Полученные результаты обрабатывались на прикладном программном обеспечении и по полученным данным строились графики зависимости изменения давления взрыва угольной пыли, от концентрации и времени взрывного горения пылегазовой смеси рисунок 3.5 и графики изменения давления взрыва и скорости нарастания давления взрыва от времени рисунок 3.6 (график давление – время (Pressure-Time)).

При определении зависимости изменения давления взрыва от концентрации и скорости нарастания взрыва от концентрации каменноугольной пыли (КУП) в объеме взрывной камеры применён рекомендованный шаг по массовому количеству пыли, необходимому для создания в объеме 20 л сферы той или иной концентрации. Например, при малых концентрациях применялся шаг, не превышающий 50% от первоначального значения, а при высоких концентрациях, равный 50 % и на последнем этапе, более 50 % от первоначального значения.

В соответствии с применённой методикой, основанной на данных [39-41, 55] и с учетом сведений содержащихся в работах [59, 36, 61], были получены результаты, представленные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Результаты проведения эксперимента по возникновению взрывного горения (взрыва) в объеме 20 л сферы при ее поджиге химическим воспламенителем с энергией 5 кДж

№ опыта	Концентрация пыли, г/м ³	Взрыв
1	25	Нет
2	50	Да
3	75	Да
4	100	Да
5	125	Да
6	150	Да
7	175	Да
8	200	Да
9	250	Да
10	400	Да
11	500	Один раз нет, два раза да
12	600	Один раз нет, два раза да
13	950	Два раза нет, один раз да
14	1000	Нет

Согласно, данным, приведенным в таблице, область воспламенения (детонационного горения) достаточно широка, от 50 до 950 г/м³.

Результаты лабораторных экспериментов по определению влияния концентрации угольной пыли на давление взрыва и скорость нарастания давления взрыва представлены на совмещенном графике (рисунок 3.5).

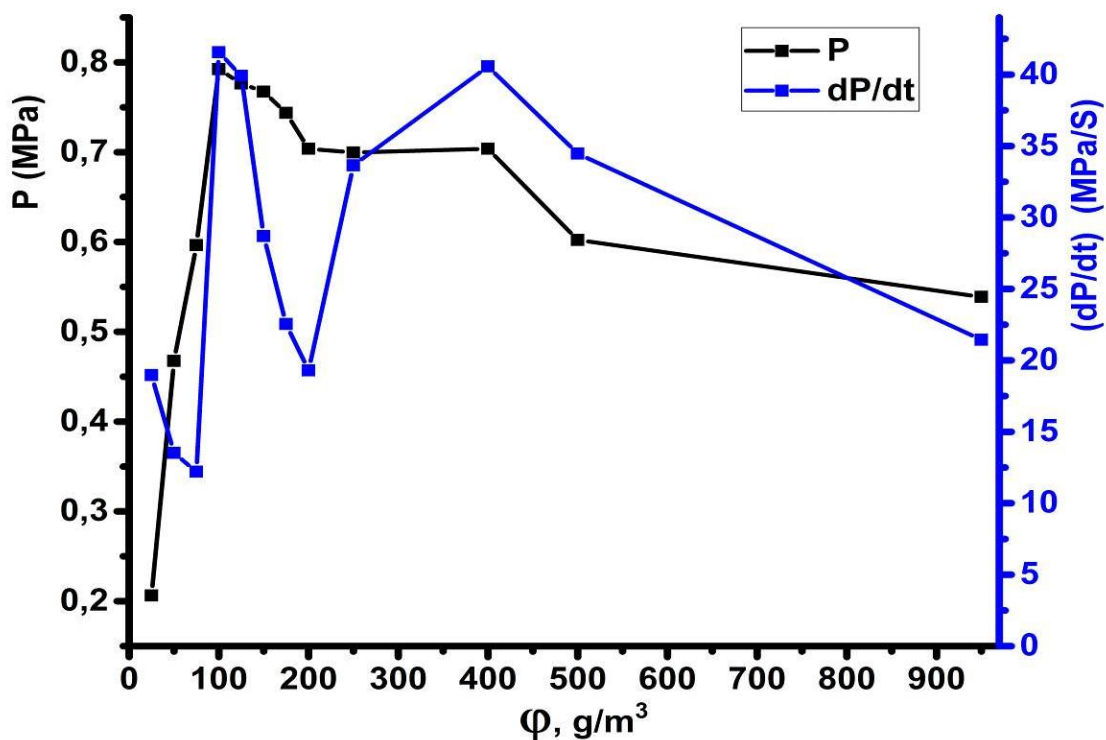


Рисунок 3.5 - Совмещенный график изменения давления взрыва и скорости нарастания давления взрыва от концентрации каменноугольной пыли в 20 л объеме сферы (взрывной камеры)

Из данных рисунка 3.5 следует, что в достаточно широком диапазоне по концентрации, а именно 175- 400 г/м³ (175, 200, 250, 400) давление взрыва практически не меняется от $P_{взр}=0,74$ МПа при $\varphi=175$ г/м³ до $P_{взр}=0,7$ МПа при $\varphi=400$ г/м³. При дальнейшем увеличении концентрации КУП в реакционном объеме давление взрыва медленно снижается. При концентрации 950 г/м³ происходит два отказа и при концентрации 1000 г/м³ воспламенения пылевоздушной смеси не произошло.

При проведении научно-экспериментальной работы по изучению зависимости изменения скорости нарастания при взрыве от концентрации были получены результаты, которые сразу не нашли объяснения. Например, максимальная скорость нарастания давления (dP/dt) наблюдается при концентрации 100 г/м³ и затем при дальнейшем увеличении концентрации угольной пыли резко падает. Однако, начиная от 200 г/м³, наблюдается

повторный рост, скорости нарастания давления при взрыве достигающий своего максимума при $\varphi=400$ г/м³ и далее происходит медленное падение dP/dt .

В результате исследования влияния концентрации пыли на давление взрыва для дальнейших исследований была выбрана концентрация каменноугольной пыли равная 100 г/м³ (см. рисунок 3.6) и продолжена работа по определению наиболее эффективных огнегасящих и взрывоподавляющих порошковых составов.

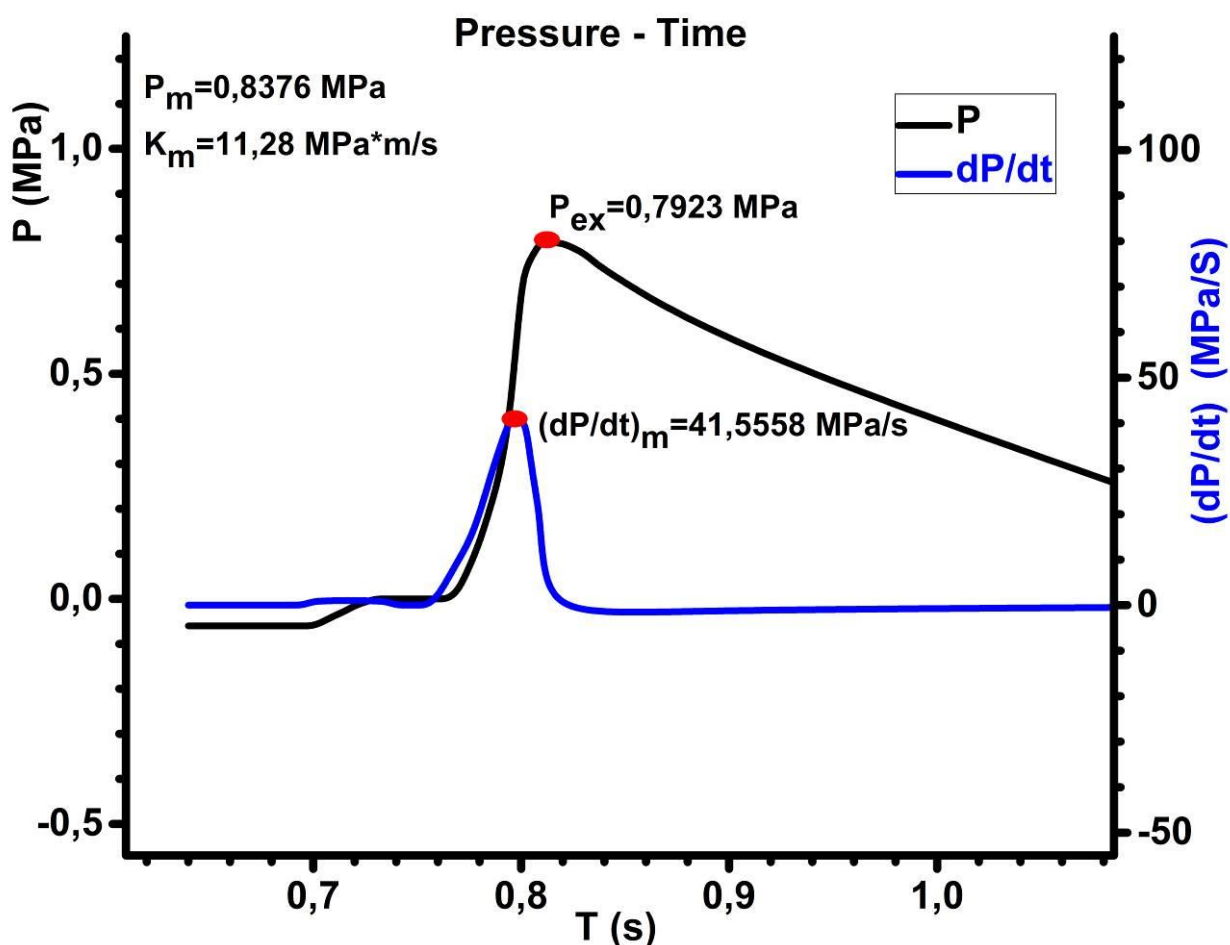


Рисунок 3.6 - График изменения давления взрыва и скорости нарастания давления взрыва от времени

На рисунке 3.6 представлен результат обработки в среде OriginPro графического отображения автоматически регистрируемых данных детонационного горения пылевоздушного аэрозоля КУП дисперсностью (фракцией) 63 – 94 мкм в 20 л взрывной камере (сфере).

В соответствии с методикой проводили три эксперимента с одним и тем же (по массе, дисперсности и т.д.) образцом КУП и строили итоговый график, в данном случае представленный на рисунке 3.5.

Согласно полученным экспериментальным данным при взрывном горении каменноугольной пыли марки КС шахты имени Дзержинского в рабочей камере создалось максимальное давление взрыва равное 0,7923 МПа (7,9 атм или 792,3 кПа), т.е. $P_{ex}=0,7923$ ($^1P_{min}=0,7684$, $^2P_{взр}=0,7719$ и $^3P_{max}=0,8376$ МПа).

Скорость нарастания давления при этом составила 41,558 МПа/с.

Рассчитанный прикладным программным обеспечением лабораторной установки трансформационный коэффициент (K_m) составил 11,28 МПа*м/с.

Согласно данным, изложенным в [41], зная коэффициент трансформации, можно рассчитать скорость нарастания давления взрыва в любых объемах, в том числе и в горных выработках.

3.3 Экспериментальные исследования влияния различных типов флегматизаторов и ингибиторов на взрыв ПВС

На основании данных, полученных ранее, в качестве эталонной пыли для проведения испытаний, направленных на исследование влияния флегматизаторов и ингибиторов на взрывчатость взвешенной в воздухе каменноугольной пыли, был выбран образец сверкатегорийной шахты им. Дзержинского.

По описанной выше методике были проведены лабораторные испытания по определению эффективности действия ингибирующих и флегматизирующих добавок. Испытания включают в себя следующую последовательность операций: в угольную пыль, фракционный состав и концентрация которой соответствуют максимальному давлению взрыва, поочередно (путём тщательного перемешивания) добавляют различные виды ингибиторов (флегматизаторов), выбранные для исследования. С каждым из выбранных ингибиторов производят по 10 попыток воспламенения угольной пылевоздушной смеси с шагом концентрации в ней ингибитора 10% от массы угольной пыли.

Результатом проведенного единичного испытания является кривая давления-времени (рисунок 3.8), позволяющая определить давление взрыва и скорость его нарастания. Значение скорости нарастания давления характеризует скорость высвобождения энергии взрыва и применяется при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности технологических процессов в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010.

Затем по данным значений, полученных в результате испытаний, строят график зависимости (рисунок 3.9) давления взрыва (P , МПа) от концентрации ингибитора (C , %). Анализ графика позволяет определить наиболее эффективный из исследуемых ингибиторов и его оптимальную концентрацию.

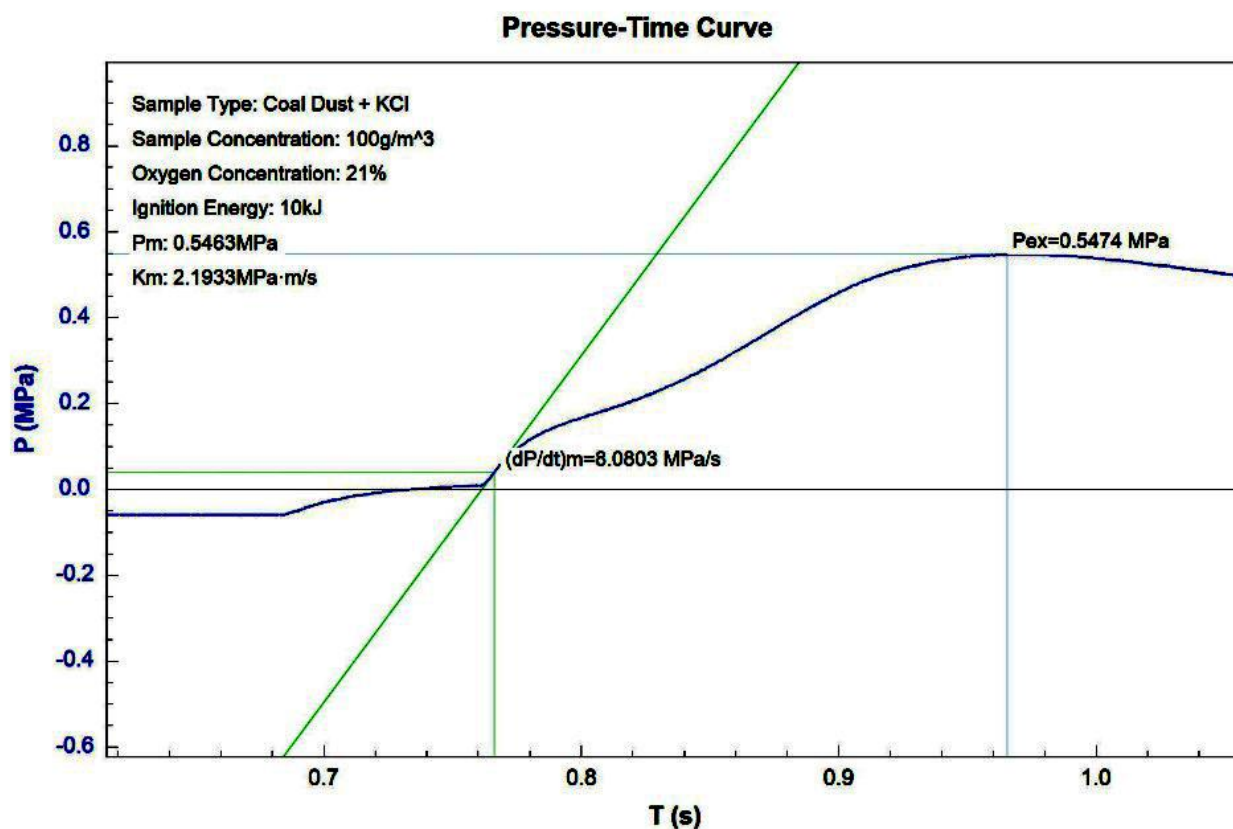


Рисунок 3.7 - Результат проведения единичного испытания – $C_{y2} = 100 \text{ г/м}^3$, $C_{onc.}(\text{KCl}) = 75 \text{ г/м}^3$.

В связи с процессом охлаждения и эффектов давления, вызванных химическими воспламенителями в 20-литровой камере по сравнению с эталонной камерой в 1 м^3 , измеренное давление взрыва P_{ex} пересчитывают по следующей формуле:

$$P_m = 0,755 \cdot P_{ex}^{1.15},$$

Таким образом, получают скорректированное давление взрыва.

Объектами исследования были выбраны следующие пламегасящие составы, основные технические характеристики которых представлены в таблицах ниже.

Результаты визуализации результатов испытаний с помощью прикладного программного обеспечения «ExTest» представлены на рисунках 3.8 – 3.17.

Таблица 3.3 - Огнетушащий порошок общего назначения торговой марки «ВЕКСОН®-АВС 70 Модуль» (ТУ 2149-238-10968286-2011)

Основной компонент		Аммоний фосфат
Насыпная плотность неуплотненного порошка	кг/м ³	900±70
Гранулометрический состав	% масс.	24±8
Более 100 мкм		50±8
Менее 50 мкм		
Содержание влаги	% масс.	Не более 0,30
Температура эксплуатации и хранения	°С	-50 до +50
Водоотталкивающие свойства		Обладает высокой способностью к водоотталкиванию. Все компоненты, входящие в состав огнетушащего порошка обработаны специальной антислеживающей добавкой

Таблица 3.4 - Инертная пыль марки ПИГ (ГОСТ Р 51569-2000)

Наименование показателя	Норма для марки	
	ПИГ	ПИИ
1 Массовая доля оксида кальция, %, не менее	51,0	
2 Массовая доля оксида магния, %, не более	2,5	
3 Массовая доля суммы полуторных оксидов железа и алюминия, %, не более	5,0	
4 Массовая доля диоксида кремния, %, не более	3,0	
5 Массовая доля фосфора, %, не более	0,06	
6 Массовая доля мышьяка, %, не более	0,003	
7 Массовая доля влаги, %, не более	1,0	2,0
8 Массовая доля горючих веществ, %, не более	0,5	1,0
9 Гранулометрический состав, %, не более:		
остаток на сите 016	15,0	25,0
остаток на сите 0063	50,0	50,0
10 Степень гидрофобизации:		
удовлетворительная	0,3	-
высокая	0,5	-

Продолжение таблицы 3.4

11 Горючесть	Группа негорючих материалов	
12 Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	0,45-1,00	-
13 Взвешиваемость в воздухе, %:		
удовлетворительная, не менее	70	-
средняя	50-70	-

Таблица 3.5 - Калий хлористый химически чистый (ГОСТ 4234-77)

Наименование показателя	Химически чистый (х.ч.)
1. Массовая доля хлористого калия (KCl) в прокаленном препарате, %, не менее	99,8
2. Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более	0,005
3. Массовая доля потерь при прокаливании, %, не более	0,5
4. Массовая доля свободных кислот (HCl), %, не более	0,002
5. Массовая доля свободных щелочей (KOH), %, не более	0,003
6. Массовая доля общего азота (N), %, не более	0,0005
7. Массовая доля сульфатов (SO ₂), %, не более	0,002

Продолжение таблицы 3.5

8. Массовая доля фосфатов (PO ₄), %, не более	0,0005
9. Массовая доля хлоратов и нитратов (ClO ₃), %, не более	0,0012
10. Массовая доля бария (Ba), % не более	0,001
11. Массовая доля железа (Fe), %, не более	0,0001
12. Массовая доля магния (Mg), %, не более	0,0005
13. Массовая доля мышьяка (As), %, не более	0,00004
14. Массовая доля тяжелых металлов (Pb), %, не более	0,0005
15. Массовая доля натрия (Na), %, не более	0,2
16. Массовая доля кальция (Ca), %, не более	0,001

88

Таблица 3.6 - Карбамид (ГОСТ 2081-2010)

Наименование показателя	Норма
1 Массовая доля азота в пересчете на сухое вещество, %, не менее	46,0
2 Массовая доля биурета, %, не более	3,0
3 Массовая доля свободного аммиака, %, не более	0,03
4 Массовая доля гигроскопической воды, %, не более	0,3

Таблица 3.7 - Состав на основе карбамида и хлористого калия (в соотношении 1:3)

№ п/п	Наименование показателя	Фактическое содержание, %
1	Массовая доля карбамида (CH ₄ N ₂ O)	не менее 70
2	Массовая доля хлористого калия (KCl)	26
3	Гидрофобизирующая добавка (аэросил)	не более 1
4	Массовая доля влаги, %, не более	0,35
5	Количество частиц размером менее 40 мкм	не менее 70

Таблица 3.8 - Состав на основе карбамида и хлористого калия (в соотношении 1:1)

№ п/п	Наименование показателя	Фактическое содержание, %
1	Массовая доля карбамида (CH ₄ N ₂ O)	49
2	Массовая доля хлористого калия (KCl)	49
3	Гидрофобизирующая добавка (аэросил)	1
4	Массовая доля влаги, %, не более	0,35
5	Количество частиц размером менее 40 мкм	не менее 70

Таблица 3.9 - Состав на основе хлористого калия, карбамида и огнетушащего порошка «ВЕКСОН®-АВС 70 Модуль»

№ п/п	Наименование показателя	Фактическое содержание, %
1	Массовая доля карбамида (CH ₄ N ₂ O)	37
2	Массовая доля хлористого калия (KCl)	37
3	Массовая доля порошка «ВЕКСОН®-АВС 70 Модуль»	25
4	Гидрофобизирующая добавка (аэросил)	1
5	Массовая доля влаги, %, не более	0,35
6	Количество частиц размером менее 40 мкм	не менее 70

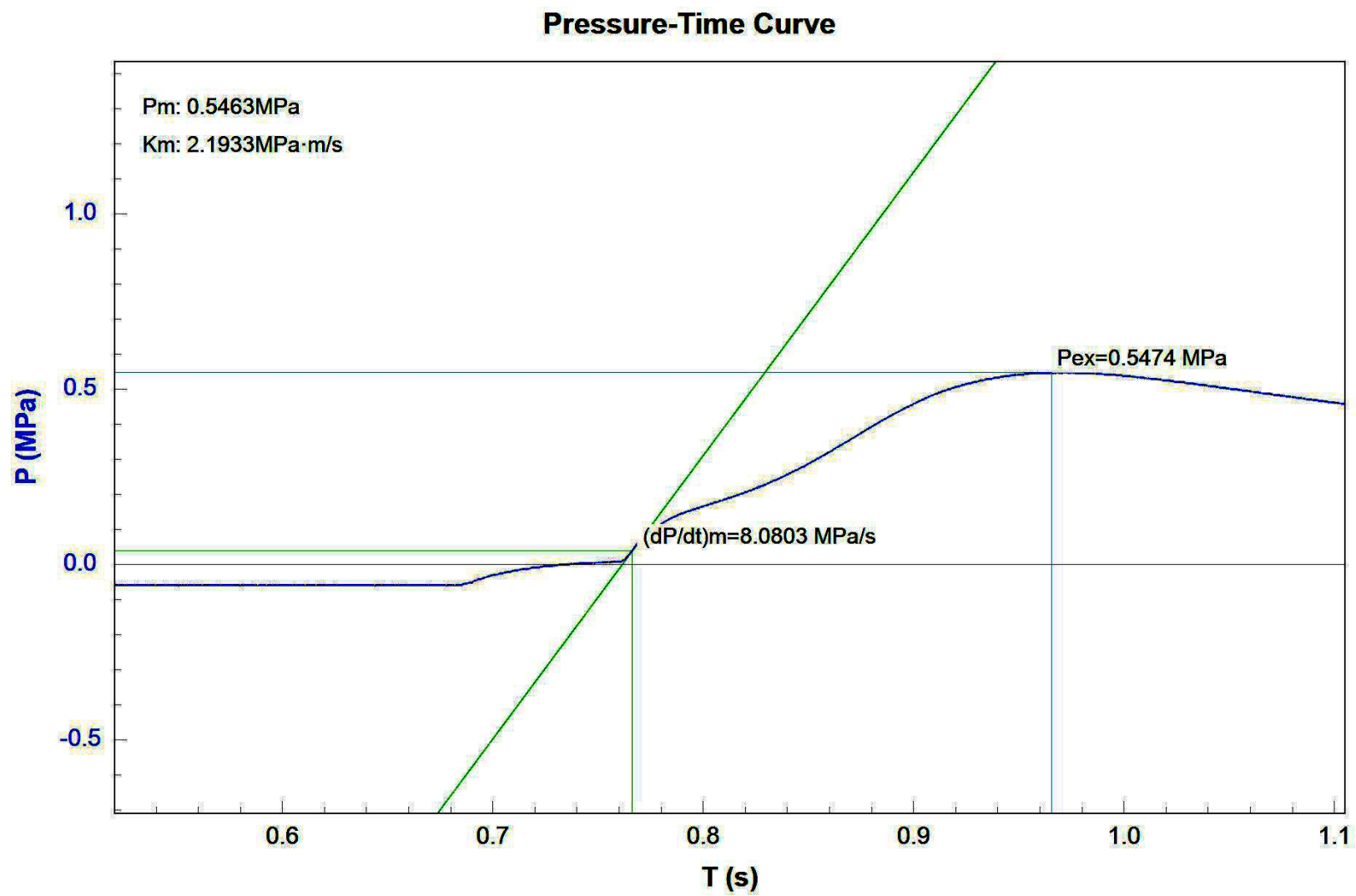


Рисунок 3.8 – Кривая давления – времени, $C_{\text{опс.}}$ (инертная пыль) – 500 г/м^3

Pressure-Time Curve

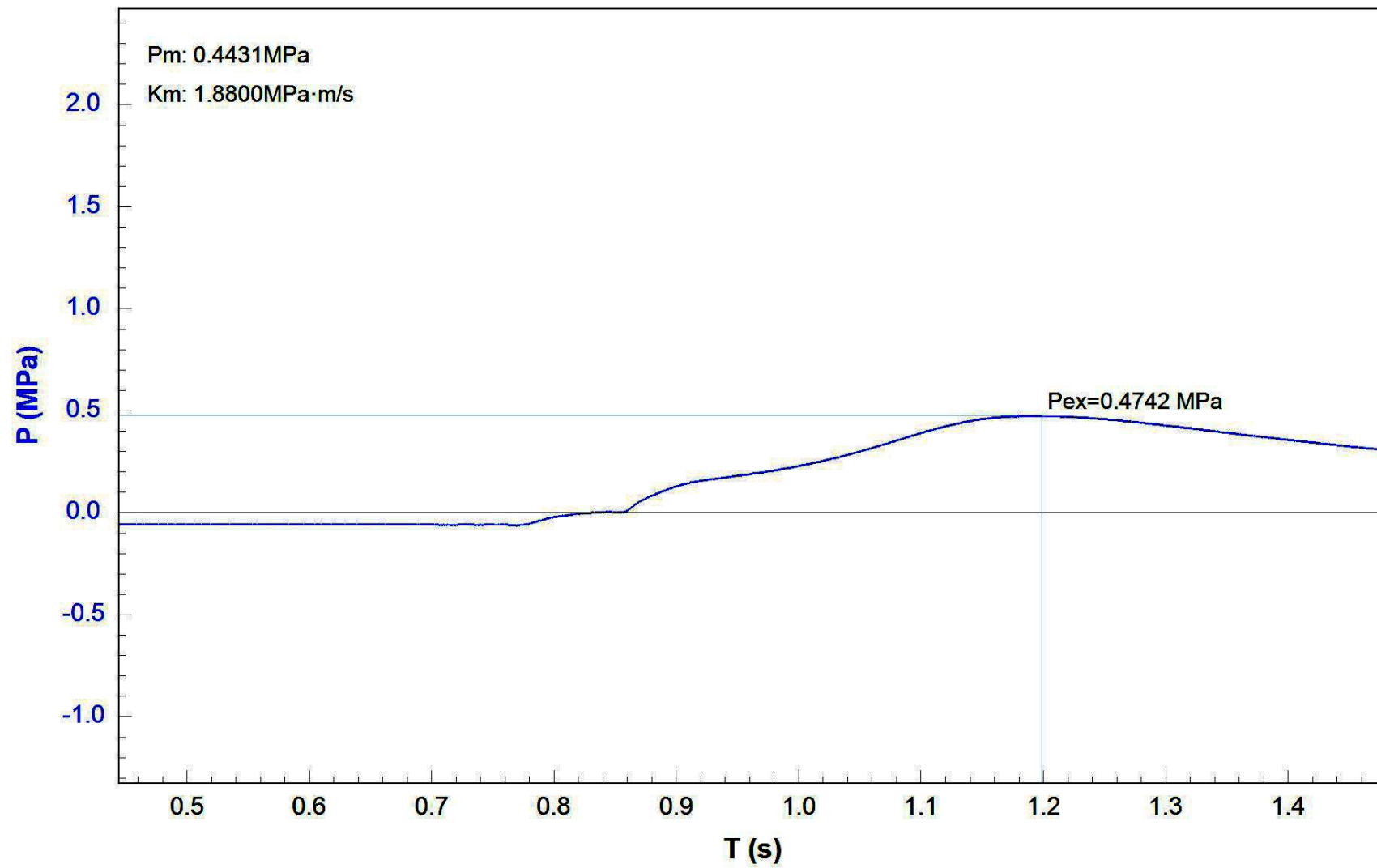


Рисунок 3.9 – Кривая давления – времени, $C_{onc.}$ (инертная пыль) – 600 г/м^3

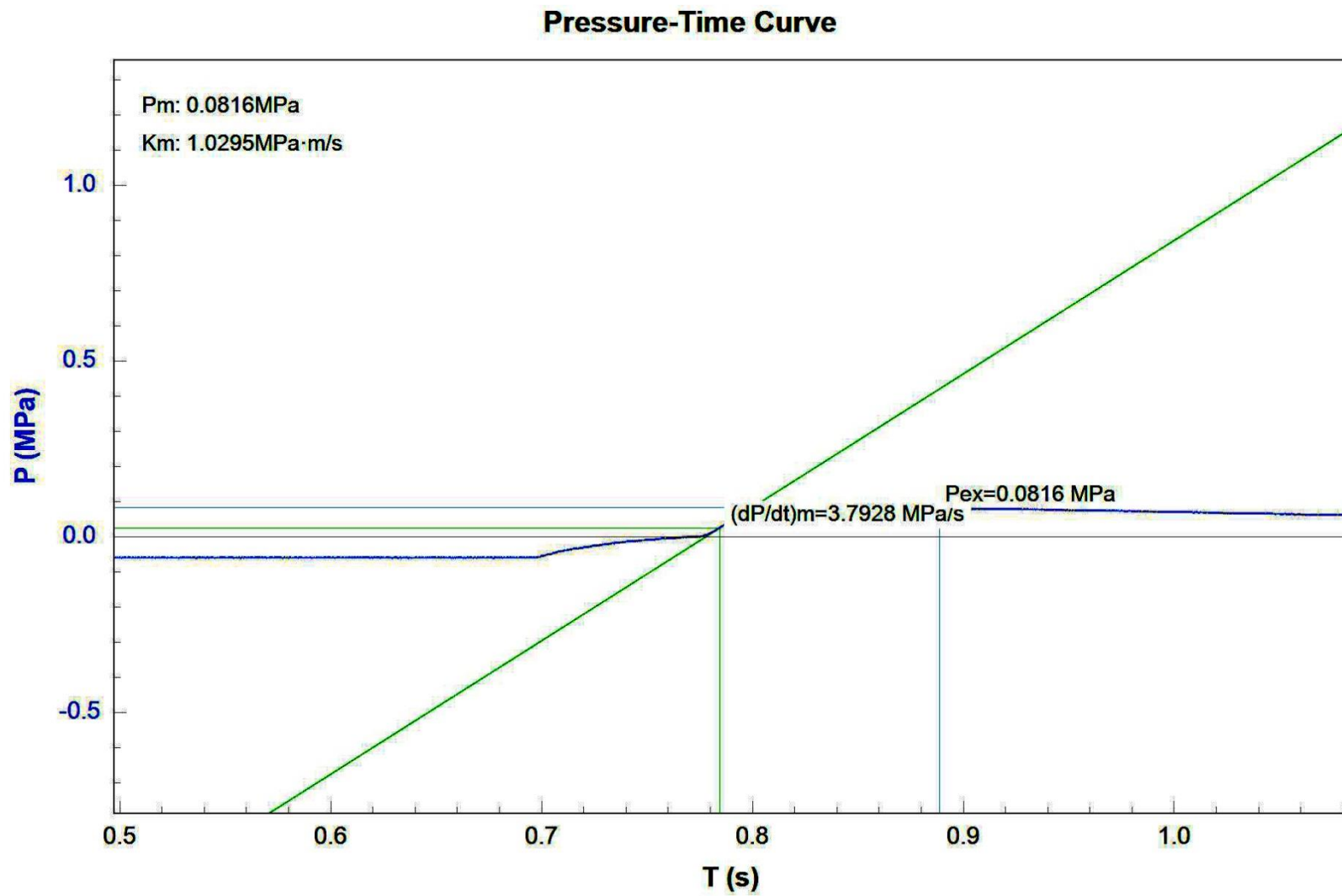


Рисунок 3.10 – Кривая давления – времени, $C_{onc.}$ (инертная пыль) – 800 г/м³

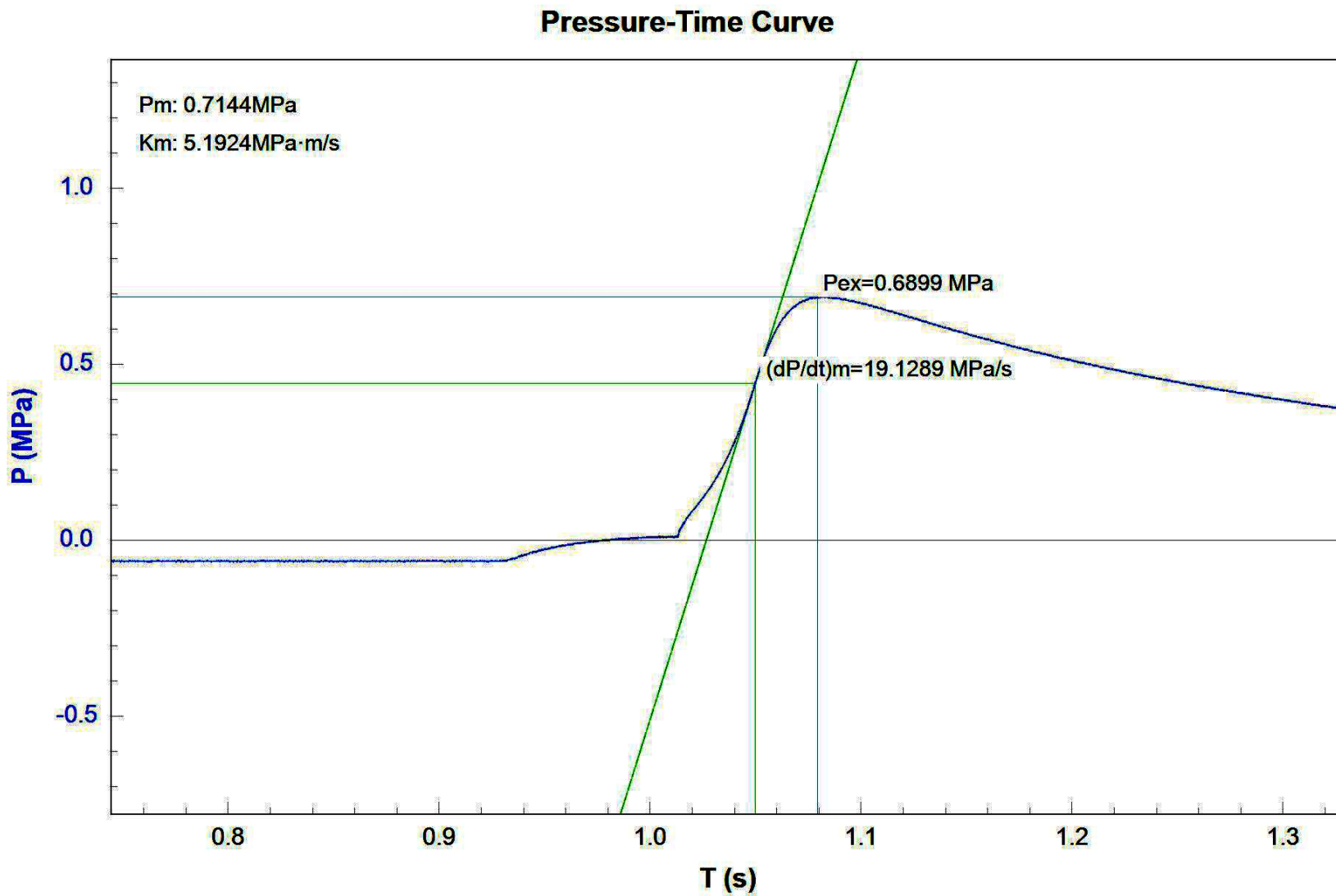


Рисунок 3.11 – Кривая давления – времени, $C_{onc.}$ («Вексон-АВС») – 150 г/м³

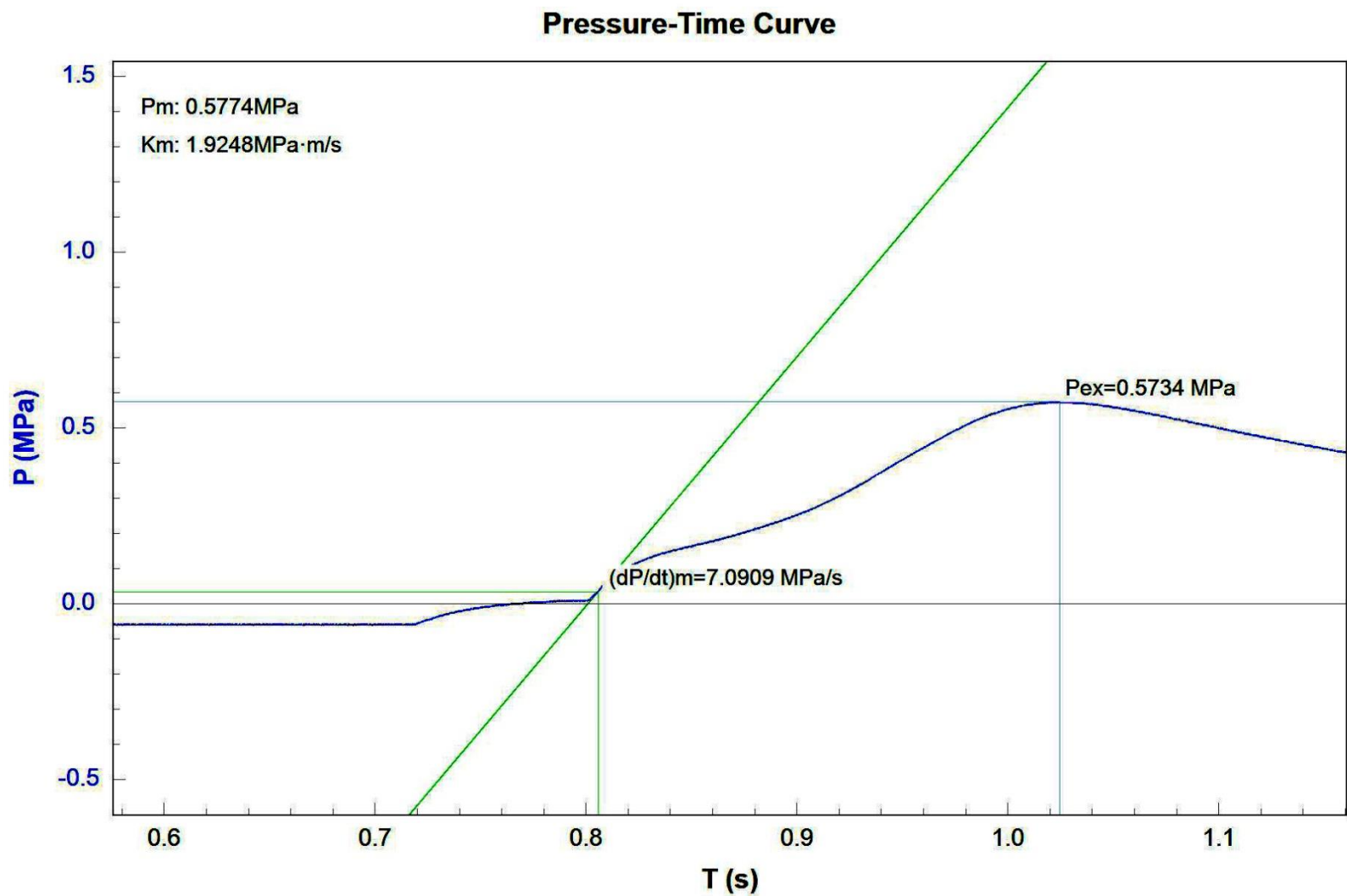


Рисунок 3.12 – Кривая давления – времени, $C_{onc.}$ («Вексон-АВС») – 200 г/м³.

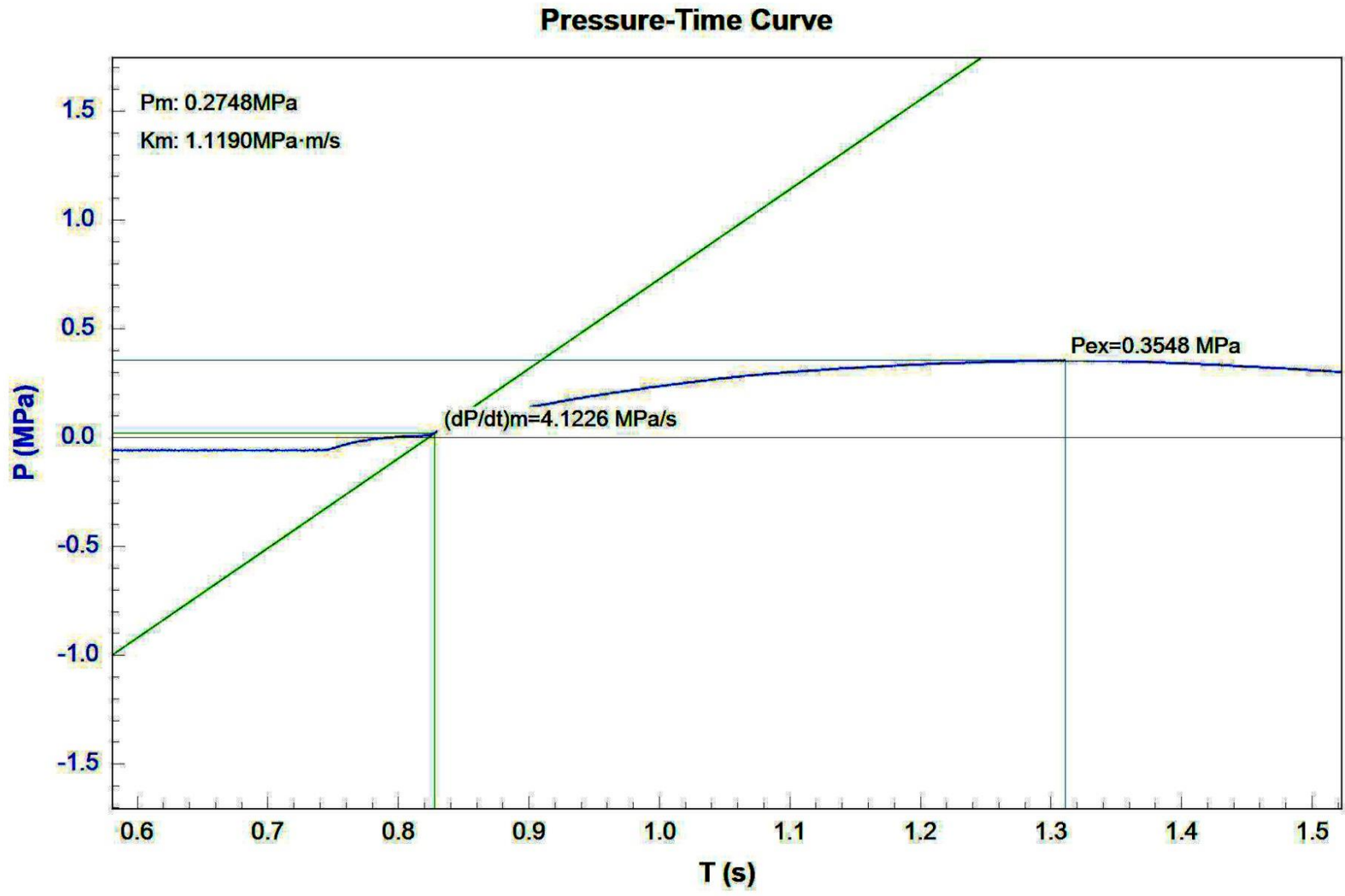


Рисунок 3.13 – Кривая давления – времени, $C_{onc.}(\text{KCl}) = 150 \text{ г/м}^3$.

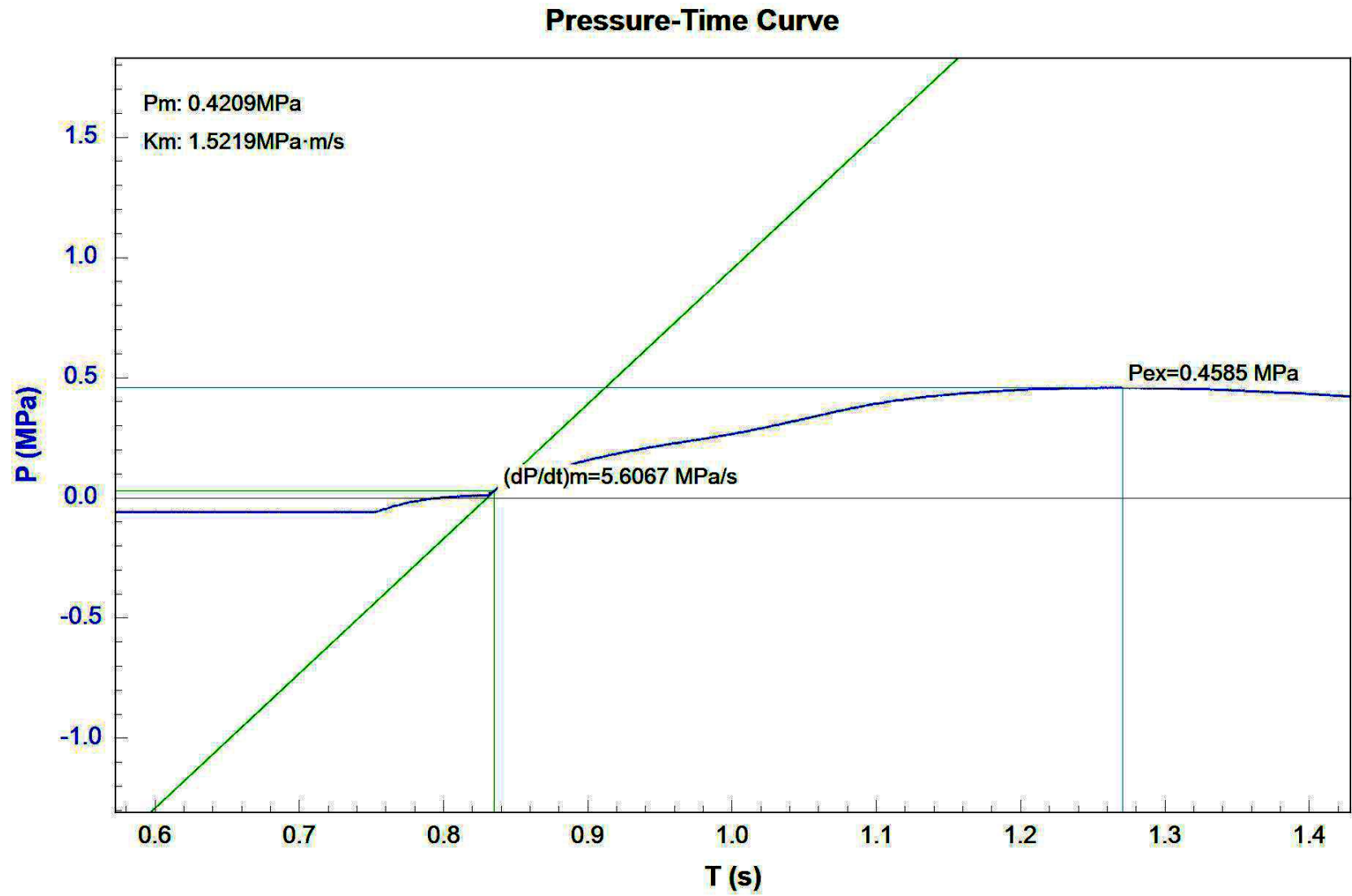


Рисунок 3.14 – Кривая давления – времени, $C_{onc.}$ (Карбамид) – 150 г/м³.

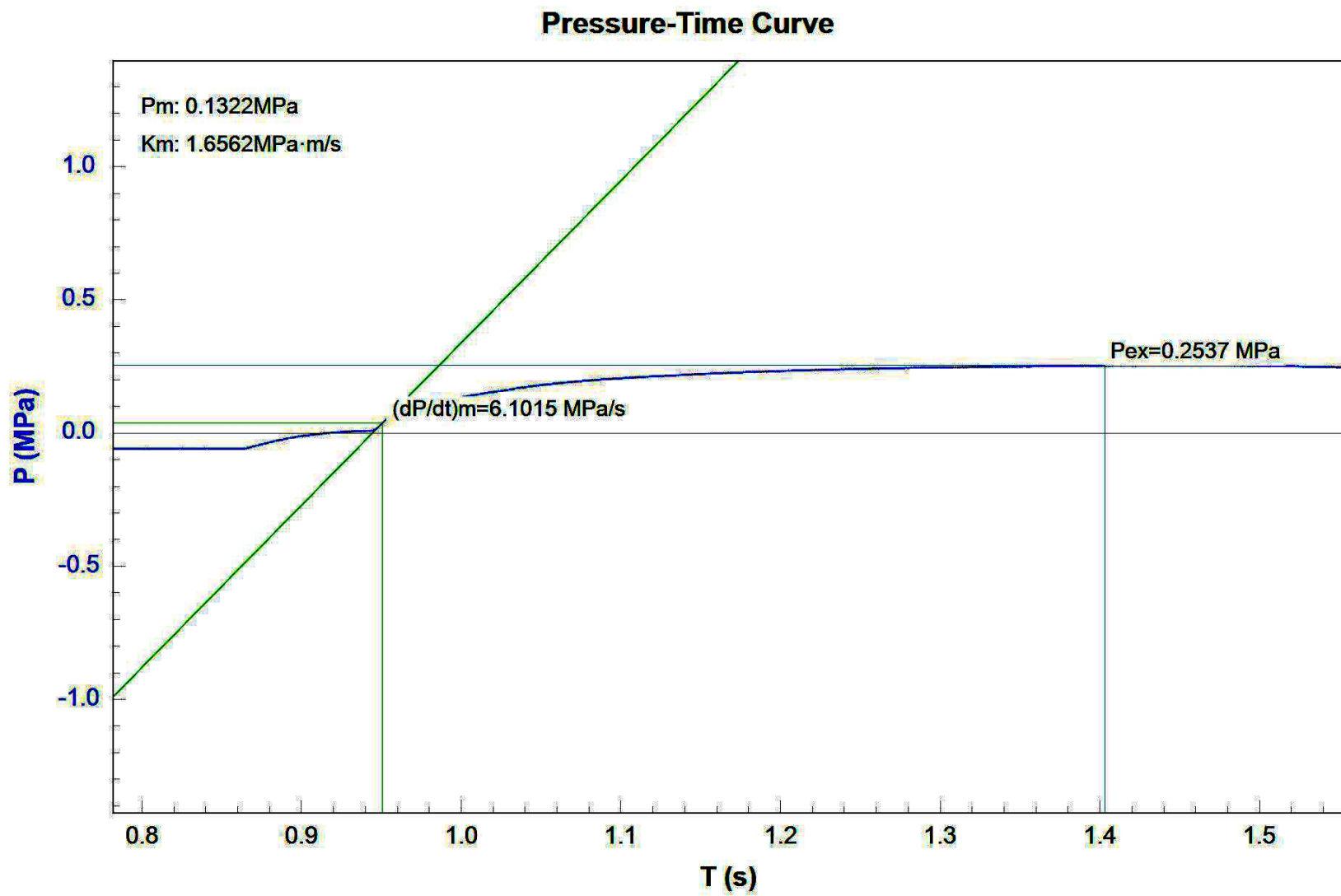


Рисунок 3.15 – Кривая давления – времени, $C_{onc.}$ (50% NH_4N_2O /50% KCl) – 150 г/м³.

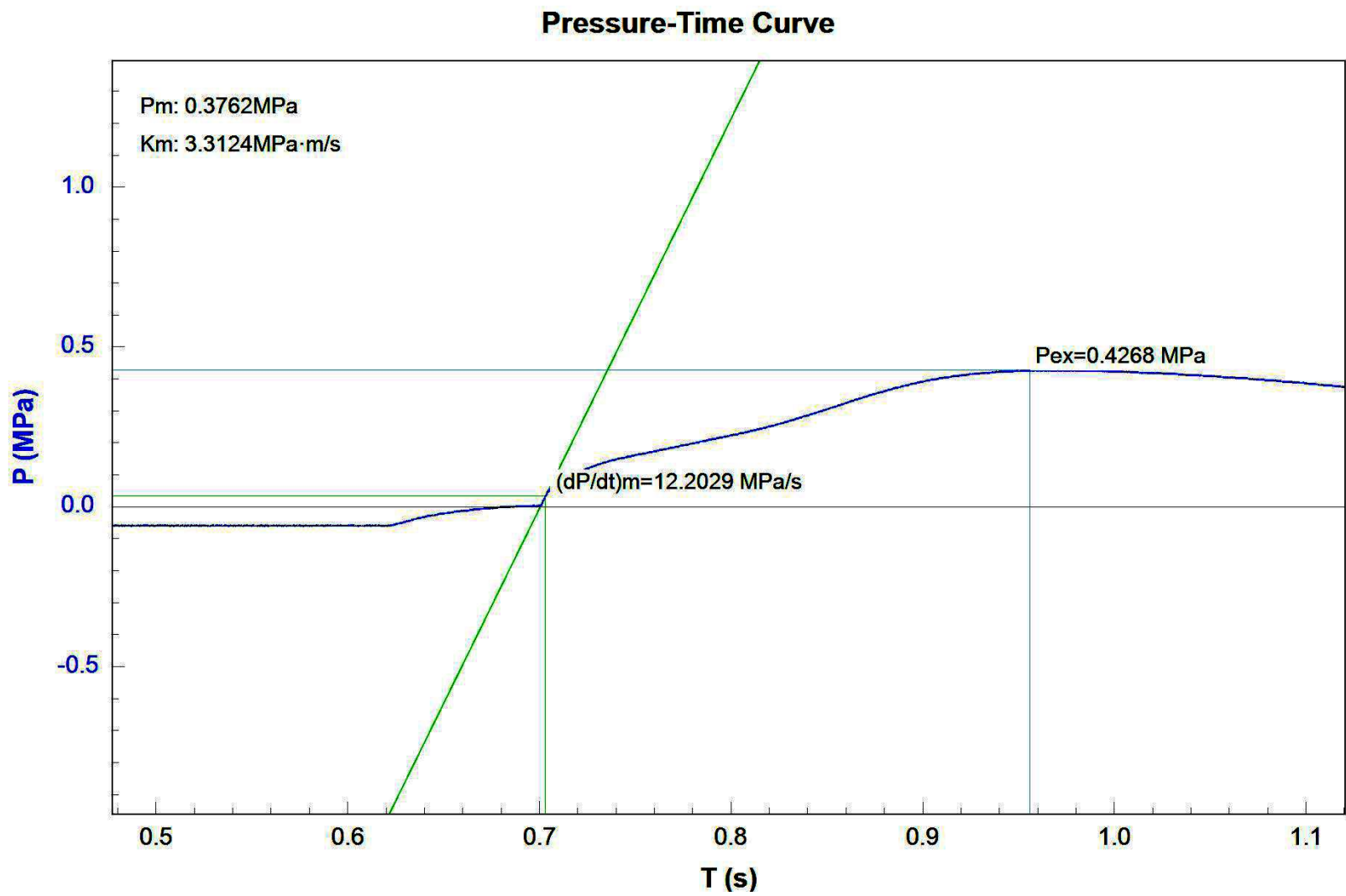


Рисунок 3.16 – Кривая давления – времени, $C_{onc.}$ (37,5% NH_4N_2O /37,5% KCl /25% «Вексон-ABC») – 150 г/м³.

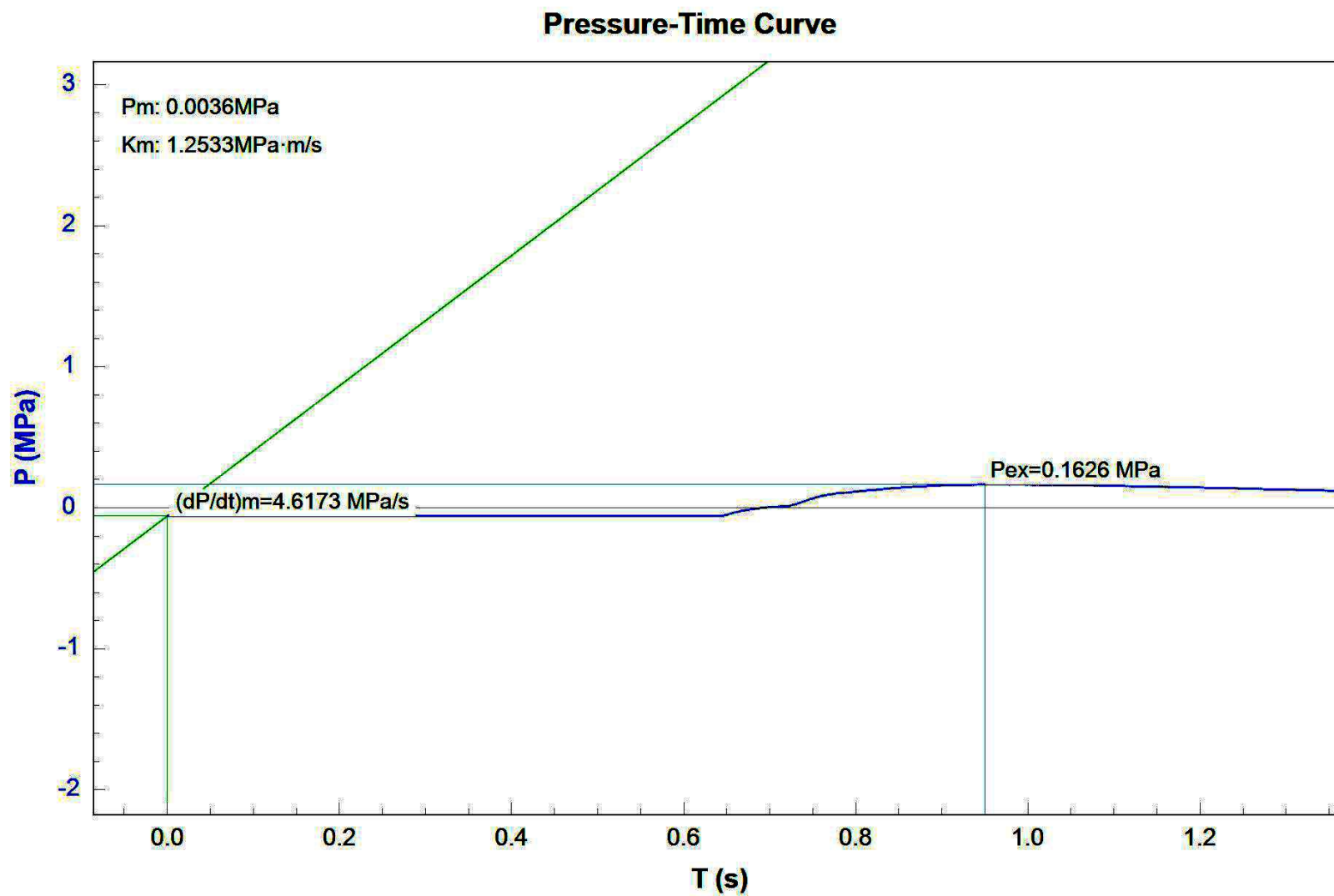


Рисунок 3.17 – Кривая давления – времени, $C_{onc.}$ (75% $\text{NH}_4\text{N}_2\text{O}$ /25% KCl) – 150 г/м³.

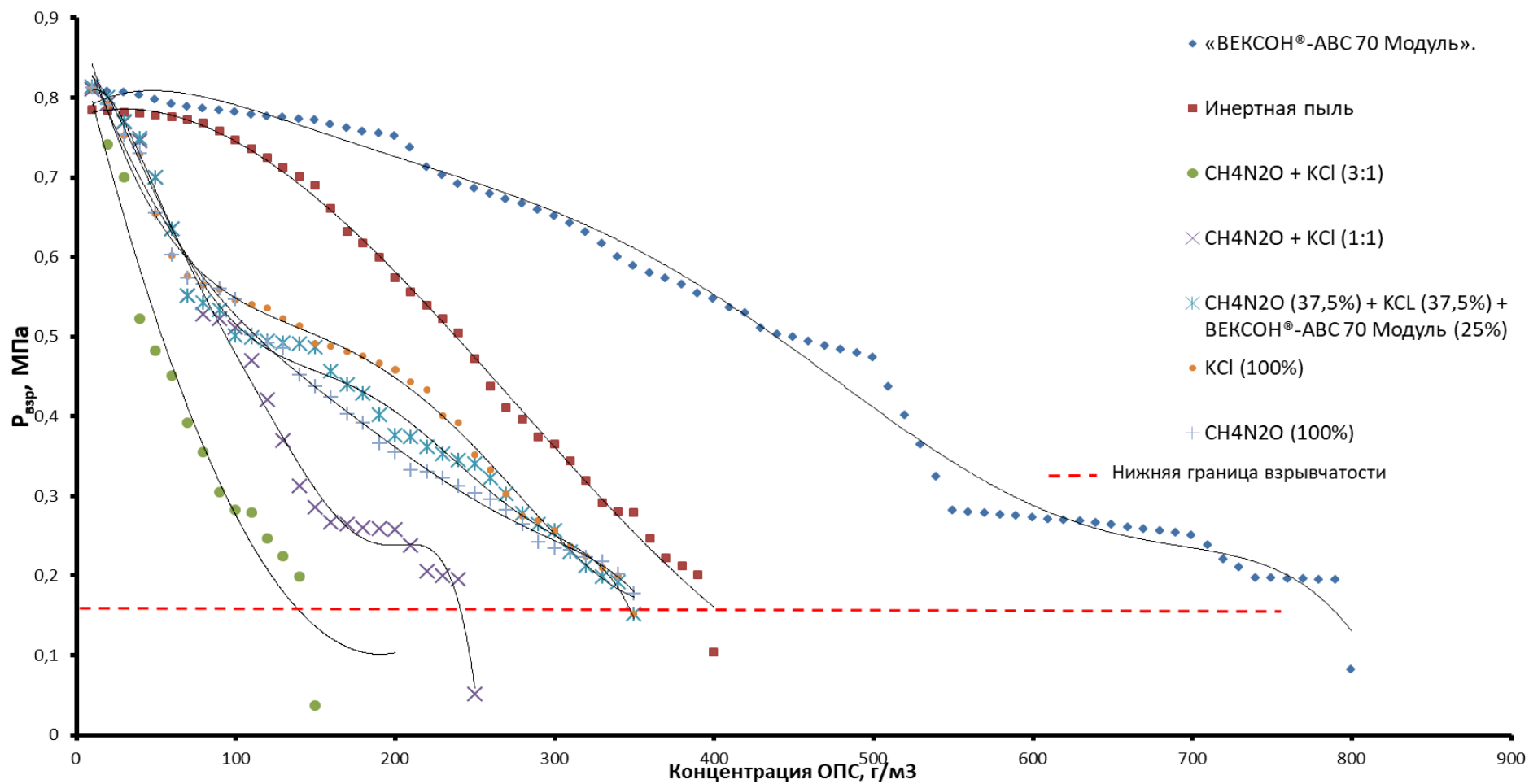


Рисунок 3.18 - Итоговый график зависимости давления взрыва от концентрации ОПС

Согласно полученным данным (рисунок 3.18), наибольшей взрывоподавляющей эффективностью обладает состав на основе карбамида и хлористого калия (в соотношении 1:3). Кроме того, анализ графических данных позволяет сделать вывод о пороговом характере процесса взрывоподавления, таким образом, для локализации взрыва на всём защищаемом объёме должна быть достигнута минимальная взрывоподавляющая концентрация пламегасящего состава.

Как известно, пламегасящая эффективность порошковых составов увеличивается с увеличением удельной площади поверхности частиц ОПС, т.е. с уменьшением фракции порошка. Проведенные испытания (рисунок 3.19) показали, что максимальная дисперсность предлагаемого порошкового состава не должна превышать 40 мкм.

С другой стороны, слишком тонкодисперсный порошок в составе огнепреграждающего облака может быть унесён УВВ из зоны реакции и не проявить влияния на локализацию взрыва. Ввиду этого факта, был рекомендован состав с массовой долей частиц порошка менее 40 мкм не более 70%.

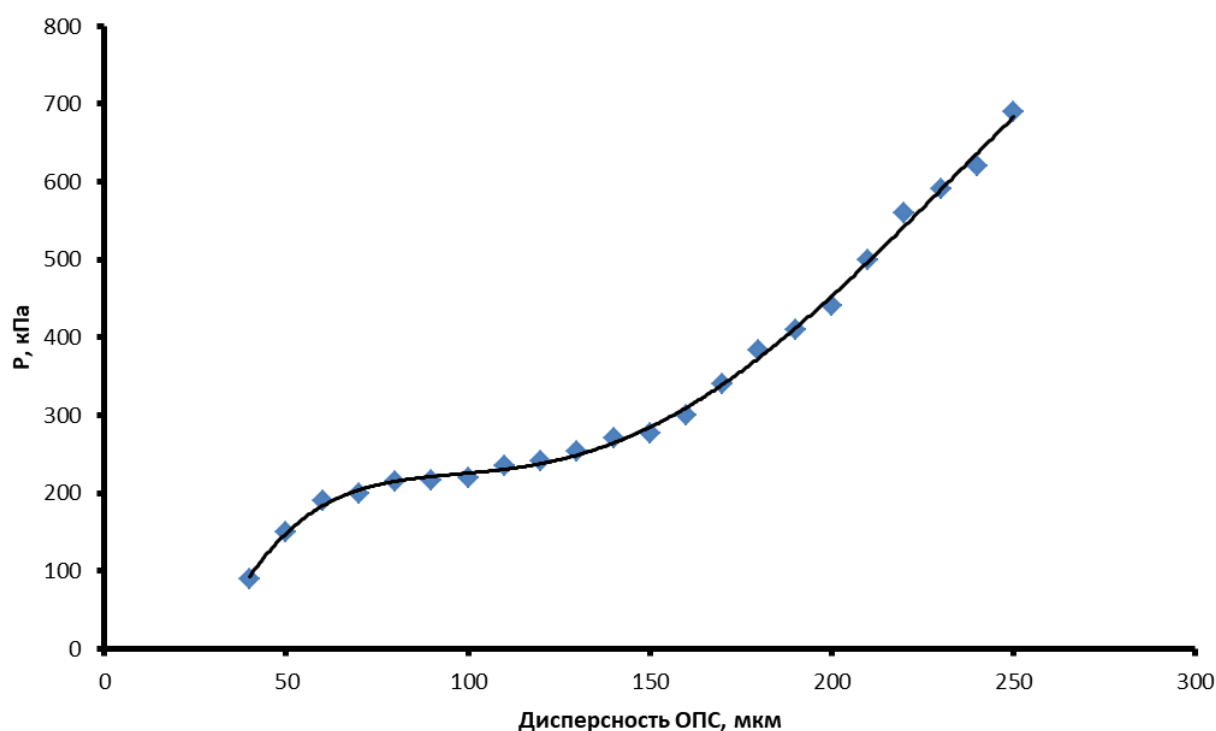


Рис.3.19 - График зависимости давления взрыва от дисперсного состава ОПС

Результаты экспериментальных данных, полученных при сравнении взрывоподавляющей эффективности огнетушащего порошка общего назначения торговой марки «ВЕКСОН®-ABC 70 Модуль» (Патент РФ №2159138, А62D1/00, 2000), на основе аммофоса (моно- и диаммонийфосфата) и сульфата аммония с составом на основе хлорида калия, имеющего высокие ингибирующие свойства, и карбамида, обладающего высокой скоростью разложения, показывают значительное преимущество последнего (таблица 3.10, рисунок 3.20).

Таблица 3.10 - Пламегасящая эффективность ОПС «ВЕКСОН®-АВС 70 Модуль»

№ опыта	Масса ОПС, г	Концентрация ОПС, г/м ³	«ВЕКСОН®-АВС 70 Модуль»		KCl + CH ₄ N ₂ O	
			P, МПа	(dP/dt) _m , МПа/с	P, МПа	(dP/dt) _m , МПа/с
1	1,5	75	0,7724	24,2409	0,5315	6,9822
2	3	150	0,6899	19,1289	0,2258	4,6173
3	4	200	0,5734	7,0909	0,0360	3.0102
4	6	300	0,3644	4,9471	—	—
5	8	400	0,1038	4,6173	—	—

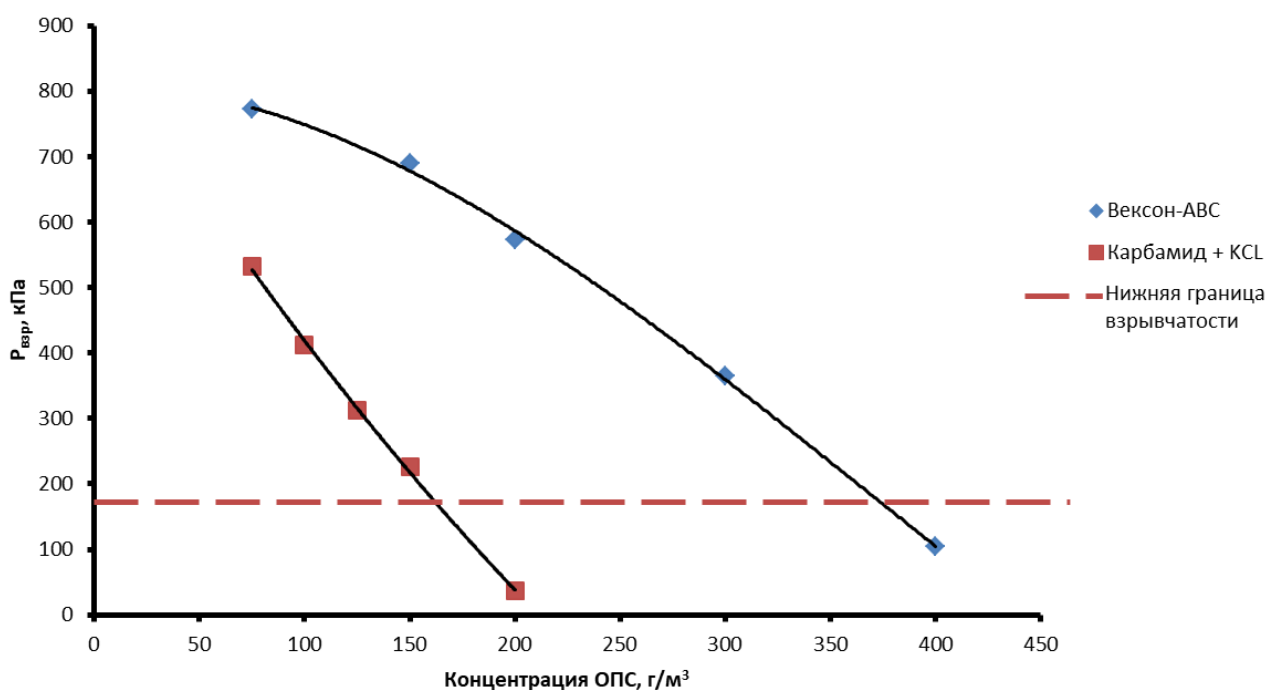
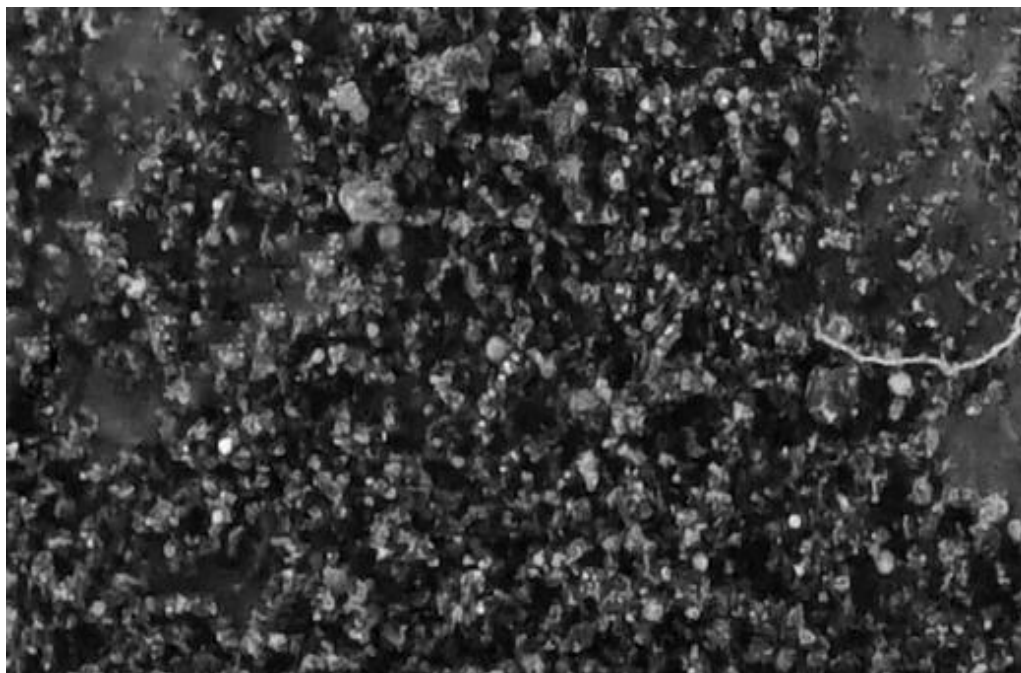


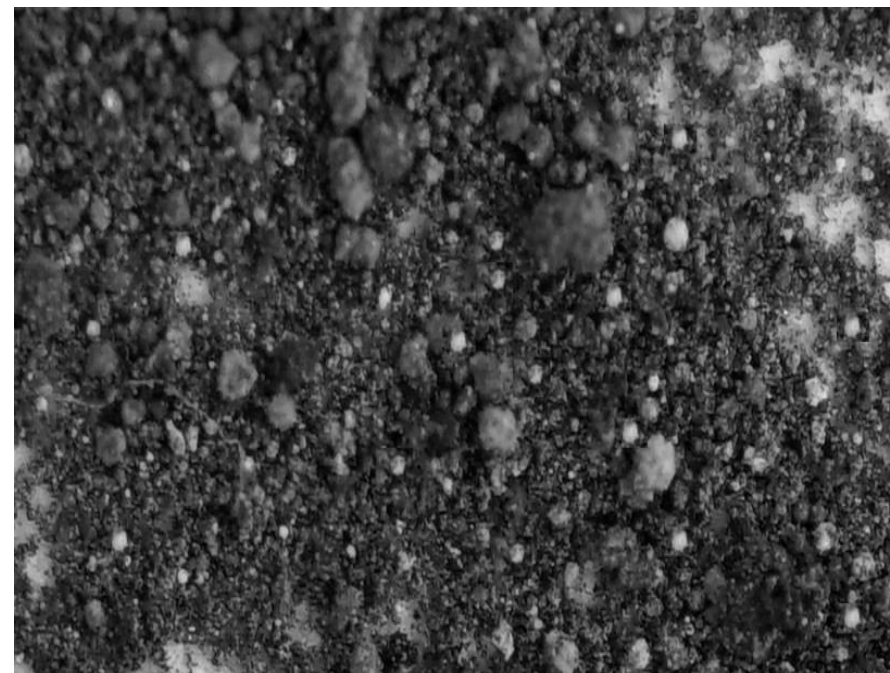
Рисунок 3.20 - График зависимости давления взрыва угольной пыли от концентрации ОПС

Стоит также отметить, что в условиях быстропротекающего процесса взрывного горения или детонации угольной пыли, ОПС на основе аммофоса теряют одно из своих важных преимуществ в гашении пламени – способность изолировать твёрдую тлеющую поверхность частиц угольной пыли от доступа кислорода вязкой плёнкой плава. Полимеризация низших фосфатов до соединений типа $\text{NH}_4\text{H}_6\text{P}_5\text{O}_{16}$, образующих вязкие плёнки, не успевает произойти (рисунок 3.21).

Приведенные на рисунке 3.21 результаты макросъёмки угольной пыли, свидетельствуют об отсутствии в условиях взрывного горения оплавленных (светлые скруглённые точки на фото) частичек угольной пыли, присутствующих при тушении горения угольной пыли в печи, что, в свою очередь, подтверждает утверждение, отмеченное ранее.



а)



б)

Рисунок 3.21 - Каменноугольная пыль после: а) взрывного горения в лабораторной установке с добавлением ОПС «ВЕКСОН®-АВС 70 Модуль» б) горения в лабораторной печи с последующим тушением ОПС «ВЕКСОН®-АВС 70 Модуль».

3.4 Выводы по главе 3

В ходе проведенных экспериментальных лабораторных исследований получены следующие результаты:

1. Обоснован выбор энергии зажигания пиротехнических воспламенителей для проведения испытаний. Показано, что использование пиротехнического воспламенителя с $Q_{воспл} = 5 \text{ кДж}$ входит в область стабильного воспламенения и взрыва угольной пыли и является наиболее оптимальным вариантом для проведения лабораторных испытаний в сферической взрывной камере объемом 20 литров.
2. Экспериментально исследованы взрывоопасные характеристики каменноугольной пыли и установлено, что большей взрывоопасностью обладает каменноугольная пыль ш. им. Дзержинского. Определено, что большим максимальным давлением взрыва обладают фракции пыли дисперсностью 63-94 мкм при концентрации пыли 100 г/м^3 .
3. Научно обоснован выбор дисперсной фракции пыли для проведения экспериментальной научно-исследовательской работы по отработке вопроса изучения влияния флегматизаторов и ингибиторов, на процесс воспламенения и взрыва угольной пыли различной дисперсности.
4. Установлена возможность повторного роста (увеличения) скорости нарастания давления при взрыве, наблюдаемая в области высоких концентраций. Максимальная скорость нарастания давления при взрыве составила $(dP/dt)=41,558 \text{ МПа/с}$, при $\varphi= 100 \text{ г/м}^3$. Повторный рост скорости установлен с $\varphi=200 \text{ г/м}^3$ и до $\varphi=400 \text{ г/м}^3$, при этом $(dP/dt)=40,5 \text{ МПа/с}$, что не намного ниже пика при $\varphi= 100 \text{ г/м}^3$.
5. Экспериментально установлено, что из ряда исследованных пламегасящих составов наибольшей взрывоподавляющей

эффективностью обладает состав на основе карбамида и хлористого калия (в соотношении 1:3).

6. Доказано, что пламегасящий состав на основе карбамида и хлористого калия концентрацией 150 г/м^3 и дисперсностью не более 40 мкм эффективно предотвращает взрыв угольной пыли.
7. Обоснована необходимость учёта времени разложения ОПС во фронте пламени при их выборе для снаряжения в автоматических системах взрывоподавления-локализации взрывов.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ФЛЕГМАТИЗАТОРОВ И ИНГИБИТОРОВ В СОСТАВЕ СРЕДСТВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ ПВС.

4.1 Обоснование выбора системы АСВП-ЛВ в качестве средства локализации взрывов ПВС.

Как ранее упоминалось в первой главе работы, на сегодняшний день наиболее совершенным с технической точки зрения автоматическим заслоном, является разработанная ЗАО «МВК по Взрывному делу» автоматическая система взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ. Технические характеристики системы представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Технические характеристики АСВП-ЛВ

Параметр	Значение
Длина создаваемого взрыволокализирующего заслона (облака огнетушащего порошка)	не менее 30 м
Минимальная чувствительность срабатывания системы (давление на фронте ударно-воздушной волны)	0,02 МПа
Инерционность срабатывания системы	15-20 мс
Масса огнетушащего порошка	Не менее 25 кг
Объем рабочей полости	3290 см ³
Рабочее давление сжатого воздуха в рабочей полости	9.8-13.8 МПа (100-140 кгс/см ²)
Масса системы	не более 89 кг

Низкая инерционность срабатывания системы позволяет локализовать взрыв со скоростью ударно-воздушной волны вплоть до 660 м/с (таблица 4.2).

Таблица 4.2 - Область применения взрыволокализирующих заслонов по стадиям взрыва

	Стадии развития взрыва пылегазовоздушных смесей в горных выработках угольных шахт							
	Горение	Вспышка	Балансирующие взрывы	Слабые взрывы в начальной стадии их развития	Слабые взрывы	Сильные взрывы в начальной стадии их развития	Сильные взрывы	Детонационный взрыв
Характер протекания	Свободное горение в ограниченном объеме	Медленное распространение в ограниченном объеме	Вялое распространение с остановками	Распространение со скачками скорости	Распространение со скачками скорости	Бурное распространение	Бурное распространение с ускорением	Очень бурное распространение с предельной скоростью
Избыточное давление на фронте ударно-воздушной волны (УВВ), МПа	< 0,01	0,01 + 0,02	0,02 + 0,06	0,06 + 0,15	0,15 + 0,3	0,3 + 0,65	0,65 + 1,70	> 1,70
Скорость распространения ударно-воздушной волны (УВВ), м/с	0	< 367	< 416	416 + 500	500 + 635	635 + 1000	1000 + 1500	1500 + 2500
Скорость распространения фронта пламени (ФП), м/с	< 1	1 + 40	40 + 100	100 + 250	250 + 340	340 + 660	660 + 1000	1000 + 2500
Область применения взрыволокализирующих заслонов								
Сланцевые заслоны	(скорость ФП 80-235 м/с)							
Водяные заслоны	(скорость ФП 85-285 м/с)							
АСВП-ЛВ.1М	(скорость ФП 40-500 м/с)							

Система АСВП-ЛВ функционирует без необходимости в элементах питания или подвода электроэнергии [11]. Срабатывание заслона происходит при воздействии ударно-воздушной волны на приёмный щит, после чего осуществляется выброс огнегасящего состава, который полностью перекрывает всё сечение горной выработки до момента прихода фронта пламени.

К системам АСВП-ЛВ отсутствует необходимость применения регламентов обслуживания сосудов, работающих под высоким давлением ввиду специально разработанных конструктивных параметров.

Автоматические системы АСВП-ЛВ применяются для защиты:

- конвейерных выработок; наклонных горных выработок, в том числе с углом наклона более 18°;
- подготовительных выработок, проводимых по углю или по углю и породе;
- горных выработок, оборудованных монорельсовым транспортом; очистных выработок;
- крыльев шахтного поля в каждом пласте; пожарных участков;
- подземных складов взрывчатых материалов.

Сравнительные характеристики применяемых в настоящее время в России заслонов для локализации взрывов метана и(или) угольной пыли приведены в таблице 4.3.

В МакНИИ [124] сопоставили различные системы локализации взрывов (см. таблицу 4.3) и установили следующее: - система АСВП-ЛВ по времени получения информации о воспламенении метановоздушной смеси превосходит сланцевые и водяные заслоны и практически не уступает по этому показателю системе СЛВА;

- время включения механизма, создающего взрывоподавляющее облако, в системе АСВП-ЛВ составляет 15-20 мс, что в 5 раз меньше, чем в системе СЛВА и практически в 100 раз меньше времени начала опрокидывания полок сосудов сланцевых (водяных) заслонов; - по времени формирования взрывоподавляющего облака и по общему времени его создания (до полного перекрытия сечения

выработки) система АСВП-ЛВ в десятки раз превосходит сланцевые и водяные заслоны и в несколько раз – систему СЛВА; - по чувствительности к воздействию взрыва (обнаружению последнего) система АСВП-ЛВ (минимальное давление срабатывания – 0,02 МПа) значительно превосходит сланцевые и водяные заслоны (0,05-0,07 МПа). СЛВА не реагирует на УВВ, сопровождающую взрыв метана и(или) угольной пыли, но имеет высокую чувствительность по обнаружению ИК-излучения от вспышек метана; - область применения системы АСВП-ЛВ идентична области применения сланцевых и водяных заслонов, а также дополнительно может использоваться в наклонных горных выработках с углом падения более 18° и в горных выработках, оборудованных монорельсовым транспортом.

Таблица 4.3 - Характеристики различных систем локализации взрывов

Параметры	АСВП-ЛВ	СЛВА	Заслон	
			водяной	сланцевый
Условие надежного срабатывания	Прохождение УВВ с давлением на фронте > 0.02 МПа (балансирующий взрыв)	Вспышка в непосредственной близости от выносного датчика	Прохождение УВВ с давлением на фронте > 0,06 МПа (слабый взрыв)	
Инерционность срабатывания	15-20 мс	До 100 мс	90-150 мс	250-600 мс
Время жизни сформированного заслона	Для порошков ПАГС >300 с	Для порошков ПВХ 2-3 с	до 220 мс	<1с
Область применения	Балансирующие взрывы, слабые взрывы, начало сильных взрывов	Вспышка, начало балансирующих взрывов	Слабые взрывы	
Продвижение забоя без необходимости проведения монтажных работ с системой взрывоподавления	240 м	60м	25-40 м	25-40 м
Время необслуживаемой эксплуатации	6 мес	6 мес	Постоянное обслуживание	3 мес
Потребление электроэнергии	Нет	36 В	Нет	Нет

Таким образом, в современных условиях наиболее технически совершенным устройством автоматической локализации взрывов угольной пыли является система АСВП-ЛВ, в связи с этим, применение предлагаемого пламегасящего состава на основе хлорида калия и карбамида наиболее целесообразно для снаряжения данных систем.

4.2 Обоснование применения исследуемого пламегасящего состава на основе хлористого калия и карбамида в системе АСВП-ЛВ.

Для определения эффективности применения пламегасящего состава на основе хлористого калия и карбамида для снаряжения автоматических систем взрывоподавления и локализации взрывов (АСВП-ЛВ) были проведены исследовательские испытания.

Характеристики испытуемого пламегасящего состава представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Краткая характеристика пламегасящего порошка

№ п/п	Наименование показателя	Фактическое содержание
1	Массовая доля карбамида ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), %	72
2	Массовая доля хлористого калия (KCl), %	27
3	Гидрофобизирующая добавка (аэросил), %	1
4	Массовая доля влаги, %, не более	0,35
5	Количество частиц размером менее 40 мкм, %	70

Целью испытаний являлось определение величины навески испытуемого пламегасящего порошка, необходимой для локализации взрыва аэрозоля угольной пыли.

Система взрывных испытаний состоит из 20-литровой сферической взрывной камеры, системы управления и сбора данных. Программируемый логический контроллер (ПЛК), генератор сигнала воспламенения, панель данных давления и пользовательский интерфейс находится в блоке управления. Блок

управления соединен с компьютером через Ethernet кабели. Изменение давления во взрывной камере переводится в электрический сигнал датчиком давления и передающим устройством, записывается системой сбора данных и сохраняется в памяти компьютера. Значение максимального давления P_m и степень его роста K_m можно получить из автоматического анализа кривой давления по времени.

Взрывная камера представляет собой сосуд из двух слоев нержавеющей стали (рисунок 4.1). Для поддержания постоянной температуры внутри камеры можно поместить воду или иное вещество в двухслойную оболочку. На одной из сторон контейнера находится смотровое окошко для проверки успешности воспламенения. В камере имеются входные и выходные соединения для откачки воздуха, выхлопа, выхода горючего газа и сжатого воздуха.

Мультифазный клапан подачи пыли/воздуха (также называемый быстродействующим) установлен под дном испытательной камеры и используется для контроля над процессом рассеяния пыли. Реле давления установлено внутри стенки сосуда и используется для определения динамического давления взрыва пыли. Структура соединения крышки с камерой аналогична таковой на автоклаве. Манипуляции с крышкой может производить один человек. Рассеивающее сопло установлено на дне камеры и используется для равномерного рассеяния пыли в камере.

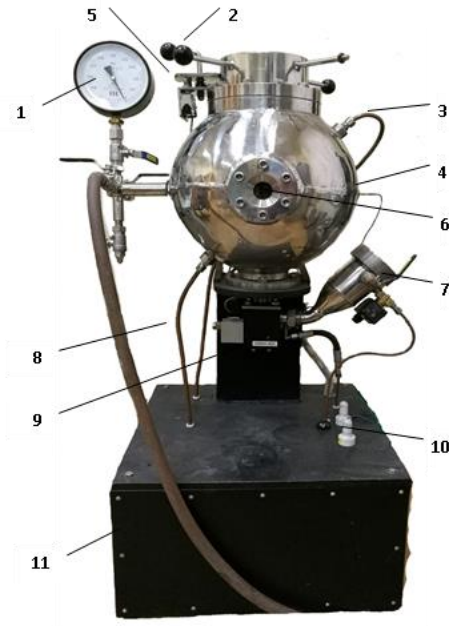


Рисунок 4.1 - Внешний вид 20-литровой взрывной камеры

1 – вакуумметр; 2 – поворотные ручки крышки камеры; 3 – ввод для рециркуляционной воды; 4 – датчик давления; 5 – предохранительная задвижка; 6 – смотровое окно; 7 – сосуд для образцов пыли (сосуд предварительной компрессии); 8 – вывод рециркуляционной воды; 9 – мультифазный клапан подачи пыли/воздуха; 10 – контакты проводов зажигания; 11 – стойка.

Общий алгоритм проведения лабораторного исследования заключается в том, что в закрытой камере сгорания установки представленной на рисунке 4.1, формируется аэрозоль каменноугольной пыли подаваемой одновременно с исследуемой навеской флегматизирующего состава с помощью сжатого воздуха, под давлением 2МПа.

Далее проводится воспламенение пылевоздушной смеси химическими воспламенителями с задержкой 60 мс. Результаты воспламенения образовавшейся внутри рабочей камеры аэрозоля заданной концентрации, давление взрыва и скорость нарастания давления взрыва автоматически фиксируются системой обработки данных.

Результаты исследований, проведенных по описанной выше методике, представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Определение величины навески испытуемого пламегасящего порошка

Концентрация ОПС, г/м ³	P_m , МПа	Результат опыта
10	0,8115	В
20	0,7413	В
30	0,6991	В
40	0,5215	В
50	0,4817	В
60	0,4503	В
70	0,3909	В
80	0,3544	В
90	0,3048	В
100	0,2817	В
110	0,2791	В
120	0,2459	В
130	0,2244	В
140	0,1981	В
150	0,0360	О

Примечание: О – воспламенение отсутствует; В – угольная пыль воспламенилась.

С целью определения взрывоподавляющей эффективности испытуемого состава, а также возможности его применения в автоматических системах взрывоподавления был выполнен анализ испытаний, проведенных в лаборатории рудничной пыли МакНИИ, целью которых было определение величины добавки пламегасящего порошка, необходимого для нейтрализации взрываемости угольной пыли (приложение Б).

Результаты взрываемости смеси угольной пыли с нейтрализующей добавкой в виде ингибитора ПВХ-1 приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Результаты взрываемости смеси угольной пыли с порошком ПВХ-1

Добавка в % к угольной пыли	Результаты взрывания
40	н/в., н/в., н/в., н/в., н/в.,
25	взр., взр.,
26	взр., взр.,
27	взр., взр., н/в., н/в.,
28	н/в., взр., взр., н/в., взр.,
30	взр., н/в., взр., н/в., н/в.,
31	н/в., взр., н/в., взр., н/в.,
32	н/в., взр., н/в., н/в., н/в.,
33	взр., н/в., н/в., н/в., н/в.,
34	н/в., н/в., н/в., взр., н/в.,
35	н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в.,

Таблица 4.7 - Результаты взрываемости смеси угольной пыли с порошком на основе хлористого калия и карбамида

Добавка в % к угольной пыли	Результаты взрывания (в % от числа опытов)
10	100% взрыв
15	100% взрыв
17	100% взрыв
20	90% взрыв
23	70% взрыв
25	50% взрыв

Продолжение таблицы 4.7

27	30% взрыв
30	10% взрыв
33	0% (взрывчатые свойства полностью нейтрализованы)

Испытания, проведенные в лаборатории физики взрыва (Санкт-Петербург, Горный университет) для аналогичных условий с использованием в качестве нейтрализующей добавки исследуемого пламегасящего состава на основе хлористого калия и карбамида приведены в таблице 4.7.

В результате проведенных испытаний установлено:

1. Концентрация добавки пламегасящего порошка на основе карбамида и хлористого калия, надёжно локализирующая взрыв угольной пыли должна составлять не менее 150 г/м^3 .

2. Величина добавки пламегасящего порошка на основе карбамида и хлористого калия, надёжно нейтрализующая её способность к взрываемости составляет 33% по массе и более.

3. Доказана взрывоподавляющая эффективность исследуемого порошкового состава. Состав рекомендован для снаряжения систем АСВП-ЛВ для локализации взрывов угольной пыли (приложение В).

По данным, полученным в МакНИИ, для локализации взрыва пылегазовоздушной смесей любой мощности аэрозольный заслон из огнетушащего порошка должен быть длиной 15 м. Исходя из этих данных, а также в результате проведенных исследований установлено, что согласно техническим характеристикам системы, пламегасящий состав массой 30 кг, снаряженный в АСВП-ЛВ, способен надёжно локализовать взрыв угольной пыли в горной выработке площадью сечения до 13 м^2 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа представляет собой законченную научно-исследовательскую квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной для угледобывающей промышленности задачи – обоснование выбора ингибирующих составов для локализации взрывов угольной пыли.

Основные результаты научных исследований:

1. Разработана методика исследования влияния ингибирующих и флегматизирующих добавок на воспламеняемость и взрывчатость угольной пыли, позволяющая количественно оценить наиболее значимые параметры воспламенения и взрыва угольной пылевоздушной смеси;
2. Разработано инициирующее устройство из химического воспламенителя, дающее возможность полноценно заменить стандартные промышленные воспламенители и снизить трудозатраты на лабораторные испытания. При этом применение разработанных воспламенителей позволяет регулировать энергию взрыва в широком диапазоне, настраивая испытываемую камеру под задачи исследователя;
3. Установлено влияние энергии пиротехнического воспламенителя на точность получаемых результатов исследований. Показано, что использование пиротехнического воспламенителя с $Q_{воспл} = 5 \text{ кДж}$ является наиболее оптимальным вариантом для проведения лабораторных испытаний в сферической взрывной камере объёмом 20 литров.
4. Экспериментально исследованы взрывоопасные характеристики каменноугольной пыли и установлено, что большей взрывоопасностью обладает каменноугольная пыль ш. им. Дзержинского. Определено, что большим максимальным давлением взрыва обладают фракции пыли дисперсностью 63-94 мкм при концентрации пыли 100 г/м^3 .

5. Экспериментально установлено, что из ряда исследованных пламегасящих составов наибольшей взрывоподавляющей эффективностью обладает состав на основе карбамида и хлористого калия (в соотношении 1:3).
6. Доказано, что пламегасящий состав на основе карбамида и хлористого калия концентрацией 150 г/м^3 и дисперсностью не более 40 мкм эффективно предотвращает взрыв угольной пыли.
7. По результатам испытаний разработанный порошковый состав рекомендован для применения в автоматических системах взрывоподавления (АСВП).

Список литературы.

1. Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок: Учебное пособие для вузов / Н.Р. Шевцов. – Донецк: Норд Пресс, 2002. – 280с.
2. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д.А. Франк-Каменецкий. – М.: Наука, 1987. 491 с.
3. Зельдович Я.Б., Компанеец А.С. Теория детонации / Я.Б. Зельдович, А.С. Компанеец. – М.: Наука, 1958. 268с.
4. Семенов Н.Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности / Н.Н Семенов. - Избранные труды: в 4-х т. – М.: Наука, 2005. Т. 3. 504 с.
5. Щёлкин К.И., Трошкин Я.К. Газодинамика горения / К.И. Щёлкин, Я.К. Трошкин – М.: Изд. АН СССР, 1963. – 255 с.
6. Басевич В.Я., Когарко С.М., Посвянский В.С. Кинетика реакций при распространении метано-кислородного пламени / В.Я. Басевич, С.М. Когарко, В.С. Посвянский // Физика горения и взрыва. – 1975. - №2 – С. 242-247.
7. Безарашвили Г.С. Ингибирование пламени гептана порошками неорганических солей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 02.00.04 / Безарашвили Григорий Сергеевич – Тбилиси, 1981. – 24 с.
8. Химия горения / Пер. с англ. под ред. У. Гардинера – М.: Мир. 1988 – 461 с.
9. Айруни А. Т. Взрывоопасность угольных шахт / А.Т. Айруни, Ф. С. Клебанов, О. В. Смирнов // Сибирская угольная энергетическая компания (СУЭК). – М.: Горное дело, 2011. - 262 с.
10. Ишихама В. Взрывчатые характеристики смеси угольной пыли, метана и воздуха / В. Ишихама, И. Такаг, Х. Эломото // Докл. XVIII междунар. конф. по горению – Дубровник, Югославия, 1979 – С. 179-194.
11. Джигрин А.В. Автоматическая система взрывоподавления – локализации взрывов метановоздушной смеси и угольной пыли в подземных горных

- выработках угольных шахт / А.В. Джигрин, Ю.В. Горлов, В.Д. Чигрин // Безопасность труда в промышленности. – 2003. – № 8. – С. 22-26.
12. Годжелло М.Г.. Взрывы промышленных пылей и их предупреждение / М. Г. Годжелло. - М.: МКХ РСФСР, 1952. -142 с.
 13. Friedman, R. Principles of fire protection chemistry and physics / R. Friedman. - Jones & Bartlett Learning, 1998. – 296 p.
 14. Song, X. D. Applications of dry powder system / X. D. Song // Fire Technique and Products Information. – 2002. – V. 9. - P. 3-6.
 15. Палеев Д.Ю. Обзор данных об эффективности порошковых огнетушащих составов / Д. Ю. Палеев, О. Ю. Лукашов, И. М. Васенин // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2017. Т. 3. С. 389-394.
 16. Ni Xiaomin. Discussions on applying dry powders to suppress tall building fires /Xiaomin Ni, W. K. Chow, Guangxuan Liao // Journal of applied fire science. – 2008-2009. – V. 18(2). – P. 155-191.
 17. Баратов, А. Н. Огнетушащие порошковые составы / А. Н. Баратов, Л. П. Вогман. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.
 18. International fire training center. Firefighter initial. Fire extinguishing media – dry powder [Электронный ресурс]. – Issue 1. – Режим доступа:<http://www.iftcentre.com/IFTC/media/MediaLibrary/Pre%20Study%20Guidance/FFR-Fire-Extinguishing-Media-DRY-POWDER.pdf>
 19. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник в 2-х ч. 2-е изд., перераб. и доп / А. Я. Корольченко Д.А. Корольченко. - Москва: Асс. "Пожнаука", 2004. Часть II. 774 с.
 20. Александров В.Е. Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. / Н.Р. Шевцов, Б.И. Вайнштейн. – М.: Недра, 1986, - 150 с.
 21. Краснянский М. Е. Огнетушащие и взрывоподавляющие порошки / М. Е. Краснянский. – Донецк :Донбас, 1990. - 110 с.

22. Краснянский М. Е. Предотвращение и подавление взрывов метано-пыле-воздушных смесей в угольных шахтах с помощью специальных порошков-ингибиторов/ М.Е. Краснянский // Безопасность жизнедеятельности. – 2006. – № 8. – С. 9-13.
23. Померанцев В.В. Самовозгорание и взрывы натуральных топлив / В.В. Померанцев, С.Г. Шагалова, В.А. Резник, В.В. Кушнарченко. – Л.: Энергия. 1978. – 144 с.
24. Кашуба О.И. Исследование влияния примесей хлористого натрия на взрывчатость угольной пыли / О.И. Кашуба, Ю.В. Манжос // Импульсная обработка материалов: Сб. научн. статей НГУ. – Днепропетровск: НГУ, 2005. – С. 90-93.
25. Кушнарченко В.В. О сущности критерия взрываемости в инженерном методе оценки взрывоопасных свойств пыли энергетического топлива / В.В. Кушнарченко // Электрические станции - 2001. - № 3. - С.30-34
26. ГОСТ 12.1.044-89 «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения». - М., 1989. с.33
27. Proust Ch., Measuring the violence of dust explosions with the “20 l sphere” and with the standard “ISO 1 m³ vessel” / Ch. Proust, A. Accorsi, Dupont L. // Systematic comparison and analysis of the discrepancies Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 20, Issues 4–6, July–November 2007, Pages 599-606.
28. Костенко В.К. Лабораторные исследования взрывчатых свойств воздушно-ацетилено-угольных аэрозолей / Костенко В.К., Калякин С.А, Завьялова Е.Л., Мороз О.К. и др. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Сб. науч. тр. ДонНТУ, Донецк 2012, с.172-180.
29. Dastidar A. Determination of Minimum Inerting Concentrations for Combustible Dusts in a Laboratory-Scale Chamber / A. Dastidar, P. Amyotte // Process Safety and Environmental Protection, Volume 80, Issue 6, November 2002, Pages 287-297.

30. Dastidar A. Inerting of coal dust explosions in laboratory – and intermediate-scale chambers / A. Dastidar, P. Amyotte, J. Going, K. Chartathi // Fuel, Volume 80, Issue 11, September 2001, Pages 1593-1602.
31. Niansheng Kuai. Experiment-based investigations on effect of ignition energy on dust explosion behaviors / Kuai Niansheng, Huang Weixing // Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 2, Issue 4, July 2013, Pages 869 - 877.
32. Omotayo Kalejaiye. Effectiveness of dust dispersion in the 20-L Siwek chamber / Kalejaiye Omotayo, P. Amyotte, Michael J. Pegg, Kenneth L. Cashdollar // Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 23, Issue 1, January 2010, Pages 46-59.
33. Sapko M., Weiss, E., Cashdollar, K., and Zlochower, I. Experimental mine and laboratory dust explosion research at NIOSH / M. Sapko, E. Weiss, K. Cashdollar, I. Zlochower // J. Loss Prevention, v13, Pages 229-242.
34. Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке //Безопасность труда в промышленности № 1, 2017. С.82-87
35. Абиев З.А. Исследование взрывчатых свойств каменноугольной пыли глубоких шахт Кузнецкого бассейна / З.А. Абиев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Вып. 1. 2018. С. 73-82.
36. Калякин С.А. Создание эффективной системы взрывозащиты угольных шахт / С.А. Калякин, Н.Р. Шевцов, И.В. Купенко. // Уголь Украины. - 2012. - №2. - С. 24 - 30.
37. Coal mine methane in Russia: Capturing the safety and environmental benefits. International Energy Agency: Information paper. -2009. -66 p.
38. Нецепляев М.И.. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М.И. Нецепляев, А.И. Любимова, П.М. Петрухин и др. – М.: Недра, 1992. – 300 с.

39. Determination of explosion characteristics of dust clouds Part 1: Determination of the maximum explosion pressure P_{max} of dust clouds BS EN 14034-1:2004+A1:2011
40. Determination of explosion characteristics of dust clouds Part 2: Determination of the maximum rate of explosion pressure rise $(dP/dt)_{max}$ of dust clouds BS EN 14034-2:2006+A1:2011
41. Determination of explosion characteristics of dust clouds Part 3: Determination of the lower explosion limit LEL of dust clouds BS EN 14034-3:2006+A1:2011
42. Li Qingzhao. Investigation on coal dust explosion characteristics using 20 L explosion sphere vessels / Li Qingzhao, Zhai Cheng, Wu Haijin // Journal of China Coal Society. Volume 36. 2011. Page 119.
43. Пихконен Л.В. Определение взрывопожароопасных свойств каменного угля Ленинск-Кузнецкого Каменноугольного месторождения / Л.В Пихконен, В.А. Родионов, С.Я. Жихарев // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. Серия "Науки о Земле". 2017. № 3. С 74-84.
44. Родионов В.А. Дисперсность каменноугольной пыли марки Ж Воргашорского месторождения и её влияние на процесс термической деструкции / В.А Родионов, Л.В Пихконен, С.Я. Жихарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. - 2017. - Т. 16, № 4. - С. 350–356.
45. Колесниченко И.Е. Теория горения и взрыва метана и угольной пыли / И.Е. Колесниченко [и др.] // Уголь. № 6. 2016. С.30-35
46. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

47. Карпухин В.Д. Предупреждение и локализация взрывов угольной пыли на шахтах зарубежных стран / В.Д. Карпухин, Г.В. Ненароков, В.А. Василенко и др. – М.: ЦНИЭИуголь, - 1972. – 28 с.
48. Гордиенко В.М. Обеспечение пожарной безопасности производственных объектов. Исследование и разработка нормативных документов ФГБУ ВНИИПО МЧС России в области предупреждения пожаров и взрывов / В.М. Гордиенко [и др.] // Безопасность труда в промышленности. № 6. 2017.С.5-20.
49. Нецепляев М. И. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах/ М.И. Нецепляев и др. – М.: Недра, 1992. – 300 с.
50. Standard Test Method for Minimum Explosible Concentration of Combustible Dusts ASTM E1515 – 14.
51. Standard Test Method for Minimum for Explosibility of Dusts Clouds ASTM E1226 – 10.
52. Adolf Kühner, A.G. Operating instructions for the 20 litre apparatus 5.0. Basel, Switzerland: Ciba-Geigy AG. – 1994. – 56 p.
53. Вильяме Ф.А. Теория горения / Ф.А. Вильяме. – М.: Наука. – 1971. – 616 с.
54. Виленский Т.В.. Динамика горения пылевидного топлива / Т.В. Виленский, Д.М. Хзмалян –М.: Энергия, - 1977. – 248 с.
55. Толчинский Е. Н. Влияние дисперсного состава пыли природного твердого топлива на ее взрывоопасные свойства / Е.Н. Толчинский, В.А. Киселев, В.А. Колбасников, В.С. Яковлева // Электрические станции - № 5 -2001. – С.11-16.
56. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 5 июля 2007 №451 об аварии в филиале «Шахта Ульяновская» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» (в ред. Приказа Ростехнадзора от 22.04.2009 №306).

57. Кушнаренко В.В. О сущности критерия взрываемости в инженерном методе оценки взрывоопасных свойств пыли энергетического топлива / В.В. Кушнаренко // Электрические станции - 2001. – №3. - С.30-34.
58. Siwek R. Experimental methods for the determination of explosion characteristics of combustible dust / R. Siwek // 3-d International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries. Basel, 1980, Sept. 15 - 19, Vol. 3
59. Данилов А. Г. Свойства и параметры, определяющие взрывчатость угольной пыли / А.Г. Данилов, Э.А. Грачев, С.В. Кульчицкий, М.Г. Галиев // Евразийский Научный Журнал №8. – 2015. - С. 12-17.
60. Калякин С.А. «Взрывоопасность метанугольных аэрозолей в горных выработках и пылегазовый режим угольных шахт» / С.А. Калякин // Безопасность Труда в Промышленности № 6. -2013. – 4 с.
61. Петунин П.М. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / П.М. Петунин [и др.] // 2-е изд., перераб. и доп. - М. Недра 1981г. С.27.
62. Лебецки К. А. Пылевая взрывоопасность горного производства. / К.А. Лебецки, С.Б. Романченко - Москва: Горное дело, 2012. — 464 с.
63. Рашевский В.В. Качество углей ОАО «СУЭК» / В.В. Рашевский, В. Б. Артемьев, С.А. Силютин. –М.: Кучково поле, 2011. -576 с., ил. (серия «Библиотека горного инженера». Т.5. Кн.1).
64. Абиев З.А. Методика исследования процессов горения и детонации каменноугольной пыли в горных выработках / В.А. Родионов, З.А. Абиев, С.Я. Жихарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. Вып. 1, Т. 17, 2018. С.50-60.
65. Методика исследования влияния ингибирующих и флегматизирующих добавок на воспламеняемость и взрывчатость угольной пыли / З.А. Абиев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Вып. 5. 2018. С. 26-34.

66. Абиев З. А. Современные тенденции экспериментального исследования закономерностей процесса флегматизации и ингибирования, воспламенения и взрыва газо-пылевоздушных смесей / З.А. Абиев, Г. П. Парамонов, В. И. Чернобай // Взрывное дело. Вып.114/71. С. 337-349.
67. Шебеко Ю.Н. Расчёт основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов: Руководство / Ю.Н. Шебеко, В.Ю. Навценя. – М.: ВНИИПО, 2002. – 77с.
68. ГОСТ Р 53280.4-2009 Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2009. – 14 с.
69. BS EN615:1995 Fire Protection - Fire Extinguishing Media - Specifications for Pow-ders (Other than Class D Powders), BS Standard, British Standards Institution, London, United Kingdom. - 1995. – 8 p.
70. BS EN 12416-1:2001 Fixed Firefighting Systems - Powder Systems - Part 1: Re-quirements and Test Methods for Components, BS Standard, British Standards In-stitution, London, United Kingdom. - 2001. – 28 p.
71. NFPA-17 Standard for Dry Chemical Extinguishing Systems, National Fire Protec-tion Association, Quincy, Massachusetts. - 2002. - 43 p.
72. Краснянский, М. Е. Теория порошкового ингибирования пламени / М. Е. Краснянский // Тез. докладов всесоюзной научно-практической конференции «Проблемы производства и применения огнетушащих порошков» Л. 1991. - С. 13.
73. Краснянский, М. Е. Теория порошкового пламегашения / М. Е. Краснянский // Проблемы пожарной безопасности, Киев. 1995. - С. 113.
74. Краснянский, М. Е. Огнетушащие и взрывоподавляющие порошки / М. Е. Краснянский. – Донецк : Донбас, 1990. - 110 с.

75. Гражданкин А.И. Угольные катастрофы в исторической России и мире / А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, М.А. Иофис // Безопасность труда в промышленности, №11 – 2011 г., С.56-64.
76. Мясников А.А. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А.А Мясников, С.П. Старков, В.И. Чикунов. – М.: Недра, 1985. – 205с.
77. Лавцевич В.П. Исследование и оценка метановзрывоопасности шахтных технологических систем. Автореф. докт. дис. Новосибирск, ИГД СО АН СССР, 1974.
78. Мясников А.А. Предупреждение взрывов газа в угольных шахтах / А.А. Мясников. М.: ЦНИИЭИуголь, 1972. – 204 с.
79. Петрухин П.М. Предупреждение взрывов пыли в угольных и сланцевых шахтах / П.М. Петрухин, М.И. Нецепляев, В.Н. Качан и др. М.: Недра, 1974. – С. 304.
80. Петрухин П.М. К вопросу опасности вспышек метана и угольной пыли при работе выемочных и проходческих комбайнов // П.М. Петрухин, М.И. Нецепляев, П.Ф. Погорелов и др. – В кн.: Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. Макеевка, 1975, вып. 6, С. 80-82.
81. Бекирбаев Б.Д. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / Б.Д Бекирбаев, Г.С Гродель, П.М. Петрухин. - М.: Госгортехиздат, - 1959. - 500 с.
82. Щетинков Е.С. Физика горения газов / Е.С. Щетинков - М.: Наука, - 1965. - 739 с.
83. Гельфанд Ф.М. Предупреждение аварий при взрывных работах в угольных шахтах. М.: Недра, 1972. -208 с.
84. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 5 июля 2007 №452 об аварии в филиале «Шахта Юбилейная» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь».
85. Нецепляев М.И. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М.И. Нецепляев и др. – М.: Недра, 1992. – 298 с.

86. Шоль Э.В. Подавление взрывов в подземных выработках автоматическими заслонами системы SVS / Э.В. Шоль, В Виманн // Глюкауф 1979. № 10, С. 38-46.
87. Шевцов Н. Р. Определяющий критерий взрывоподавляющей эффективности пламегасителей/ Н.Р. Шевцов // – В кн.: Взрывное дело, № 84/41. М.: Недра, 1982, С. 127-134.
88. Шалаев В.С. Взрывозащита угольных шахт / В.С. Шалаев, А.В Шалаев, Ю.В. Шалаев // Безопасность труда в промышленности. 2011. № 7. С. 27-31.
89. Faber M. Automatic suppression of multiple explosions in underground coal mines /M. Faber, E.W. Scholl // Proceedings of the 21 International conference of safety in mines research institutes. - Sydney, 1985, p. 645-649.
90. Furno A.L. An ignition suppression device for coal cutting equipment / A. L. Furno et al // Proceedings of the 21 International conference of safety in mines research institutes. - Sydney, 1985, p. 661-668.
91. Brouning E.Y. Detection and suppression of ignitions at shearer loaders / E.Y Brouning, P.E. Moore // Proceedings of the 21 International conference of safety in mines research institutes. - Sydney, 1985, p. 651-659.
92. Александров В.Е. Безопасность взрывных работ в угольных шахтах / В.Е. Александров, Н.Р. Шевцов, Б.И Вайштейн. - М.: Недра, 1986. – 150 с.
93. Джигрин А.В. Риск-анализ чрезвычайных ситуаций, связанных со взрывом метана и угольной пыли в шахтах / А. В. Джигрин и др. – М., ИГД им.А.А.Скочинского, 2002. – 38с.
94. Tominaga T. Coal dust explosion characteristics under atmosphere with methanegas coexistence / T.Tominaga, S.Matsuura, T.Komai and of hers // Proceedings of the XXII International Conference of the Research Institutes for Safety in mining China, Beijing, 1987. P. 411-423.
95. Шатиоров С.В. Об испытаниях средств взрывобезопасности угольных шахт / С.В. Шатиоров, В.С. Шалаев, Ю.В. Шалаев и др. // Уголь Кузбасса. 2016. №2. С. 34-35.

96. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах», утвержденные приказом Ростехнадзора от 14 октября 2014 №462 // Российская газета от 06.02.2015. №24/1 (специальный выпуск).
97. ГОСТ 31438.2-2011. Взрывоопасные среды. Взрывозащита и предотвращение взрыва. Ч. 2. Основополагающая концепция и методология (для подземных выработок); Введен 15.02.2013. М.: Стандартинформ, 2013.
98. Зенин В.И. Исследование воспламенения метано-воздушной смеси выгорающим зарядом / В.И. Зенин Ю.В. Манжос // В кн.: Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. Макеевка, 1979. вып. 10. С. 3-6.
99. Бабокин К.А. Справочник по технике безопасности и промышленной санитарии в угольных шахтах / К.А. Бабокин, И.С. Залесский, Л.Н. Карагодин и др. М.: Недра, 1977.
100. ГОСТ Р 56141-2014. «Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Системы взрывозащиты горных выработок. Общие технические требования»; Введен 25.09.2014. М.: Стандартинформ, 2015.
101. Кочерга Н.Г. Средства предотвращения воспламенений метана фрикционными искрами при работе горных машин / Н.Г. Кочерга, В.П. Коптиков, В.К. Подвойский // Уголь Украины, 1981, № 1, С. 25-26.
102. Кочерга Н.Г. О параметрах взрывозащитного орошения горных машин / Н.Г. Кочерга, В.В. Пилипенко // В кн.: Безопасная эксплуатация электромеханического оборудования в шахтах. Макеевка, изд. МакНИИ, 1983, с. 24-30.
103. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей / Е.П. Медников // М., Наука, 1987. – 176 с.
104. Джигрин А.В. Прогнозирование взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А.В Джигрин., И.Р. Исаев, С.В. Мясников // Безопасность труда в промышленности №4, 2010. – С.38-42.

105. ГОСТ 31438.2-2011. Взрывоопасные среды. Взрывозащита и предотвращение взрыва. Ч. 2. основополагающая концепция и методология (для подземных выработок); Введен 15.02.2013. М.: Стандартинформ, 2013.
106. Умнов А.Е. Предупреждение и локализация взрывов в подземных условиях / А.Е. Умнов, А.С. Голик, Д.Ю. Палеев и др. М.: Недра, 1990. 286 с.
107. Mason R.H. Rockdusting technique cuts labor requirements / R.H. Mason // Coal Mining and Process, 1983, №12, p. 46-47.
108. Sapko M.I. Explosibility of float coal dust distributed over a coal-rock dust substratum // M.I. Sapko, E.S. Weiss, R.W. Watson // Proceedings of the 22 International Conference of safety in mines Research Institutes, Pekin, 1987, p. 442-454.
109. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах», утвержденная приказом Ростехнадзора от 6 ноября 2012 №634 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2013. №7.
110. Cybulski W. Coal dust Explosions and their suppression / W. Cybulski. - Warsaw, 1976. 583 p.
111. Соболев Г.Г. Тушение подземных пожаров на угольных шахтах / Г.Г. Соболев, В.П. Чарков, А.М. Кушнарев и др. – М.: Недра, 1977. – 248 с.
112. Чеховских А.М. Процессы, происходящие при взрывах пылевоздушных смесей в горных выработках шахт / А.М. Чеховских, В.И. Гудков, И.А. Пономарев и др. // В кн.: Борьба с авариями в шахтах. – Кемеров, 1972, с. 53-58.
113. Айруни А.Т. Определение пределов взрывчатости сложных газовых смесей / А.Т. Айруни, Н.Г. Матвиенко // ЦИТИ угля, «Технология и экономика угледобычи». М., 1962. № 8. С. 54-59.

114. Петров А.И. Опыт предотвращения взрывов и тушение пожаров на шахтах Кузбасса / А.И.Петров, А.С. Голик, Д.Ю. Палеев и др. - М.: ЦНИЭИуголь, 1984. 52 с.
115. Савенко С.К. Ударные воздушные волны в горных выработках / С.К. Савенко, А.А. Гурин, П.С. Малый. - М.: Недра, 1983. - 198 с.
116. Bartknecht W. Explosionen. Ablauf und Schutzmassnamen / W. Bartknecht - Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New Iork, 1990. 264 p.
117. Humphrey H.B. Historical summary of coal mine explosions in the USA / H.B. Humphrey. - U.S. Bureau of Mines Information Circular, № 9700, 1959. 288 p.
118. Смирнов Н.Н. Параметры распространения в выработках ударных и детонационных волн, образующихся при взрыве пылеметановоздушной смеси / Н.Н. Смирнов [и др.] // Сб. «Взрывное дело» № 109/66. М.: ЗАО «МВК по ВД при АГН», 2013. – С.229-238.
119. ASTM E 681-85, Standard Test Method for Concentration Limits of Flammability of Chemicals , American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA. – 2015. - 12 p.
120. Hertzberg M. The Limits of Flammability of Pulverized Coals and Other Dusts / M Hertzberg, K.L. Cashdollar, C.P, Lazzara // In 18th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, 1981. - P. 717-729.
121. Ксенофонтова А.И. Теория и практика борьбы с пылью в угольных шахтах / А.И Ксенофонтова, А.С. Бурчаков // М.: Недра. – 1965. – С. 230.
122. Черечукин В. Г., Любомищенко Е. И. Теоретические исследования влияния выхода летучих веществ на определение концентрационных пределов взрывоопасности угольной пыли / В.Г. Черечукин, Е.И. Любомищенко // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 380–385.
123. Кудинов Ю. В. О механизме взрыва угольной пыли / Ю.В. Кудинов, А.В. Володин // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. –2013. №1. – С.31.

124. Заключение экспертизы МакНИИ №232.09.00.010.09 по автоматической системе взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ.
125. Колесниченко И.Е. Теория горения и взрыва метана и угольной пыли / И.Е. Колесниченко [и др.] // Уголь .2016 .№6 .С. 32-37.

Приложение А

40
 УТВЕРЖДАЮ
 Главный инженер
 ФГУП НМЗ «Искра»
 С. А. Поздняков
 28. 09 2005



**Акт-отчет
 исследовательских испытаний по определению взрывоподавляющей
 способности огнетушащих порошков марок «ИСТО-1», «П-АГС»,
 сланцевой пыли и ингибитора «ПВХ-1»**

1. Цель испытаний

Целью испытаний являлось подтверждение эффективности огнетушащих порошков (ОП) марок «П-АГС» (ТУ 2149-001-00159158-99), «ИСТО-1» (ТУ 2149-001-54572789-00 с изм. 4), сланцевой пыли и ингибитора ПВХ-1 (ТУ 6-8-106-84) концентрацией 10 г/м³ по обеспечению безопасности в отношении воспламенения метано-воздушной среды.

2. Методика испытаний

2.1 Для испытаний была разработана методика, суть которой заключалась в том, что во взрывоопасной метано-воздушной среде (МВС) распыляется ОП, а затем осуществляется инициирование МВС непродохранительным электродетонатором.

2.2 Для распыления ОП была изготовлена мортира (рис. 1), снаряжаемая следующим образом:

В основание мортиры (1) помещается электровоспламенитель (2), размещенный в прижимной гайке (3). Его концевые провода выводятся наружу через уплотнительную втулку (4).

В углублении основания (1) находится насыпной пороховой заряд (5) из пороха марки «Сокол» массой 3,0 г. Сверху пороха помещается прокладка из фольги (7). Затем в ствол (6) насыпается огнетушащий порошок (8), масса которого составляет 7,9 г.

С целью обеспечения полного выброса ОП из ствола он закрывался мембраной из картона электроизоляционного (9), закрепляемой прижимом (10). Полный выброс ОП из ствола обеспечивается за счет избыточного давления пороховых газов в стволе, образующихся при инициировании порохового заряда.

2.3 Для проведения испытаний используется металлическая метано-воздушная камера (объем 0,785 м³), предназначенная для испытания электродетонаторов на предохранительность по ГОСТ 21806-76.

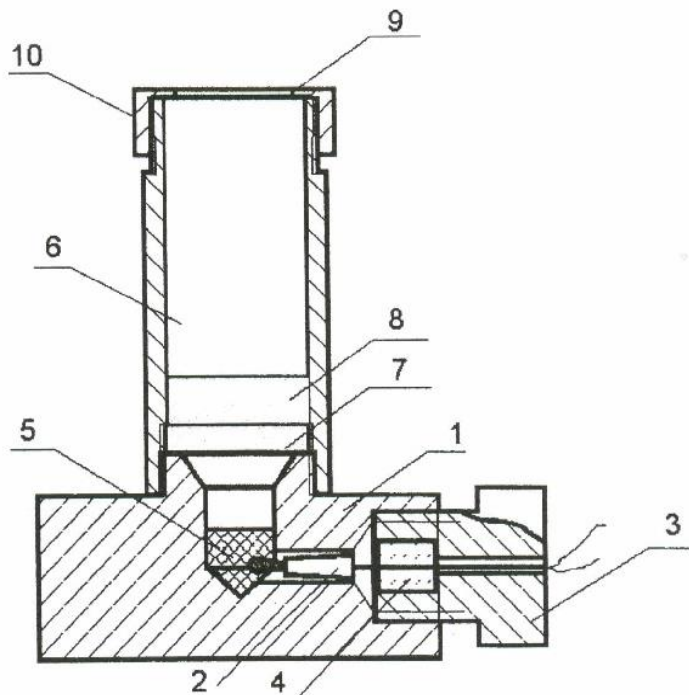


Рисунок 1. Схема устройства и снаряжения мортиры

2.4 Снаряженная мортира с огнетушащим порошком помещалась на дно камеры (рис. 2).

В центре камеры подвешивался не предохранительный электродетонатор ЭД-3-Н с биметаллической гильзой. При проведении испытаний использовались электродетонаторы с номинальным временем замедления 6000 мс.

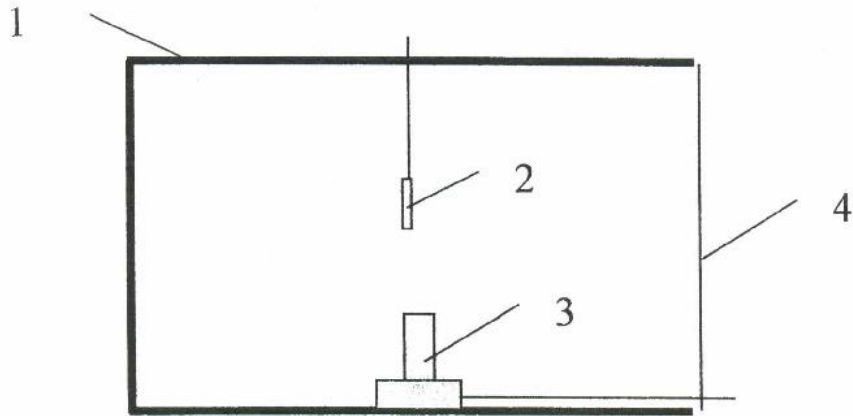


Рисунок 2. Схема проведения опытов

1 – камера; 2 – ЭД-З-Н; 3 – mortar; 4 – бумажная диафрагма.

Затем камера закрывалась бумажной диафрагмой и в ней создавалась метано-воздушная смесь с концентрацией метана 8,5-9,5%. После этого осуществлялось одновременное инициирование ЭД-З-Н и электровоспламенителя mortar и фиксировалось воспламенение МВС.

2.5 При отсутствии воспламенения МВС через каждые 5-6 опытов по мере загрязнения камеры ОП производилась очистка камеры путем воспламенения в ней МВС с помощью ЭД-З-Н. Распыления ОП в этом случае не осуществлялось.

3. Результаты опытов

Результаты опытов приведены в таблице. В ней приняты следующие обозначения:

О – воспламенение метана отсутствует;

В – метан воспламенился.

Результаты исследовательских испытаний по определению взрывоподавляющей способности огнетушащего порошка

Марка порошка	№ опыта	Результат опыта	Примечание
П-АГС	1	О	
	2	О	
	3	О	
	4	О	
	5	О	
	6	О	

Марка порошка	№ опыта	Результат опыта	Примечание
П-АГС		В	Очистка камеры
	7	О	
	8	О	
	9	О	
	10	О	
ИСТО-1	1	О	
	2	О	
		В	Очистка камеры
	3	О	
	4	О	
	5	О	
	6	О	
	7	О	
	8	О	
		В	Очистка камеры
9	О		
10	О		
Ингибитор ПВХ-1	1	О	
	2	О	
	3	О	
	4	О	
		В	Очистка камеры
	5	О	
	6	О	
	7	О	
	8	О	
	9	О	
10	О		
Сланцевая пыль		В	Очистка камеры
	1	О	
	2	О	
	3	О	
	4	В	
	5	О	
	6	О	
	7	О	
	8	О	
	9	О	
	10	О	

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что при концентрации сланцевой пыли 10 г/м^3 частота воспламенения метана $1/10 \times 100 = 10\%$. При распылении ОП марок «П-АГС» (ТУ 2149-001-00159158-99), «ИСТО-1» (ТУ 2149-001-54572789-00 с изм. 4) и ингибитора ПВХ-1 (ТУ 6-8-106-84) воспламенения метана не зафиксировано.

4. Вывод

Результаты опытов позволяют констатировать, что при концентрации 10 г/м^3 порошков марок «П-АГС» (ТУ 2149-001-00159158-99), «ИСТО-1» (ТУ 2149-001-54572789-00 с изм. 4) и ингибитора ПВХ-1 (ТУ 6-8-106-84) обеспечивается эффективность их огнетушащих свойств в отношении невоспламенения метано-воздушной среды. Применение сланцевой пыли той же концентрации неэффективно.

Зам. главного инженера,

д.т.н. ФГУП «НМЗ «Искра»



В.В. Андреев

Главный технолог

ФГУП «НМЗ «Искра»



З.М. Гольдинштейн

Начальник БПриПП

ФГУП «НМЗ «Искра»



А.С. Иванов

Инженер-технолог ОГТ

ФГУП «НМЗ «Искра»



Ю.С. Ложкина

Приложение Б

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ВЗРЫВОПОДАВЛЯЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЛАМЕГАСЯЩЕГО ПОРОШКА ПВХ-1

1. Место проведения испытаний.

Испытания проведены в лаборатории рудничной пыли МакНИИ.

2. Цель испытаний.

Определение величины добавки пламегасящего порошка, необходимой для нейтрализации взрываемости угольной пыли.

3. Условия испытаний.

Для определения необходимой величины нейтрализующей добавки, обеспечивающей потерю способности угольной пыли взрываться, была использована смесь наиболее взрывчатой угольной пыли и испытуемого пламегасящего порошка. В качестве пламегасящего порошка использовался ингибитор ПВХ-1 (ТУ 6-18-10-6-84).

В качестве взрывчатой пыли была использована эталонная угольная пыль пласта m_3 «Макеевский» со следующими показателями взрывчатых свойств:

- выход летучих веществ (V^{dax}) – 28,7 %;
- нижний концентрационный предел взрываемости (НКПВ) – (24 ± 2) г/м³;
- нейтрализующая добавка инертной пыли (ТУ 21-20-46-82) – (86 ± 1) %.

Испытания проводились на лабораторной установке в соответствии с «Рабочей методикой по определению показателей взрываемости угольной пыли».

4. Результаты испытаний.

Результаты испытаний по определению взрываемости смеси угольной пыли с пламегасящим порошком при использовании в качестве нейтрализующей добавки ингибитора ПВХ-1 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты определения взрываемости смеси угольной пыли с пламегасящим порошком.

Добавка в % к угольной пыли	Результаты взрывания
40	н/в., н/в., н/в., н/в., н/в.
25	взр., взр.
26	взр., взр.
27	н/в., н/в., н/в., н/в., взр., взр., н/в.
28	н/в., взр., взр., н/в., взр.
30	взр., н/в., взр., н/в., н/в.
31	н/в., взр., н/в., взр. н/в.
32	н/в., взр., н/в., н/в., н/в.
33	взр., н/в., н/в., н/в., н/в.
34	н/в., взр., н/в., н/в., н/в.
35	н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в.

Примечание к таблице 1: «н/в.» - смесь не взрывчатая,
«взр.» - смесь взрывчатая.

5. Заключение.

Как установлено в результате проведенных испытаний, величина добавки пламегасящего порошка (ингибитора ПВХ-1) к эталонной угольной пыли, надежно нейтрализующей ее способность к взрываемости составляет по массе 35 % и более.

Руководитель работы,
зав. лабораторией рудничной пыли



А.П. Коренев

Ответственный исполнитель



Н.И. Обрезчикова

Опытный завод НИОХИМа
г. Харьков

ПАСПОРТ КАЧЕСТВА
на порошок взрывоподавляющий хлоридный ПВХ - 1
ТУ V 6 - 00209740.018 - 2000

Дата выпуска май 2007г.
Партия № 3
Вес нетто _____

№ п/п	Наименование показателей	Норма	Фактическое содержание
1	Массовая доля хлоридов в пересчете на хлорид натрия (NaCl), %	40-98	68,3
2	Массовая доля калия в пересчете на карбонат кальция (CaCO ₃), %, не более	60	27,5
3	Массовая доля диоксида кремния, %	1,5-3,0	1,58
4	Массовая доля влаги, %	0,5	0,49
5	Массовая доля влаги, которая поглощается за 1 сутки в эксикаторе над насыщенным раствором хлористого аммония (влагопоглощение), %, не более	4	3,1
6	Массовая доля остатка на сите с сеткой № 01К по ГОСТ 6613 (100 _{мкм}), %, не более	5	5

Вес отгружаемой партии: 270 кг Дата отгрузки: 19.06.2007г.

Технолог ЦОУ

Начальник ОТК




Н.Н. Воронкова

Н.А. Жутник

МІНІСТЕРСТВО
ВУГЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ
МАКІВСЬКИЙ НАУКОВО-
ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
з безпеки робіт у гірничій
промисловості



МакНДІ
86108, Макіївка Донецької обл., вул. Лихачова, 60.
Тел.: (0622) 300-11-32; (06232) 96-1-07
Телеграф 615303 "Сфера". Факс (0623) 22-19-00
e-mail: maknii@tr.dn.ua
<http://maknii.makeevka.com>

МИНИСТЕРСТВО
УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
по безопасности работ в горной
промышленности

МакНИИ
86108, Макеевка Донецкой обл., ул. Лихачева, 60.
Тел.: (0622) 300-11-32; (06232) 96-1-07
Телеграф 615303 "Сфера". Факс (0623) 22-19-00
e-mail: maknii@tr.dn.ua
<http://maknii.makeevka.com>

4. 11.06. № 139 7041

Генеральному директору
ООО «АСВП-Украина»

Кричфалуши В.М.

85000, г. Доброполье Донецкой обл.,
ул. Железнодорожная, 57

На Ваш запрос от 27.11.2006 г. № 5 сообщаем, что для снаряжения системы взрывоподавления АСВП-ЛВ предназначен огнетушащий порошок «П-АГС» по ТУ 2149-001-59158-99, сертификат пожарной безопасности № ССПБ.RU. УП001.В01760. Кроме того, МакНИИ рекомендовал к применению в системе АСВП-ЛВ пламегасящий порошок марки ПВХ-1 ТУ 6-18-10-6-84, который производится в Украине.

Зам. директора по научной работе *Коптиков* В.П. Коптиков

Приложение В



Акт

проведения исследований взрывоподавляющей способности порошкового огнетушащего состава на основе хлористого калия и карбамида предназначенного для снаряжения автоматических систем взрывоподавления и локализации взрывов АСВП-ЛВ1.М(ПГИ)

Мы, нижеподписавшиеся: д.т.н. В.А. Шмелев, профессор кафедры взрывного дела Санкт-Петербургского горного университета, д.т.н. Г.П. Парамонов и аспирант кафедры взрывного дела Санкт-Петербургского горного университета З.А. Абиев, составили настоящий Акт в том, что 01 июня 2018 г. проведены исследовательские испытания по определению эффективности применения огнетушащего состава на основе хлористого калия и карбамида для снаряжения автоматических систем взрывоподавления и локализации взрывов АСВП-ЛВ1.М(ПГИ).

Характеристики испытуемого пламегасящего состава представлены в таблице 1.

Таблица 1. Краткая характеристика пламегасящего порошка

№ п/п	Наименование показателя	Фактическое содержание
1	Массовая доля карбамида ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), %	72
2	Массовая доля хлористого калия (KCl), %	27
3	Гидрофобизирующая добавка (аэросил), %	1
4	Массовая доля влаги, %, не более	0,35
5	Количество частиц размером менее 40 мкм, %	70

1. Цель испытаний

Целью испытаний являлось определение величины навески испытуемого пламегасящего порошка, необходимой для локализации взрыва аэрозоля угольной пыли.

2. Методика испытаний

Экспериментальная установка

Система взрывных испытаний состоит из 20-литровой сферической взрывной камеры, системы управления и сбора данных. Программируемый логический контроллер (ПЛК), генератор сигнала воспламенения, панель данных давления и пользовательский интерфейс находится в блоке управления. Блок управления соединен с компьютером через Ethernet кабели. Изменение давления во взрывной камере переводится в электрический сигнал датчиком давления и передающим устройством, записывается системой сбора данных и сохраняется в памяти компьютера. Значение максимального давления P_m и степень его роста K_m можно получить из автоматического анализа кривой давления по времени.

Взрывная камера представляет собой сосуд из двух слоев нержавеющей стали (рис. 1). Для поддержания постоянной температуры внутри камеры можно поместить воду или иное вещество в двухслойную оболочку. На одной из сторон контейнера находится смотровое окошко для проверки успешности воспламенения. В камере имеются входные и выходные соединения для откачки воздуха, выхлопа, выхода горячего газа и сжатого воздуха.

Мультифазный клапан подачи пыли/воздуха (также называемый быстросействующим) установлен под дном испытательной камеры и используется для контроля над процессом рассеяния пыли. Реле давления установлено внутри стенки сосуда и используется для определения динамического давления взрыва пыли. Структура соединения крышки с камерой аналогична таковой на автоклаве. Манипуляции с крышкой может производить один человек. Рассеивающее сопло установлено на дне камеры и используется для равномерного рассеяния пыли в камере.

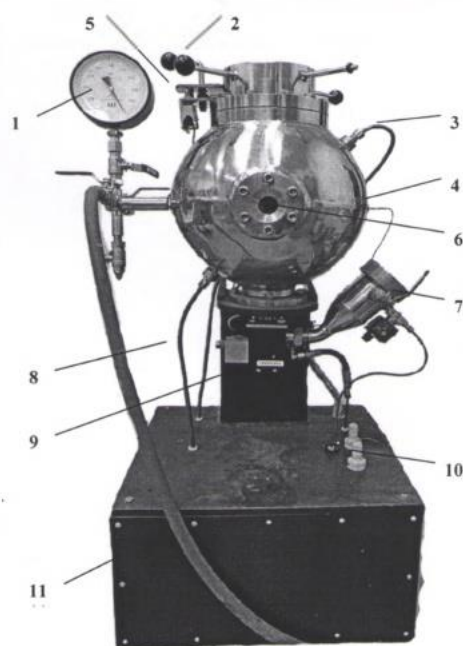


Рис. 1. Внешний вид 20-литровой взрывной камеры
 1 – вакуумметр; 2 – поворотные ручки крышки камеры; 3 – ввод для рециркуляционной воды; 4 – датчик давления; 5 – предохранительная задвижка; 6 – смотровое окно; 7 – сосуд для образцов пыли (сосуд предварительной компрессии); 8 – вывод рециркуляционной воды; 9 – мультифазный клапан подачи пыли/воздуха; 10 – контакты проводов зажигания; 11 – стойка.

Алгоритм проведения испытаний.

Общий алгоритм проведения лабораторного исследования заключается в том, что в закрытой камере сгорания установки представленной на рис.1, формируется аэрозоль каменноугольной пыли подаваемой одновременно с исследуемой навеской флегматизирующего состава с помощью сжатого воздуха, под давлением 2МПа.

Далее проводится воспламенение пылевоздушной смеси химическими воспламенителями с задержкой 60 мс. Результаты воспламенения образовавшейся внутри рабочей камеры аэрозоля заданной концентрации, давление взрыва и скорость нарастания давления взрыва автоматически фиксируются системой обработки данных.

3. Анализ и результаты испытаний пламегасящего порошка для предотвращения взрывов угольной пыли.

Результаты исследований, проведенных по описанной выше методике, представлены в таблице:

О – воспламенение отсутствует

В – угольная пыль воспламенилась

Концентрация ОПС, г/м ³	P_m , МПа	Результат опыта
10	0,8115	В
20	0,7413	В
30	0,6991	В
40	0,5215	В
50	0,4817	В
60	0,4503	В
70	0,3909	В
80	0,3544	В
90	0,3048	В
100	0,2817	В
110	0,2791	В
120	0,2459	В
130	0,2244	В
140	0,1981	В
150	0,0360	О

С целью определения взрывоподавляющей эффективности испытуемого состава, а также возможности его применения в автоматических системах взрывоподавления был выполнен анализ испытаний, проведенных в лаборатории рудничной пыли МакНИИ, целью которых было определение величины добавки пламегасящего порошка, необходимого для нейтрализации взрываемости угольной пыли.

Результаты взрываемости смеси угольной пыли с нейтрализующей добавкой в виде ингибитора ПВХ-1 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты взрываемости смеси угольной пыли с порошком ПВХ-1.

Добавка в % к угольной пыли	Результаты взрывания
40	н/в., н/в., н/в., н/в., н/в.,
25	взр., взр.,
26	взр., взр.,
27	взр., взр., н/в., н/в.,
28	н/в., взр., взр., н/в., взр.,
30	взр., н/в., взр., н/в., н/в.,
31	н/в., взр., н/в., взр., н/в.,
32	н/в., взр., н/в., н/в., н/в.,
33	взр., н/в., н/в., н/в., н/в.,
34	н/в., н/в., н/в., взр., н/в.,
35	н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в.,

Испытания, проведенные в лаборатории физики взрыва (Санкт-Петербург, Горный университет) для аналогичных условий с использованием в качестве нейтрализующей добавки исследуемого пламегасящего состава на основе хлористого калия и карбамида приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты взрываемости смеси угольной пыли с порошком на основе хлористого калия и карбамида.

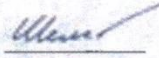
Добавка в % к угольной пыли	Результаты взрывания
40	н/в., н/в., н/в., н/в., н/в.,
25	взр., взр.,
27	н/в., н/в., взр., н/в.,
28	н/в., н/в., н/в., взр.,
30	н/в., н/в., н/в., взр.,
31	н/в., взр., н/в., взр., н/в.,
32	н/в., взр., н/в., н/в., н/в.,
33	н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в.,

4. Заключение


В результате проведенных испытаний установлено:

1. Концентрация добавки пламегасящего порошка на основе карбамида и хлористого калия, надёжно локализирующая взрыв угольной пыли должна составлять не менее 150 г/м³.
2. Величина добавки пламегасящего порошка на основе карбамида и хлористого калия, надёжно нейтрализующая её способность к взрываемости составляет 33% по массе и более.
3. Доказана взрывоподавляющая эффективность исследуемого порошкового состава. Состав рекомендован для снаряжения систем АСВП-ЛВ.1М(ПГИ) для локализации взрывов угольной пыли.


Технический директор

ООО «Геотехнология-взрывозащита», д.т.н  В.А.Шмелев

Д.т.н., проф. каф. ВД Санкт-Петербургский
горный университет

 Г.П. Парамонов

Асп. каф. ВД Санкт-Петербургский
горный университет

 З.А. Абиев