

## **АННОТАЦИЯ**

диссертационной работы докторанта PhD  
специальности 6D073400 – «Химическая технология взрывчатых веществ и  
пиротехнических средств»

### **Абдраковой Федосьи Юрьевны на тему «Разработка составов для поглощения ударной волны при аварийных взрывах».**

Диссертация посвящена разработке и исследованию новых пламегасящих составов на основе систем хлористого и углекислого аммония, кристаллогидрата сульфата натрия, нитратов натрия и калия с добавками горючих компонентов магния и алюминия, также используемых в качестве добавок газообразующих агентов в виде активированного углерода различной морфологии и природы происхождения.

Определены расчетные показатели процессов горения энергоемких систем с газофизическими добавками. Проведены экспериментальные исследования процессов горения газогенерирующих картриджей пламегасителей с добавками нанокремнеземных горючих добавок.

Определены параметры энергии, приходящейся на единицу объема продуктов взрыва для получения условия предотвращения воспламенения метановоздушной смеси. Оптимизированы составы эффективных пламегасителей с низкоскоростной детонацией на разложении.

Определены критические значения тепловых характеристик взрыва от взаимодействия продуктов взрыва (ударно-воздушных волн) со средой (ВВ, заряда) и от условий взрывания зарядов, вызывающих воспламенение шахтной среды. Исследованы линейная скорость горения предохранительных взрывчатых веществ в пламегасящей среде в камере дозвукового горения в метановоздушной среде.

Первая глава посвящена литературному обзору, где рассмотрены условия возникновения подземных газовых и пылевых взрывов в шахтной атмосфере горных выработок, механизмы взрыва газовых и пылевых взрывов рудничных газов, взрывчатость и воспламеняемость угольной пыли. Проведен анализ по системам взрывоподавления пассивными заслонами и использования предохранительных взрывчатых веществ в горючих шахтных средах. Приведен анализ проводимых аналогичных работ в России, Украине и Китае, где используются автоматические системы взрывоподавления и локализации взрывов

Постановка задач и методы исследования обусловлены потребностью в защите подземных горных выработок от взрывов метана и угольной пыли в угольных шахтах Республики Казахстан. Такие взрывы газа и угольной пыли относятся к авариям с наиболее тяжелыми последствиями в социальном и экономическом плане. Нередко они сопровождаются групповыми несчастными случаями, в отдельных случаях уносят сотни человеческих жизней.

В второй главе работе приведены методологии исследования, включающие использование программ «Тетра» для расчетов, физико-химические и технические методы исследования, методики определения температур, давления и скорости.

В третьей главе приведены исследования энергоемких составов с газообразующими компонентами. Установлено, что с увеличением в энергоемком составе количества  $C_3H_6N_6$ ,  $(C_2H_4O)_x$ ,  $(NH_2)_2C=N-C=N$  увеличивается температура горения  $T$  до 2924 К при соотношении компонентов  $NH_4NO_3/Mg/C$ : 65/20/1. Теплота взрывчатого превращения достигает  $Q_{взр} = 314.43$  Дж/кгК при увеличениях газообразующих компонентов. В результате исследования получен газогенерирующий состав с наноглеродом (300 нм) и наноалюминием (30-80 нм). Скорость горения, которого 1,25 мм/с., температура вспышки пламегасителя составила  $430^{\circ}C$  и минимальная чувствительность вспышки при ударе в 0,02 МПа.

В четвертой главе разработан химический газогенераторный состав: бездымный порох – Mg – коллоксилин- $KNO_3$ , обладающий с низкоскоростной детонацией мощностью, которой достаточно для взрывопоглощения до 30 МПа. Исследованы модельные пиротехнические композиции на основе различных окислителей (хлористый и углекислый аммоний, нитраты натрия и калия и кристаллогидрат сульфата натрия) с низкоскоростной детонацией на разложении

В пятой главе в пилотном режиме исследован импульс взрыва в угольных шахтах и процесс его затухания при взаимодействии с водным туманом. Результаты испытаний показали, что средние значения избыточного давления в трех секциях снижены на 38,8%, 26,67% и на 19,2% соответственно, исследованы линейная скорость горения предохранительных взрывчатых веществ в пламегасящей среде в камере дозвукового горения в метановоздушной среде

В шестой главе определены закономерности воспламеняющего действия пламегасителей с теплотой взрыва 1200-1500 кДж/кг относительно горючих шахтных сред. Установлены критические условия снижения ударных волн в модельной камере сгорания. Определены критические значения тепловых характеристик взрыва от взаимодействия продуктов взрыва (ударно-воздушных волн) со средой (парафин) с пробиванием мишени на глубину от 3 до 6,5 мм, при толщине водного заслона до 50 мм и от условий взрывания зарядов, вызывающих воспламенение шахтной среды.

**Актуальность темы исследования.** Развитие угольной промышленности сопряжено с разработкой более глубоких пластов, применением более производительных технологий и механизмов с увеличивающейся их энерговооруженностью, что приводит к повышению интенсивности газо- и пылевыделения в шахтах, а также к росту вероятности появления различных источников воспламенения, т.е. к усилению факторов, способствующих возникновению взрывов.

Защита подземных горных выработок от взрывов метана и угольной пыли продолжает оставаться наиболее важной задачей в комплексе мероприятий по обеспечению безопасности работ горнорабочих при подземной добыче полезных

ископаемых. Крупные техногенные катастрофы, произошедшие в последние годы на угольных шахтах угледобывающих стран тому подтверждение.

Эти обстоятельства вызывают необходимость совершенствовать весь комплекс взрывозащиты угольных шахт, в том числе и средств локализации взрывов (вспышек) метана и угольной пыли, в направлении резкого снижения количества развитых взрывов газа и угольной пыли в выработках, что позволило бы исключить сопряженные с ними травматизм горнорабочих и материальный ущерб.

Защита подземных горных выработок от взрывов метана и угольной пыли продолжает оставаться наиболее важной задачей в комплексе мероприятий по обеспечению безопасности работ горнорабочих при подземной добыче полезных ископаемых.

**Целью исследования:** Разработка энергоёмких составов для взрывозащиты угольных шахт с локализацией вероятных взрывов газа и угольной пыли.

**Задачи исследования:**

1 Теоретическое и экспериментальное определение пределов возгорания, концентрации горючих, окислителя, объема выделяющихся газов и теплот взрывчатых превращений энергоёмких составов с газообразующими компонентами. Определение оптимальных составов пламегасителей с добавками наноалюминия и углерода с высокой удельной газопроизводительностью

2 Оптимизация модельного состава эффективных пламегасителей способных охлаждать продукты взрыва за счет поглощения тепла на испарении, разложение, дегидратацию: хлористый и углекислый аммоний, нитраты натрия и калия и кристаллогидрат сульфата натрия.

3 Перспектива использования искусственного водного барьера высокого давления, как способа локализации импульса взрыва в замкнутом пространстве тоннелей и шахт. Определение импульса взрыва и процесс его затухания при взаимодействии с водным туманом.

4 Определение оптимального энергоёмкого состава, позволяющий локализовать распространение фронта пламени в шахтах при взаимодействии продуктов взрыва (ударно-воздушных волн) и водного заслона с метаном и угольной пылью.

**Методы исследования**

При решении задач, необходимых для достижения поставленных целей, использовались следующие методы исследования: термодинамический расчет с использованием программы Terra, термогравиметрический анализ, метод определения скорости горения, рентгенофазовый анализ, сканирующая электронная микроскопия, метод определения температуры горения, полигонные исследования, хроматографический анализ для определения состава газообразных продуктов.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

• Энергоёмкие составы  $\text{NH}_4\text{NO}_3/\text{Mg}/\text{C}$ : 65/20/1, где C - ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$ , ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ )  
х, ( $\text{NH}_2$ ) $_2\text{C}=\text{N}-\text{C}=\text{N}$ ), с теплотой взрывчатого превращения  $Q_{\text{взр}} = 314.43$

Дж/кгК, температурой горения  $T = 2924$  К, составы характеризуются повышенной газопроизводительностью; Газогенерирующий состав НА – 80; Нано Al -5; Нано С -15 с размерностью (С -80-100 нм, Al- 30-80 нм), характеризующийся температурой вспышки пламегасителя – 430 °С, минимальной чувствительностью вспышки при ударе до 0,02 МПа

- Газогенераторный состав: бездымный порох – Mg – коллоксилин- $KNO_3$  мощность детонации, которой достаточно для взрывопоглощения до 30 МПа. Газогенерирующие пламегасители с неорганическими составляющими (1 – хлористый аммония, 2 – углекислый аммония, 3 – нитрат натрия, 4 – нитрат калия, 5 – кристаллогидрат сульфата натрия ) с низкоскоростной детонацией на разложении и ингибированием горения до 1,25 мм/сек

- Пилотные испытания локализация импульсов взрыва водным заслоном в замкнутом пространстве в шахтах по добыче угля со снижением среднего значения избыточного давления в трех секциях на 38,8%, 26,67% и на 19,2% соответственно Закономерности воспламеняющего действия пламегасителей с теплотой взрыва 1200-1500 кДж/кг относительно горючих шахтных сред

- Закономерности технологии снижения ударных волн в модельной камере сгорания через определение критических значений тепловых характеристик взрыва от взаимодействия продуктов взрыва (ударно-воздушных волн) со средой (парафин) с пробиванием мишени на глубину от 3 до 6,5 мм, при толщине водного заслона до 50 мм и от условий взрывания зарядов, вызывающих воспламенение шахтной среды.

**Научная новизна полученных результатов** данной работы состоит в разработке нового энергоемкого состава, обладающего пламегасящим действием, который характеризуется следующими аспектами:

1. Разработкой рецептуры энергоемких составов пламегасителей на основе газогенерирующих составов хлористого и углекислого аммония с высокой скоростью горения;

2. Модифицирования классических энергоемких пламегасителей наноалюминием Alex, с исследованием влияния рецептурных факторов в присутствии газообразующих агентов в виде активированного углерода различной морфологии и природы происхождения;

3. Определение закономерности воспламеняющего действия взрыва относительно горючих шахтных сред через определение коэффициента избыточного давления ударной волны

Эти энергоемкие составы, могут быть использованы не только для локализации ударной волны но и в качестве средств для пожаротушения энергоемкими составами.

### **Практическая значимость полученных результатов**

В создании предохранительной пламегасящей среды не в очаге воспламенения, а на пути распространения фронта пламени, чтобы не допустить развития взрыва метана во взрыв угольной пыли. Поскольку вовлечение в процесс большого количества горючей пыли, если его не остановить, может лавинообразно переходить во все более мощные взрывы пыле-метановоздушной

смеси переходящие в конечном итоге в детонационный взрыв с огромной разрушающей силой, ведущие за собой не только огромные экономические потери но и человеческие ресурсы.

Настоящая работа относится к развитию науки и технологии в области производства газогенераторов применяемых для взрывозащиты в шахтах опасных по газу и пыли, исследования направлены на поиск химических составов для подавления очагов возгорания в закрытых помещениях (подземных угольных шахтах, приборных отсеках, электрошкафах, складских и производственных помещениях, в железнодорожных вагонах и т.п.)

Для социально-экономического развития Республики Казахстан, в настоящее время очевидной становится необходимость разработки научных основ и создания новых технологий в горнодобывающей промышленности и разработке карьеров.

#### **Апробация работы**

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на различных международных симпозиумах и зарубежных конференциях:

Матер. VIII междунар. симп. «Горения и плазмохимия» и Международная научно-техническая конференция «Энергоэффективность-2015» (Алматы, Казахстан, 2015); IX Международный симпозиум «Физика и химия углеродных материалов/Наноинженерия» и Международной конференции «Нанозергетические материалы и нанозергетика» (Алматы, 12-14 сентября, 2016); Тезисы докл. X Международного симпозиума «Физика и химия углеродных и нанозергетических материалов» Алматы, -2018; Carbon July 15-19, 2019. Lexington, USA; 3rd World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship (WOCTINE) June 21-23, 2019. Istanbul, Turkey; Proceeding of the 10 th International Beremzhanov congress on chemistry and chemical technology. – Almaty, 2019; III Международная научно-практическая конференция «Science and business -2021" - Алматы, - 2021 ; XII International Symposium Combustion and plasmochimistry. Physics and chemistry of material science " - Almaty, - 2021.

**Публикации.** Результаты диссертационной работы были опубликованы в 24 печатных работах, из них 4 статьи, входящей в базу данных Scopus, 4 публикации были опубликованы в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки РК, 16 – в сборниках международных симпозиумов и зарубежных конференции.

#### **Связь с научно-исследовательскими работами и государственными программами**

Тема представленной к защите диссертации «Разработка составов для поглощения ударной волны при аварийных взрывах», выполнена в рамках международного проекта МНТЦ INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CENTER Project No. #G-2209 Automated System for Protection from Accidental Explosions in Underground Structures, 2016-2019 гг и программы фундаментальных исследований: «Грантовое финансирование» по теме: «Получение жидкого топлива из угля и твердых органических отходов в присутствии пастообразователей».

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа изложена на 101 страницах и включает 60 рисунков и 17 таблиц. Работа состоит из введения, обзора литературы, описания объектов и методов исследования, результатов и их обсуждения, заключения и списка использованных источников из 96 наименований.

**Личный вклад автора** заключается в постановке и проведении экспериментов, определении методов анализа и путей решения поставленных практических и теоретических задач, обобщении и интерпретации полученных результатов, написании статей и отчетов.