

Южно-Казахстанский государственный университет
им. М. Ауэзова

УДК 66.022.38

На правах рукописи

САПАРГАЛИЕВА БАЯН ОРАЛХАНОВНА

**Исследование процесса получения пожаро – взрывоподавляющих
порошковых составов на основе промышленных отходов**

6D073100 – Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научный консультант
кандидат технических наук, доцент
НауKENOVA A.C.

Зарубежный научный консультант
доктор PhD, профессор
Хавьер Родриго Иллари
Испания

Республика Казахстан
Шымкент, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	7
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	11
ВВЕДЕНИЕ	12
1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И ПОДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВОВ ПОРОШКОВЫМИ СОСТАВАМИ	22
1.1 Современное состояние проблем решения механизмов процессов гашения пламени.....	22
1.1.1 Концентрационные пределы распространения пламени.....	22
1.1.2 Общие закономерности для пределов распространения пламени.....	25
1.1.3 Исследование процесса горения и затухания пламени в узких каналах.....	26
1.1.4 Пределы распространения пламени в системе «Горючий газ + окислитель +флегматизатор».....	28
1.1.5 Закономерности для точки флегматизации.....	32
1.1.6 Механизмы флегматизации взрывоопасных смесей.....	34
1.2 Исследование состояния эффективности и долговечности огнетушащих порошков.....	37
1.2.1 Классификация огнетушащих и взрывоподавляющих составов.....	37
1.2.2 Характеристика свойств и составов огнетушащих порошков.....	40
1.2.3 Огнетушащая способность и эффективность порошков.....	47
1.2.4 Пригодность и долговечность использования огнетушащих порошков.....	59
Выводы по 1 разделу.....	60
2 МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОГNETУШАЩЕЙ (ВЗРЫВОПОДАВЛЯЮЩЕЙ) ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ	62
2.1 Методика и установки определения эндотермических свойств порошковых материалов методом дифференциально-термографического анализа (ДТА).....	62
2.2 Методика экспериментального определения дисперсности порошков.....	72
2.3 Исследование физико-химических свойств и химического состава компонентов фосфогипса и электротермофосфорного шлака.....	86
2.3.1 Фосфогипс и его физико-химические свойства.....	86
2.3.2 Электротермофосфорный шлак и его физико-химические свойства.....	92
2.4 Рентгено-фазовый анализ компонентов шихтовой смеси.....	97
2.5 Исследование эндотермических свойств отходов промышленности.....	104
Выводы по 2 разделу.....	113
3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В СРЕДЕ MATLAB	114
3.1 Аналитическое прогнозирование огнетушащей способности минералов и отходов производств фосфорной промышленности.....	114

3.2	Компьютерное моделирование физико-технических процессов горения.....	116
3.3	Распространение пламени в узких каналах в MATLAB.....	118
3.4	Компьютерная модель распространения концентрационного предела пламени.....	118
	Выводы по 3 разделу.....	129
4	ИССЛЕДОВАНИЕ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОБЪЕМНОМ ТУШЕНИИ И ПОДАВЛЕНИИ ВЗРЫВОВ ГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ.....	130
4.1	Определение огнетушащей эффективности пылевидных промышленных отходов.....	130
4.2	Исследование огнетушащей способности просроченных стандартных пламегасящих порошков.....	136
	Выводы по 4 разделу.....	141
5	РАЗРАБОТКА НОВЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ.....	142
5.1	Исследование эксплуатационных свойств разработанных порошков.....	142
5.2	Оптимизация составов разработанных огнетушащих порошков на основе промышленных отходов.....	150
5.3	Обоснование экономической эффективности использования пылевидных отходов и некондиционного порошка в огнетушащих составах многоцелевого назначения.....	152
	Выводы по 5 разделу.....	155
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	156
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	158
	ПРИЛОЖЕНИЕ А – Методика расчетов термодинамических показателей реакции.....	167
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Международное авторское произведение	169
	ПРИЛОЖЕНИЕ В – Международное авторское произведение	170
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Акт испытания.....	171
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Рецензия-рекомендация.....	176
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Акт внедрения.....	178
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – Акт внедрения.....	180
	ПРИЛОЖЕНИЕ И – Акт внедрения.....	181
	ПРИЛОЖЕНИЕ К – Акт внедрения.....	182
	ПРИЛОЖЕНИЕ Л – Акт внедрения.....	183
	ПРИЛОЖЕНИЕ М – Акт внедрения.....	184
	ПРИЛОЖЕНИЕ Н – Международное авторское произведение	185
	ПРИЛОЖЕНИЕ П – Международное авторское произведение	186

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертационной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

ГОСТ 12.4.010-75. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия.

ГОСТ 12.4.028-76. Система стандартов безопасности труда. Респираторы ШБ-1 «Лепесток». Технические условия.

ГОСТ 450-77. Кальций хлористый технический. Технические условия.

ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.

ГОСТ 27331-87. Пожарная техника. Классификация пожаров.

ГОСТ 12.1.041-83. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования.

ГОСТ 4.107-83. Система показателей качества продукции. Порошки огнетушащие. Номенклатура показателей.

ГОСТ 4.132-85. Система показателей качества продукции. Порошки огнетушащие. Номенклатура показателей.

ГОСТ 28130-89. (СТ СЭВ 6301-88) Пожарная техника. Огнетушители, установки пожаротушения и пожарной сигнализации.

ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

ТУ 113-08-597-86. Порошки огнетушащие марки П-2АП и П-4АП.

ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ Р 51017-97. Пожарная техника. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ 26952-97. Порошки огнетушащие. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ Р 53280.4-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ Р 53280.5-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие специального назначения. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ 26952-86. Порошки огнетушащие. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.2.037-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Техника пожарная. Требования безопасности (с Изменениями N 1, 2).

ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

ГОСТ Р 50982-96. Техника пожарная. Инструмент для проведения специальных работ на пожаре. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 50982-2003. Техника пожарная. Инструмент для проведения специальных работ на пожаре. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 50982-2009. Техника пожарная. Инструмент для проведения специальных работ на пожарах. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 51017-2009. Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 51057-97. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53280.1-2010. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 1. Пенообразователи для тушения пожаров водорастворимых горючих жидкостей подачей сверху. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ Р 53280.2-2010. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 2. Пенообразователи для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ Р 53280.3-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 3. Газовые огнетушащие вещества. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53281-2009. Установки газового пожаротушения автоматические. Модули и батареи. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53271-2009. Техника пожарная. Рукава спасательные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53272-2009. Техника пожарная. Устройства канатно-спускные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53273-2009. Техника пожарная. Устройства спасательные прыжковые пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53274-2009. Техника пожарная. Трапы спасательные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53275-2009. Техника пожарная. Лестницы ручные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53276-2009. Техника пожарная. Лестница навесные спасательные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53277-2009. Техника пожарная. Оборудование по обслуживанию пожарных рукавов. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53278-2009. Техника пожарная. Клапаны пожарные запорные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53279-2009. Техника пожарная. Головки соединительные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53282-2009. Установки газового пожаротушения автоматические. Резервуары изотермические пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53283-2009. Установки газового пожаротушения автоматические. Устройства распределительные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53284-2009. Техника пожарная. Генераторы огнетушащего аэрозоля. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53285-2009. Техника пожарная. Генераторы огнетушащего аэрозоля переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 53286-2009. Техника пожарная. Установки порошкового пожаротушения автоматические. Модули. Общие технические требования. Методы испытаний.

СТ РК 1166-2002. Техника пожарная. Классификация. Термины и определения.

СТ РК 1174-2003. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

СТ РК 1088-2003. Пожарная безопасность. Термины и определения.

СТ РК ГОСТ Р 51057 – 2005. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.

СТ РК 1487-2006. Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации.

СТ РК 1610-2006. Порошки огнетушащие специального назначения. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний.

СТ РК 1166-2002 Техника пожарная. Классификация. Термины и определения.

СТ РК 1174-2003 Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

ГОСТ 27331-87 Пожарная техника. Классификация пожаров.

ГОСТ Р 51017-97 Пожарная техника. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ППБ РК 08-97. Правила пожарной безопасности в Республике Казахстан. Основные требования.

ИСО 7165:2009. Пожаротушение – Переносные огнетушители. Устройство и принцип действия.

ИСО 7202:2012. Противопожарная защита — Огнетушащие вещества — Порошки.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Пожарная безопасность – состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров.

Горючая нагрузка - горючие вещества и материалы, расположенные в помещении или на открытых площадках.

Огненный шар - крупномасштабное диффузионное пламя сгорающей массы топлива или парового облака, поднимающееся над поверхностью земли.

Пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Размер зоны – протяженность ограниченной каким-либо образом части пространства.

Пороговое количество вещества – минимальное количество единовременно находящегося в производстве вещества, которое определяет границу между технологическими процессами и технологическими процессами повышенной пожарной опасности.

Технологический процесс – часть производственного процесса, связанная с действиями, направленными на изменение свойств и (или) состояния обращающихся в процессе веществ и изделий.

Время срабатывания и время отключения – промежуток времени от начала возможного поступления горючего вещества из трубопровода (перфорация, разрыв, изменение номинального давления и т.п.) до полного прекращения поступления газа или жидкости в помещение.

Разгерметизация – наиболее распространенный способ пожаровзрывозащиты замкнутого оборудования и помещений, заключающийся в оснащении их предохранительными мембранами и (или) другими разгерметизирующими устройствами с такой площадью сбросного сечения, которая достаточна для предотвращения разрушения оборудования или помещения от роста избыточного давления при сгорании горючих смесей.

Огнестойкость технологического оборудования – промежуток времени, в течение которого воздействие стандартного очага пожара не приводит к потере функциональных свойств оборудования.

Воспламенение – начало пламенного горения под воздействием источника зажигания.

Горение – экзотермическая реакция окисления вещества, сопровождаемая по крайней мере одним из трех факторов: пламенем, свечением, выделением дыма.

Зажигание – процесс, приводящий к возникновению горения.

Кажущаяся плотность порошка – отношение массы порошка к занимаемому им объему.

Огнетушитель – переносное или передвижное устройство, предназначенное для тушения очага пожара за счет выпуска огнетушащего

вещества, с ручным способом доставки к очагу пожара, приведения в действие и управления струей огнетушащего вещества (ГОСТ 12.2.047).

Огнетушитель заряженный – готовый к применению огнетушитель с опломбированным запускающим или запорно-пусковым устройством, содержащий требуемые по техническим условиям заряды огнетушащего вещества и вытесняющего газа.

Очаг пожара модельный – очаг пожара, предназначенный для испытания пожарной техники, формы и размеры которого установлены нормативными документами.

Огнетушащая способность – количественная характеристика веществ, применяемых методов и устройств, предназначенных для пожаротушения.

Огнетушащие (пламегасящие) вещества – вещества и материалы, обладающие физико-химическими свойствами, создающие условия для прекращения горения (ГОСТ 12.1.033). Выбор огнетушащих средств и тактики их использования зависит от места пожара и свойств горючих материалов.

Огнетушитель водный, ОВ – огнетушитель с зарядом воды или воды с добавками (ГОСТ 12.2.047).

Огнетушитель воздушно-пенный, ОВП – огнетушитель с зарядом водного раствора пенообразующих добавок и специальным насадком, в котором за счет эжекции воздуха образуется и формируется струя воздушно-механической пены.

Огнетушитель с газовым баллоном, О-(б) – огнетушитель, избыточное давление в корпусе которого создается сжатым или сжиженным газом, содержащимся в баллоне. Баллон может быть расположен как внутри, так и снаружи корпуса огнетушителя.

Огнетушитель с газогенерирующим элементом, О-(г) – огнетушитель, избыточное давление в корпусе которого создается в результате выделения газа в ходе химической реакции между компонентами заряда, газогенерирующего элемента.

Огнетушитель закачной, О-(з) – огнетушитель, заряд огнетушащего вещества и корпус (сосуд) которого постоянно находятся под давлением вытесняющего газа или паров огнетушащего вещества.

Слеживаемость – процесс, приводящий к слипанию отдельных частиц порошка в большие конгломераты или в сплошной массив.

Срок сохраняемости – календарная продолжительность хранения в упаковке изготовителя, в течение которой изменение показателей качества не превышают значений, установленных в нормативной или технической документации (ТД или НД).

Текучесть – способность порошка обеспечивать массовый расход через данное сечение в единицу времени под воздействием давления выталкивающего газа.

Кондиционный – обратная засыпка с заменого грунта.

Вязущие вещества – вещества, способные затвердевать в результате физико-химических процессов.

Ползучесть – медленная, происходящая с течением времени деформация твёрдого тела под воздействием постоянной нагрузки или механического напряжения.

Ингибиторы – вещества, активно тормозящие химическую реакцию в пламени.

Флегматизаторы – вещества, замедляющие скорость горения, оказывают пассивное действие на пламя, и не влияют на кинетику и химизм реакций в пламени.

Дренирование – отсасывание жидкости из какой-либо полости (обычно аномально скопившейся жидкости).

Показатель огнетушащей способности – масса порошка, необходимая для тушения из огнетушителя единицы площади открытой горячей поверхности или всего очага пожара, принятого в качестве модельного.

Показатель слеживаемости – показатель, характеризующий способность огнетушащего порошка слеживаться под воздействием внешних факторов.

Огнетушащая способность по тушению модельного очага пожара – способность тушения модельных очагов пожара классов А и В (ГОСТ 27331-87) при определенных условиях.

Продолжительность приведения огнетушителя в действие – время с момента воздействия на запорно-пусковое устройство до момента начала истечения огнетушащего вещества.

Газ вытесняющий – сжатый или сжиженный газ, создающий избыточное давление в корпусе огнетушителя и используемый для подачи огнетушащего вещества из огнетушителя на очаг горения.

Длина струи огнетушащего вещества – расстояние по горизонтали от насадка-распылителя до границы распространения основной массы огнетушащего вещества при его выпуске из огнетушителя.

Заряд огнетушителя – количество огнетушащего вещества, находящегося в корпусе огнетушителя, выраженное в единицах массы или объема.

Значение параметра номинальное (масса, объем, давление, температура и др.) – оптимальное значение параметра, используемое в расчетах и служащее началом отсчета предельных отклонений его значения.

Корпус огнетушителя – одна или несколько емкостей, установленных на тележку и предназначенных для загрузки и подачи огнетушащего вещества на очаг пожара под действием избыточного давления собственных паров или вытесняющего газа.

Кратность пены – отношение объема пены к объему раствора пенообразователя, содержащегося в пене (ГОСТ Р 50588).

Масса огнетушителя конструкционная – масса полностью укомплектованного огнетушителя, но без заряда огнетушащего вещества.

Масса огнетушителя полная – масса полностью укомплектованного огнетушителя с зарядом огнетушащего вещества.

Наддув корпуса огнетушителя – заполнение корпуса заряженного огнетушителя вытесняющим газом (до значения рабочего давления) без выпуска из него огнетушащего вещества.

Удельная масса – Отношение полной массы огнетушителя к площади тушения очага пожара.

Удельная материалоемкость – отношение суммы расходов материала на изготовление огнетушителя к площади тушения очага пожара.

Удельная себестоимость – отношение суммы себестоимости изготовления огнетушителя к площади тушения очага пожара.

Удельная трудоемкость изготовления – отношение суммы трудоемкостей изготовления огнетушителя к площади тушения очага пожара.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей диссертационной работе применяются следующие обозначения и сокращения:

ГОСТ – государственные стандарты.

РК – Республика Казахстан.

ТО – Туркестанская область.

АО – Алматинская область.

КПР – Концентрационные пределы распространения пламени.

МВСК – Минимальное взрывоопасное содержание кислорода.

МЭЗ – Минимальная энергия зажигания.

АЦП – Активные центры пламени.

АСПВ –ЛВ – Автоматическая система взрывоподавления и локализации взрыва.

УЛВ – устройство локализации взрыва.

АКУ – автономное командное устройство.

ВВ – взрывчатые вещества.

ВНИИГД – Всероссийский научно-исследовательский институт Горного департамента.

ВНИИПО – Всероссийский научно-исследовательский институт пожарной охраны.

ДТА – Дифференциально-термический анализ.

ОТВ – Огнетушащие вещества.

ОП – Огнетушитель порошковый.

ОСП – Огнетушитель самосрабатывающий порошковый.

п.п.п. – Потери при прокаливании.

СОТ – Системы объёмного тушения.

ТА – Термический анализ.

ТОО Алматы Жолдары – ТОО «Алматы Жолдары» (Алматинская область).

ТОО «Казфосфат» - ТОО «Казфосфат» (Жамбылская область).

ШКЗ – Шымкентский кирпичный завод (ТО).

SC – Завод STANDARD CEMENT (ТО).

ЭТФШ – Электротермофосфорные шлаки.

ЛВЖ – Легковоспламеняющиеся жидкости.

ГЖ – Горючие жидкости.

МПП – Модули порошкового пожаротушения.

НКПРП – Нижний концентрационный предел распространения пламени.

ВКПРП – Верхний концентрационный предел распространения пламени.

НТПРП – Нижний температурный предел распространения пламени.

ВТПРП – Верхний температурный предел распространения пламени.

КМ – Компонентное моделирование.

СМ – Структурное моделирование.

ФМ – Физическое моделирование.

МГС – Моделирование гибридных систем.

ВВЕДЕНИЕ

Как показывает мировая практика, одним из эффективных и универсальных пожаро- и взрывоподавляющих и огнетушащих веществ являются порошковые составы. Широкое распространение огнетушащих порошков обусловлено рядом достоинств, таких как высокая тушащая способность, практичность способов подачи, совершенствование качественных характеристик порошковых составов, экономическая выгода (показателем которой является отношение их стоимости к площади пожаротушения) и экологическая безопасность.

Средствами пожаротушения (мобильными, стационарными, первичными) оснащаются общественные учреждения, производственные объекты, гаражи, автозаправочные станции, складские помещения, в том числе с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, и многие другие объекты. К огнетушащим веществам относятся вода, пена, порошки, аэрозоли, инертные газы, растворы, обладающие определенными свойствами. Огнетушащие вещества, согласно принципу их воздействия на пламя, делят на охлаждающие, изолирующие, ингибирующие и разбавляющие. Их используют, учитывая класс и характеристику пожара. Основными техническими требованиями, предъявляемыми к пожаротушащим веществам, являются: огнетушащая эффективность, кажущаяся насыпная плотность, текучесть и влажность, устойчивость к слеживанию и способность к влагопоглощению, дешевизна, надежность, экологическая безопасность.

Пожаро-взрывоподавляющие порошковые составы представляют собой мелкоизмельченные минеральные соли с различными добавками, обеспечивающие разные степени защиты от пожаров. Широкий ассортимент огнетушащих порошков обусловлен разнообразием способов пожаротушения. Механизм их огнетушащего воздействия на процесс горения полностью не изучен, в этом направлении ведется интенсивная работа. Производство порошковых огнетушителей в странах Европейского Союза составляет свыше 84 %, в Казахстане – более 76 % от общего числа пожаротушащих средств.

Использование, обработка и хранение сыпучих порошков имеют место в различных отраслях промышленности. Многие сыпучие материалы, в том числе и взрыво-пожароподавляющие порошки, со временем подвергаются изменениям, приводящим к их слеживаемости (комкованию). Это обстоятельство часто приводит к простоям производственного процесса и негативно влияет на его эффективность. Дорогостоящие стандартные огнетушащие порошки с истекшим сроком годности частично используются в качестве удобрений (карбамид, фосфорно-аммонийные и калиевые соли), однако основная часть не находит применения и складывается в отвалах.

В настоящий момент рациональное и комплексное использование промышленных отходов в различных отраслях экономики и промышленности составляет менее 20% от ежегодного объема их образования. Так, например, для изготовления строительных материалов различного назначения из отходов фосфорной и металлургической промышленности используется незначительная

часть расплавленных шлаков и фосфогипса, в то время как большая их часть остается без применения. Предприятиями горно-перерабатывающей и горно-химической отраслей ежегодно добывается сотни тонн минерального сырья, около 10% которого – попутные материалы и техногенные отходы, пригодные для производства строительных материалов. Также возможна утилизация этих материалов в качестве добавок при изготовлении бетона, железобетона, кирпича и простых заполнителей. К недостаткам фосфоритов относится содержание в них примесей, которые не должны содержаться в удобрениях. В то же время, некоторые из таких примесей, например, редкоземельные элементы, целесообразно извлекать из фосфоритов по причине их высокой стоимости.

В настоящее время в Республике Казахстан накопилось свыше 19 миллиардов тонн твердых бытовых и техногенных отходов. Они лишь частично подвергаются переработке, что приводит в крупных городах республики к ухудшению санитарно-эпидемиологической ситуации. Ежегодно миллионы тонн фосфогипса отправляются на свалки и неблагоприятно воздействуют на окружающую среду. Ни одно из направлений переработки фосфогипса в промышленности еще не реализовано. Требуется кардинальные меры в решении проблемы по утилизации бытовых и промышленных отходов.

В южном регионе Республики Казахстан одним из крупнейших загрязнителей окружающей среды является ТОО «Казфосфат» (Жамбылская область). Отходы фосфорной и угледобывающей промышленности (внутренние вскрышные породы угледобычи Ленгерского месторождения Туркестанской области (ТО), угольных бассейнов Карагандинской области и Экибастуз), накапливаясь в больших количествах, занимающих значительные площади под их хранение и нарушают экологическую обстановку регионов. Более 90% составляют отходы фосфорного производства, такие как литой и гранулированный электротермофосфорный шлак, фосфогипс. В состав этих отходов входят алюмосиликаты, кальцийсодержащие соединения и другие элементы.

Информация об основных загрязнителях окружающей среды в скором времени появится в открытом доступе на сайте www.ecocitizens.kz. В 2016 году в Казахстане вступил в силу закон, в соответствии с которым промышленные предприятия, наносящие значительный вред окружающей среде, обязаны предоставлять данные о выбросах загрязняющих веществ. Государство уже пытается несколько лет внедрить такую систему для информирования граждан, но до 2016 года предприятия были законодательно не обязаны предоставлять данные. Было принято решение создать базу, в которой отражены предприятия, которые добровольно предоставляют данные в Министерство энергетики РК. В этой базе представлены данные по выбросам в атмосферу, которые превышают пороговые уровни эмиссий загрязняющих веществ, действующие в странах Европейского союза, при достижении которых надо предоставлять отчетность в государственные органы контроля за загрязнением окружающей среды.

Экологи надеются, что информация, представленная в реестре, поможет государственным органам настаивать на соблюдении законодательства и

снизить воздействие на окружающую среду, а гражданам даст информацию об экологической ситуации и возможность отстаивать свои права.

Изучение флегматизирующих свойств отходов производства и исследование процесса получения взрывоподавляющих порошковых составов на их основе являются актуальными. Это обусловлено малыми затратами на дополнительную доработку отходов, дешевизной продукта и вкладом в решение проблемы экологической безопасности. Остается малоизученной методика оценки пожаро-взрывоподавляющих свойств тонкодисперсных порошковых составов, полученных на основе отходов производства фосфогипса. В настоящей работе представлены результаты исследований, направленных на реализацию шагов по получению экологически чистых отходов от производства удобрений и их утилизации, улучшение пожаро-взрывоподавляющей способности тушащих порошков, с одновременным улучшением экологической обстановки промышленных регионов в целом.

Актуальность работы. Одним из приоритетных направлений безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды является создание модифицированных пожаро-взрывоподавляющих порошковых составов с применением техногенных отходов различных производств. Их применение делает возможным повторное использование некондиционных (просроченных) огнетушащих составов возможно в качестве веществ, замедляющих процессы взрыва и горения материалов.

Пожаро-взрывоподавляющие порошки по окончании срока годности подлежат регенерации или утилизации. Для процедуры регенерации, т.е. возобновления пожаротушащих свойств порошка, он отправляется на завод-производитель для восстановления его свойств и характеристик. Это позволяет модифицировать свойства порошка и выпускать усовершенствованный продукт. При этом вносится весомый вклад в развитие системы рационального использования природных ресурсов, утилизации отходов производства, сохранения экологической обстановки местности, а также предотвращения чрезвычайных и аварийных ситуаций на промышленных отвалах.

Комплексное и рациональное использование вторичных материально-сырьевых ресурсов и отходов различных производств должно занимать определенное место в сырьевом балансе промышленности и предупреждении чрезвычайных ситуаций. К настоящему времени доля их использования составляет около 3-5%, вместо расчетных показателей 25-30% от объема сырья. Поэтому, в период индустриально-инновационного развития, вопросы рационального и комплексного использования техногенных отходов имеют важное практическое значение.

Несмотря на то, что важность повторного использования продуктов неоднократно отмечалась как в законодательстве, так и в научных кругах, на данный момент нет комплексных и систематических методов оценки и повторного использования огнетушащих порошков с экологической точки зрения. В данной работе представлена классификация различных видов повторного использования продукта, включая некоторые предлагаемые определения. Основное внимание уделяется вопросам восстановления и типам

повторного использования, при которых использованный порошок (или его компоненты), по крайней мере, восстанавливает первоначальный уровень производительности. В работе описывается разработка метода оценки жизненного цикла. Помимо этого, используются различные численно-аналитические программные средства, которые помогают моделировать процессы создания и апробации полученных смесей, в частности, такие программные продукты, как MATLAB. В перспективе, будут исследованы потенциальные экологические выгоды восстановления пожаро-взрывоподавляющих порошков. Упомянутый метод включает в себя несколько новых аспектов: он позволяет проводить анализ возможных компромиссов между потенциальными воздействиями и энергоэффективностью; независимо моделировать некоторые параметры, которые влияют на повторное использование продукта; метод применим даже на ранних этапах процесса модернизации, когда некоторые технические характеристики, возможно, еще не были определены. Воздействие на окружающую среду этапов жизненного цикла продукта используется в качестве входных параметров для оценки.

Решение вопросов защиты окружающей среды и предотвращения нарушения ландшафта местности, как указано выше, приводит к необходимости применения альтернативных подручных сырьевых материалов из промышленных отходов для предупреждения чрезвычайных и аварийных ситуаций. В то же время, на предприятиях фосфорной и угледобывающей индустрии накопились миллионы тонн производственных отходов в виде электротермофосфорных шлаков, фосфогипса и внутренних вскрышных пород, позволяющие решить проблему рационального использования материальных ресурсов и экологической ситуации в промышленных регионах.

Важность рационального и комплексного применения сырьевых материалов в предупреждении чрезвычайных и аварийных ситуаций подтверждается следующими факторами:

- совершенствование методологии определения и прогнозирования пожаро-взрывоподавляющей эффективности пламегасящих порошковых составов используя математическое и компьютерное моделирование MATLAB;
- исследование параметров некондиционных (просроченных) огнетушащих порошков и возможности их дальнейшего использования;
- исследование флегматизирующих свойств отходов промышленности как для разработки новых эффективных пламегасящих составов, так и для продления срока службы некондиционных порошков;
- решение вопросов защиты окружающей среды путем утилизации отходов различных производств и промышленности для освобождения выделенных под отвалы полевых земельных угодий;
- исключение вредного воздействия выбросов различных отходных элементов в окружающую среду.

Все указанное является актуальной задачей в направлении обеспечения безопасности и жизнедеятельности людей, предупреждения чрезвычайных и аварийных ситуаций на местах возгорания и пожаров. К тому же, отходы производств хорошо зарекомендовали себя в получении усовершенствованных

пожаро-взрывоподавляющих порошков, остро необходимых при пожаротушении.

Цель исследования:

- использование отходов производства фосфора для разработки на их основе дешевых и экологически безопасных пожаро-взрывоподавляющих смесей;

- определение и разработка возможности использования композиционного материала из отходов фосфорной отрасли, в частности фосфогипса и электротермофосфонового шлака, позволяющих улучшить пожаротушащую способность;

- исследование огнетушащего свойства просроченных серийных порошков и оценить возможность их рециклинга в композиционных пламегасящих составах.

Задачи исследования:

- разработать пожаро-взрывоподавляющие составы с учетом дешевизны сырья из отходов производств, малой токсичности и безопасности жизнедеятельности окружающей среды;

- теоретически определить рациональные соотношения компонентов экспериментально исследовать пожаро-взрывоподавляющую способность полученных композиций, выбрать приемлемые варианты на основе отходов производств;

- исследование на основе математического и компьютерного моделирования MATLAB при создании свойств порошков из отходов производств;

- рекомендовать разработанные огнетушащие составы к использованию на производстве.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются вопросы применения пылевидных отходов производств и стандартных огнетушащих порошков с истекшим сроком годности с целью обеспечения безопасности жизнедеятельности при чрезвычайных ситуациях от пожаров различных классов.

Предметом исследований являются состав и несложные технологии изготовления новых пожаро-взрывоподавляющих порошков из отходов фосфорного производства и просроченных огнетушащих порошков, а также их эколого-экономическая эффективность. Помимо этого, на основе предлагаемых компьютерно-математических моделей возможно дальнейшее исследование и моделирование процессов смешивания и распространения пламени с использованием полученных моделей.

Научная новизна:

- выявлена пригодность использования отходов фосфорного производства и огнетушащих порошков с истекшим сроком годности в качестве пожаро-взрывоподавляющих средств;

- использована методика MATLAB для получения пожаро-взрывоподавляющего порошка с применением огнетушащих составов (в качестве основного компонента выбран просроченный порошок П-2АП, сохранивший

основные эксплуатационные свойства) и не востребованных пылевидных отходов фосфогипса и электротермофосфорного шлака, которые обеспечивают достаточно высокие эксплуатационные свойства составов при весьма незначительной стоимости;

- разработан состав пожаро-взрывоподавляющего порошка из смеси со следующими соотношениями: состав № 1 - огнетушащий порошок состав на основе просроченного порошка П-2АП (73-74,5%) + фосфогипс (27-25,5%) и состав № 2 - огнетушащий порошок состав на основе просроченного порошка П-2АП (54-57%) + электротермофосфорный шлак (46-43%).

Практическая значимость:

- использована методология (MATLAB) для изготовления составов из отходов производств, позволяющая улучшить экологическое состояние промышленных регионов в РК;

- использование отходов различных производств при пожаротушении, как одного из эффективных мероприятий, направленных на обеспечение защиты окружающей среды и сохранения природных материальных ресурсов, флоры и фауны;

- показана пригодность использования отходов фосфорного производства и огнетушащих порошков с просроченным сроком годности в качестве пожаро-взрывоподавляющих средств, что обеспечит безопасность жизнедеятельности и предупреждение чрезвычайных и аварийных ситуаций;

- разработан композиционный порошок состав на основе просроченных типовых огнетушащих порошков и дисперсных отходов фосфогипса и электротермофосфорного шлака;

- разработаны сырьевые материалы для пожаро-взрывоподавляющего состава на основе электротермофосфорного шлака и фосфогипса с использованием математического и компьютерного моделирования, которые подтверждены четырьмя международными авторскими произведениями;

- снижение стоимости пожаро-взрывоподавляющих составов многоцелевого назначения достигается применением отходов фосфорного производства и просроченного порошка;

- результаты диссертационной работы рекомендованы для внедрения в учебный процесс для подготовки бакалавров и магистрантов по специальности «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» в Южно-Казахстанском государственном университете имени М. Ауэзова: 1) «Теоретические основы пожарной безопасности» – 6 кредитов; 2) «Научные основы пожарной безопасности» – 6 кредитов; 3) «Теория горения и взрыва» – 7 кредитов, 4) «Пожарная безопасность общественных и жилых зданий» - 5 кредитов.

Объектом исследования являются обеспечение безопасности жизнедеятельности при чрезвычайных ситуациях от пожаров различных классов с применением пылевидных отходов фосфорных производств и стандартных эффективных просроченных огнетушащих порошков.

Используется экспериментальный, расчетный метод исследования и контроля физико-химических свойств порошковых составов, математическое и

компьютерное моделирование. Опытно-промышленные испытания проводились на полномасштабных моделях опытных пожарных участков, созданных из отходов различных производств и стандартных просроченных огнетушащих порошков, с учетом требований нормативно-технической документации.

Разработка новых пожаро-взрывоподавляющих составов, содержащих дисперсные отходы производства минеральных удобрений, желтый фосфор и стандартные просроченные огнетушащие порошки, для изготовления на их основе дешевых и экологически безопасных огнезащитных смесей.

Методы исследований. В диссертации использованы методики теоретического и экспериментального исследования, включающие аналитический обзор литературы, патентный поиск, обобщение международного опыта по экспериментальным и расчетным методам определения пожаро-взрывоподавляющей эффективности пылевидных материалов, методы математического и компьютерного моделирования, экспериментальное исследование, с применением современных приборов и оборудования, по определению физико-химических свойств исходных материалов и конечной продукции как в лабораторных, так и в опытных условиях.

Опытно-промышленные испытания проводились на полномасштабных моделях опытных пожарных участков, созданные из отходов различных производств и стандартных просроченных огнетушащих порошков, с учетом нормативно-технической документации.

Основные положения, выносимые на защиту:

- способ, технология приготовления и пожаро-взрывоподавляющие свойства порошка определяются величиной поглощенной энергии в процессах разложения и испарения вещества, интенсивностью и шириной диапазона охлаждения зоны пламени;

- приемлемая оценка энергоемкости порошка достигается теоретическим методом расчета по тепловым эффектам процессов тления и диссоциации порошка;

- результаты исследований структурообразования в процессе разработки смесей на основе фосфорных отходов достигается добавкой просроченных серийных порошков, сохранивших свою огнетушащую способность в объеме 55-75%; при этом существенно снижается стоимость и увеличивается температурный диапазон действия порошка;

- компьютерно-математические модели расчета процесса смешивания порошков в различных процентных соотношениях, моделирования распространения и затухания пламени в узких каналах при определенных допущениях;

- эколого-экономические расчеты снижения расхода природных ресурсов на изготовление новых пожаро-взрывоподавляющих порошковых составов, с применением отходов фосфорной промышленности.

Связь с планом научно-исследовательских работ. Работа выполнена в соответствии с планом НИР Южно-Казахстанского государственного

университета имени М. Ауэзова Б-16-04-03 «Исследования по разработке и созданию инновационных технологий термохимического обогащения и получения промышленно и экологически безопасных минеральных удобрений и солей из природного сырья и техногенных отходов различных производств», Этап – 5 (Разработка технологического регламента и технических условий на промышленно и экологически безопасной продукции обогащения и целевые продукции неорганических веществ (фосфорные кислоты, минеральные удобрения и пестициды).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует специальности 6D073100 – «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» и направлению «Безопасность жизнедеятельности при чрезвычайных ситуациях».

Достоверность и обоснованность результатов исследований.

Достоверность и обоснованность результатов исследований подтверждаются:

- применением современных методов, приборов и оборудования по определению физико-химических свойств исходных материалов и конечной продукции в лабораторных, опытных условиях, объемом экспериментальных исследований и согласованностью результатов опытов у однотипных проб;

- использованием методов математического и компьютерного моделирования для обработки экспериментальных данных математической модели горения и затухания пламени в узком канале;

- лабораторными экспериментами с погрешностью не более 5% при степени корреляции 95%;

- испытанием исследуемых образцов в полевых условиях;

- обоснованием результатов при исследовании структурообразования в исследуемых материалах и актами внедрения в производство;

- соответствием полученных графических и численных результатов физики и механики процессов горения в определенных условиях, сравнением эмпирических и численных результатов.

Реализация результатов исследования. Результаты исследования апробированы в организации ТОО «Алматы Жолдары» при разработке пожаро-взрывоподавляющих порошковых составов на основе электротермофосфорных шлаков, фосфогипса и просроченных порошковых составов.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на Международных научных конференциях: «INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND ENGINEERING» (Шымкент, Республика Казахстан), «Iscience-Актуальные научные исследования в современном мире», «Вестник» (Алматы, Казахстан), "iScience - MODERN SCIENTIFIC CHALLENGES AND TRENDS» (Варшава, Польша), а также в следующих публикациях: «Известия Национальной Академии Наук Республики Казахстан» (Алматы, Казахстан), «Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе» (Алматы, Казахстан), V International Conference «ICITE -Industrial Technologies and Engineering» (Шымкент, Республика Казахстан), WASTE-IEEE International Conference "Management of Municipal Waste as an Important Factor of Sustainable

Urban Development" (Санкт-Петербург, Россия), «ASTESJ - Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, Special Issue on Advancement in Engineering and Computer Science» (США).

Личный вклад автора состоит в:

- подборе и разработке пожаро-взрывоподавляющего состава из фосфогипса и электротермофосфорного шлака с применением отходов фосфорного производства, подавляющего горение и пожары различных классов при чрезвычайных и аварийных ситуациях;

- подборе состава материалов для получения пожаро-взрывоподавляющего состава из отходов фосфорного производства;

- математическом и компьютерном моделировании, физико-химическом, ИК спектральном, рентгенофазовом анализе пожаро-взрывоподавляющих материалов;

- проведении теоретических и экспериментальных исследований эндотермической эффективности просроченных порошков и опытных испытаний по разработке композиций пожаро-взрывоподавляющих материалов для повышения эффективности огнетушащих свойств, позволяющих предупредить и устранить чрезвычайные и аварийные ситуации;

- представлении наиболее детальной классификации флегматизаторов горения и взрыва по механизмам их действия;

- разработке методики, позволяющей с достаточной надежностью определить эффективность замены природных ресурсов на отходы различных производств и просроченных стандартных порошковых составов, рациональное соотношение компонентов в многоцелевых пожаро-взрывоподавляющих смесях.

Публикации. Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 16 научных работах, из них 2 статьи в журнале, входящем в базу данных Scopus / WebofScience (ThomsonReuters), 4 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 4 тезиса в материалах международных конференций, 2 тезиса в материалах зарубежных конференций.

По тематике диссертационного исследования в международных депозитариях зарегистрированы 4 (четыре) авторских свидетельства на произведения науки: Методика определения эндотермических свойств порошковых материалов № ЕС-01-001629 от 28.03.2018 г. (г.Берлин, Германия), Математическое и компьютерное моделирование затухания пламени в узких каналах № ЕС-01-001884 от 15.08.2018 г. (г.Берлин, Германия), Получение пожаро-взрывоподавляющего состава на основе электротермофосфорного шлака и фосфогипса № ЕС-01-002539 от 04.11.2019 г. (г.Берлин, Германия), Расчет концентрационных пределов распространения пламени аэрозвешенных пылей при воздействии определенных огнетушащих порошков № ЕС-01-002540 от 04.11.2019 г. (г.Берлин, Германия).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из пяти разделов, основных выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений. Основное содержание данной работы изложено на 166 страницах и включает 72 рисунка и 46 таблиц.

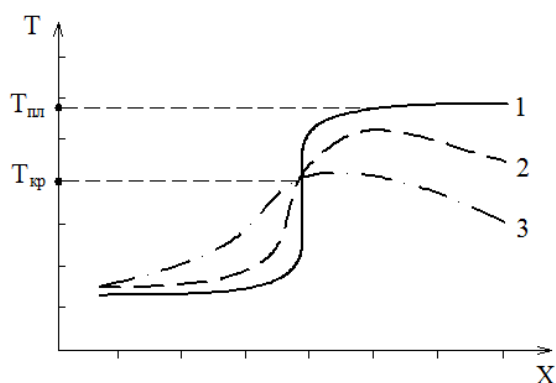
1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И ПОДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВОВ ПОРОШКОВЫМИ СОСТАВАМИ

1.1 Современное состояние проблем решения механизмов процессов гашения пламени

Достаточным и необходимым мероприятием для прекращения горения служит кардинальное разделение горючего и окислителя, но это осуществимо только в процессе пожара. В случае взрыва погасание пламени возможно производить таким образом: снижение концентраций компонентов горючей смеси, охлаждение зоны горения, ингибирование горючей смеси [1]. Первые два метода взаимосвязаны, т.к. охлаждение зоны горения возможно либо посредством снижения концентраций компонентов смеси и, тем самым, снижением тепловыделения реакции, либо способом повышения теплоотвода.

1.1.1 Концентрационные пределы распространения пламени

Из основных положений теории горения следует, что если содержание недостающего компонента горючей смеси, а вместе с ним и температура горения, понижается, то это приводит к уменьшению нормальной скорости пламени. Если принять процесс сгорания адиабатическим, то нормальная скорость пламени u_n при обеднении горючей смеси может уменьшаться до 0 градусов Цельсия, а температура горения – до температуры исходных газов. Однако в реальности тепловые потери приводят к нарушению адиабатичности сгорания. Тогда скорость пламени уменьшается при охлаждении зоны горения. Но, эта зона выделяет небольшое количество тепла в окружающее пространство. Наиболее значительные тепловые потери происходят за счет охлаждения слоев газа, которые максимально прилегают к пламени (рисунок 1.1).



1 – адиабатическое горение; 2,3 – горение с тепловыми потерями ($q_2 < q_3$)

Рисунок 1.1 – Зависимость распределения температуры на фронте пламени под влиянием тепловых потерь по мере распространения пламени

Температура остывающих продуктов сгорания измерима и меньше, чем температура зоны реакции. Температурный градиент, который возникает при этом и направлен в сторону сгоревшего газа, и зона реакции охлаждается путем

теплопроводности. Также к тепловым потерям приводит нагретая, но несгоревшая смесь, в результате отдающая тепло зоны реакции в окружающее пространство.

Достигнув определенного критического значения тепловых потерь, зона реакции экстенсивно охлаждается, реакция тормозится, и пламя затухает. Данный режим соответствует пределу распространения пламени. Теплотери, которые обусловлены теплопроводностью и излучением, возрастают с уменьшением скорости горения, т.к. при этом продолжительность процесса теплоотдачи от нагретого газа больше.

При температуре стенок сосуда $T_o = T_{кр}$ согласно механизму теплового самовоспламенения, начинается превышение теплоприхода над теплоотводом, приводящее к саморазогреву и воспламенению горючей смеси.

Рассмотрим случай, когда температура стенок $T_o = \text{const}$ (кварцевая трубка), а концентрация компонентов смеси меняется. Следующее уравнение описывает изменение скорости выделения тепла (как и скорости пламени):

$$\frac{dq_1}{d\tau} = KQVc^n e^{-E/RT} \quad (1.1)$$

здесь значительное влияние оказывают тепловой эффект реакции (Q) и концентрация веществ (c).

На рисунке 1.2 приведена схема соотношения между теплоотводом q_2 и теплоприходом q_1 при трех разных составах q_1^{max} , q_1^{kp} , q_1^u .

Тепловыделение, скорость пламени и температура возгорания достигают максимального значения в случае стехиометрических смесей (q_1^{max}).

Удаляя состав смеси от стехиометрического, увеличиваются потери тепла из зоны пламени, и производится перенос избытка тепла на нагрев избытка компонента. Таким образом, скорость распространения пламени уменьшается до U_{np} (кривая q_1^{kp}) и тепловой эффект реакции уменьшается, зона горения прогрессивно охлаждается. При понижении количества горючего (бедные смеси) или окислителя (богатые смеси) больше критического, пламя гаснет или такую смесь невозможно поджечь внешним импульсом тепла (q_1).

Следовательно, скорость пламени не может опускаться ниже определенного критического значения. Существует определенный интервал концентраций горючего и окислителя в смеси, в котором возможно распространение пламени. Если состав смесей выходит за эти пределы, то при их поджигании стационарное пламя не образуется, а вызванная поджигающим импульсом реакция гаснет на некотором расстоянии от места ее инициирования. При выходе составов за пределы интервала стационарное пламя затухает.

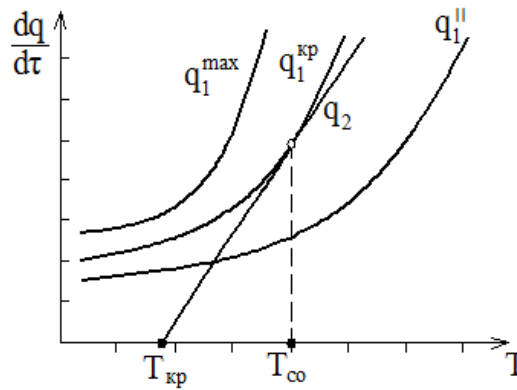


Рисунок 1.2 – Соотношение между теплоприходом и теплоотводом в горючих смесях при $q_1^{max} > q_1^{кр} > q_1^u$

В общем случае верхний π_{max} нижний π_{min} предельные концентрации горючего различаются в смеси, ограничивающие область взрывоопасности составов. Эти пределы зависят в большей степени от содержания инертных компонентов в смеси и в меньшей – от температуры и давления. Повышение начальной температуры смеси приводит к снижению π_{min} и повышению π_{max} , т.к. в смесь поступает внешнее физическое тепло. Изменение начального давления смеси оказывает разное влияние на пределы концентрации. Для смесей, содержащих горючее и окислитель, значения π_{min} и π_{max} определяют границы составов, образование которых приводит к опасности взрыва. Этими величинами руководствуются при определении возможности выбора безопасных составов в технологических процессах. Значения пределов концентрации в некоторой степени зависят от формы и направления распространения пламени в сосуде, в котором изучается горение. Если поджигание производится у верхнего конца вертикальной трубы, то распространение пламени возможно в более узком интервале концентраций, чем при поджигании у нижнего конца. Такая особенность поджигания объясняется возникновением конвективных потоков, поднимающих нагретые продукты сгорания и тем самым облегчающих распространение пламени вверх для предельных составов. В таблице 1.1 приведены значения концентрационных пределов распространения пламени вверх для воздушных и кислородных смесей различных горючих газов, таких как водород, окись углерода, метан, пропан и бутан при атмосферном давлении и комнатной температуре. Данные таблицы показывают, что взрывоопасность газоздушных смесей резко снижается за счет наличия инертного азота в воздухе.

Таблица 1.1 – Концентрационные пределы распространения пламени

Горючее вещество		Воздушные смеси		Кислородные смеси	
Название	Формула	π_{min}	π_{max}	π_{min}	π_{max}
Водород	H ₂	4.0	7.5	4.0	94
Окись углерода	CO	12.5	7.4	15.5	94
Метан	CH ₄	5.3	14.2	5.1	61
Пропан	C ₃ H ₈	2.2	9.5	2.3	55
Бутан	C ₄ H ₁₀	1.9	8.5	1.8	49

1.1.2 Общие закономерности для пределов распространения пламени

В рамках тепловой теории пределов распространения пламени Я.Б. Зельдовича, для пределов распространения пламени существуют основные количественные критические условия. Так, приближенная зависимость скорости пламени от адиабатической температуры горения (T_{ad}) задается уравнением

$$u_n \approx e^{-E/RT_{ad}} \quad (1.2)$$

Если рассматривается случай неадиабатического сгорания, т.е. при наличии тепловых потерь, температура продуктов реакции и скорость пламени меньше теоретических, и при критических условиях

$$u_{кр} \approx e^{-E/RT_{кр}} \quad (1.3)$$

Разделив соотношение (1.3) на (1.2), получим:

$$(u_{кр} \div u_n = e^{-E/RT_{кр}} \div e^{-E/RT_{ad}} = e^{-E/RT_{кр} - E/RT_{ad}} = e^{E(T_{ad} - T_{кр})/RT_{кр} T_{ad}})$$

Предположив, что $T_{кр} \cdot T_{ad} \approx T_{ad}^2$, имеем

$$(u_{кр} \div u_n = e^{E(T_{ad} - T_{кр})/RT_{ad}^2})$$

При критических условиях $u_n = u_{кр}$, в этом случае

$$e^{E(T_{ad} - T_{кр})/RT_{ad}^2} = 1, \quad \text{а} \quad e^{E(T_{ad} - T_{кр})/RT_{ad}^2} = 0$$

$$T_{кр} = T_{ad} - RT_{ad}^2/E \quad (1.4)$$

Следовательно, если зона реакции охлаждается больше чем на характеристический интервал температуры RT_{ad}^2/E , то горение прекращается.

Если решаются уравнения теплового баланса и, в дальнейшем, преобразовываются, получим критическое значение нормальной скорости пламени:

$$u_{кр} = u_n \cdot e. \quad (1.5)$$

Нельзя тепловыми потерями понизить нормальную скорость пламени более, чем в e раз. В случае более интенсивной теплоотдачи стационарное горение прекращается. Приходим к выводу, что при удалении состава смеси от стехиометрического или увеличении содержания инертного компонента температура горения, как и нормальная скорость пламени, понижается настолько, что потери тепла за счет излучения приводят к затуханию горения. При дальнейшем снижении концентрации недостающего компонента достигается критическое значение u_n , в результате чего горение становится невозможным. Таким образом, основным стимулом, влияющим на не зависящие от аппаратурных условий потери излучением становится определяющим границы стационарного горения в бесконечном пространстве. Их значение определяется концентрационными пределами распространения пламени.

1.1.3 Исследование процесса горения и затухания пламени в узких каналах

Поскольку затухание пламени обусловлено главным образом теплоотводом излучения, определяющим пределы распространения пламени, то быстрогорящие взрывчатые газовые смеси обладают малыми радиационными потерями, и охлаждение зоны пламени происходит только путем теплопроводности. Теплоотвод увеличивается при уменьшении диаметра канала, по которому распространяется пламя. Закон теплопередачи Ньютона определяет интенсивность теплоотвода q_2 . Для единицы объёма охлаждаемого газа это уравнение вида, где S/V – отношение поверхности теплоотдачи к объёму охлаждаемого газа.

$$(q_2 = \alpha (T_r - T_o) S \div V) \quad (1.6)$$

При исследовании горения в узких каналах поверхность теплоотдачи S резко возрастает; соответственно, растут и теплотери к стенкам канала. В достаточно узких каналах возможны теплотери, которые приводят к затуханию даже самых быстрогорящих взрывчатых смесей.

Следующие факторы влияют на возможность горения в узких каналах:

- химический состав горючей среды, который определяют величину нормальной скорости пламени U_n ;
- давление смеси P ;
- диаметр пламегасящих каналов $d_{кр}$.

Таким образом, полученная эмпирическим образом зависимость между $d_{кр}$ и давлением P выражается уравнением

$$d_{кр} \cdot P^a = const, \quad (1.7)$$

где показатель степени a для различных составов смесей принимает значения в диапазоне 0,83-1,0.

Главной и отличительной особенностью гашения пламени в узких каналах является то, что хотя этот процесс определяется теплопередачей от газа к твердым стенкам, пределы гашения не зависят от свойств материала стенок пламегасящих каналов, в том числе и теплопроводности. Возможность гашения определяется условиями охлаждения слоя газа, толщина которого соизмерима с шириной фронта пламени. Эта особенность объясняется большой разностью плотностей сгорающего газа и материала пламегасителя. В итоге сгорающий в огнепреградителе газ охлаждается, при этом практически не нагревая стенки канала. Процесс теплоотдачи реализуется в основном в газовой, а не твердой фазе, несмотря на то, что тепло отводится в твердую стенку канала. Только при продолжительном истечении сгоревшего газа через канал возможен значительный нагрев его стенок. Выражения для критических условий гашения не зависят от длины пламегасящего канала. В реальных условиях такая зависимость существует; влияние оказывает на форму пламегасящего канала. Такое качество используется в огнепреградителях с узкими каналами, отделяющими аппарат, в котором возможно инициирование очагов горения, от защищаемого огнепреградителем окружающего пространства, заполненного взрывчатой средой.

При снижении температуры в зоне горения до температуры гашения достаточно только снизить скорость реакции горения до критической величины температуры. Именно этим обстоятельством обусловлено существование нескольких критических значений параметров, за пределами которых горение невозможно. Это, например, концентрационные пределы распространения пламени (КПР), минимальное взрывоопасное содержание кислорода (МВСК), минимальная энергия зажигания (МЭЗ) и др. Большинство этих параметров взаимозависимы, тесно взаимосвязаны между собой. Все существующие способы предотвращения и тушения пожаров основаны на воздействии на горючую систему с целью достижения предельных, критических значений одного или нескольких параметров процессов горения. Таким образом, описано распространение пламени в узких каналах, в отличие от каналов с переменной толщиной и широких каналов. Виды и способы такого воздействия зависят от природы и агрегатного состояния горючего вещества. Одним из видов такого воздействия является применение специальных технических устройств, имеющих элементы с узкими каналами.

Академик Я.Б. Зельдович разработал в свое время (1940-50 е годы XX века) теоретические основы процессов гашения пламени в узких каналах. Дальнейшее развитие эта теория получила в теоретических и экспериментальных работах И.И. Стрижевского, А.И. Розловского, Ю.Х. Шаулова, А.Е. Поттера и других отечественных и зарубежных ученых.

Скорость распространения пламени на пределах горения имеет критическое значение. Механизм тепловых потерь определяется размерами горючей системы.

1.1.4 Пределы распространения пламени в системе «Горючий газ + окислитель + флегматизатор»

Температурными показателями пожарной опасности горючих веществ являются: температура вспышки, температурные и концентрационные пределы распространения пламени, температура воспламенения, температура самовоспламенения и другие. Из них следующие:

1) Температура вспышки - самая низкая температура горючей жидкости, при которой над её поверхностью образуются пары, которые вспыхивают в воздушной смеси от внешнего источника зажигания, но скорости их образования не хватает для устойчивого горения жидкости. Чем ниже температура вспышки, тем опаснее данная жидкость. К легковоспламеняющимся жидкостям относятся горючие жидкости с температурой вспышки, от 61 °С в закрытом до 66 °С в открытом тигле.

2) Температура вспышки является основным параметром пожарной опасности горючей жидкости. Данная температура используется для оценки температурных условий, при которых горючая жидкость становится огнеопасной в открытом аппарате, при определении категории помещений и зданий в соответствии с НПБ 105-95, при разработке мероприятий для обеспечения пожаро- и взрывобезопасного ведения технологических процессов.

В регулярном технологическом процессе технологические аппараты не заполняются полностью, т.е. имеют определённый свободный объём. Вследствие испарения горючей жидкости свободное пространство закрытых аппаратов постепенно насыщается парами. При наличии в этом пространстве воздуха пары жидкости, смешиваясь с ним, могут образовывать горючие смеси.

Для практической оценки пожаро- и взрывоопасных концентраций паров горючей жидкости различного промышленного обеспечения нужно исследовать температурные и концентрационные пределы распространения пламени.

Верхний (нижний) концентрационный предел распространения пламени (ВКПРП, НКПРП) – максимальное (минимальное) содержание горючего, вещества в смеси с окислителем, при котором смесь способна воспламениться и пламя распространяется по смеси на любое расстояние от источника-зажигания.

Горючие жидкости могут находиться в технологических аппаратах с различными температурными режимами. Поэтому в одних случаях температура жидкости будет недостаточна для того, чтобы возникла пожароопасная концентрация, т.е. концентраций паровоздушной смеси будет меньше НКПРП. В других случаях жидкость может быть нагрета до достаточно высоких температур, при которых концентрация паровоздушной смеси в агрегатах будет больше ВКПРП. Следовательно, в паровоздушном объёме

закрытых промышленных аппаратов горючая смесь образуется только в определённых температурных интервалах нагрева жидкости, которые называют температурными пределами распространения пламени (НТПРП и ВТПРП).

Температурные лимиты возгорания - это температуры жидкости, при которых её насыщенные пары образуют в конкретной окислительной среде концентрации, равные соответственно нижнему и верхнему концентрационным пределам распространения пламени.

Температура воспламенения – параметр, характеризующий склонность к самостоятельному горению, т.е. температура, при которой над ее поверхностью образуются горючие пары с такой скоростью, что после их воспламенения от источника зажигания достигается устойчивое горение (более 5 с).

Температура самовоспламенения - самая низкая температура вещества (или его оптимальной смеси с воздухом), при которой в условиях специальных испытаний происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, приводящее к возникновению пламенного горения.

Температура самовоспламенения, определённая стандартным методом, называется стандартной температурой самовоспламенения. Температура самовоспламенения зависит от химического состава вещества, его концентрации в смеси с окислителем, давления, условий тепло- и массообмена, объёма смеси, наличия катализаторов и т.п.

Исследование температуры самовоспламенения становится чрезвычайно важным, потому что может определить степень пламенного горения горючего порошка при контакте с нагретыми поверхностями, при истечении из аппаратов в воздух нагретых до высоких температур горючих порошков. Кроме того, по температуре самовоспламенения определяется группа взрывоопасных смесей при выборе типа взрывозащищенного электрооборудования.

Для определенного состава горючей смеси величина u_n зависит главным образом от соотношения концентраций горючего и окислителя и общего содержания инертных компонентов, т.к. скорость пламени в первую очередь определяется температурой горения. Если к смеси горючего с окислителем при их фиксированном соотношении добавлять инертные компоненты, температура горения понижается, что объясняется затратами энергии химического превращения на нагревание дополнительных компонентов смеси продуктов сгорания.

С помощью добавок различных веществ можно добиться флегматизации горючей системы, т.е. уменьшения скорости горения вплоть до превращения системы в негорючую [2-3]. Флегматизаторы делят на два основных класса по принципу воздействия на реакцию в пламени:

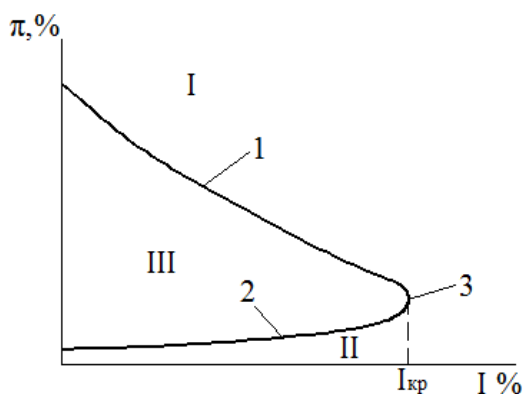
- *тепловые флегматизаторы*: компоненты, которые, не принимая прямого участия во взаимодействии горючего с окислителем, понижают температуру горения. К тепловым флегматизаторам можно отнести и избыточный компонент смеси.

- *химически активные флегматизаторы*: ингибиторы – отрицательные

катализаторы, способные при неизменной температуре горения тормозить реакцию за счет их специфического, чисто химического воздействия на реакцию.

Инертные компоненты также оказывают влияние на концентрационные пределы распространения пламени. Рисунок 1.3. демонстрирует типичную зависимость предельной концентрации горючего от содержания инертного компонента, т. е. схему пределов области воспламеняемости в тройной смеси горючее + окислитель + инертный компонент.

Увеличение содержания инертного компонента I приводит к уменьшению диапазона между верхним и нижним концентрационными пределами горючих составов. При определенном содержании инертного компонента $I_{кр}$ обе ветви кривой критических составов $\pi_{max}(I)$ и $\pi_{min}(I)$ смыкаются в так называемой точке флегматизации, или мысе области воспламеняемости.



1 – верхний концентрационный предел; 2 – нижний концентрационный предел; 3 – мыс области взрываемости; I – область богатых негорючих смесей; II – область бедных негорючих смесей; III – область горючих смесей

Рисунок 1.3 – Схема области воспламеняемости в смеси горючий газ + окислитель + флегматизатор

При концентрации инертного компонента, превосходящей $I_{кр}$, невозможно поджигание, каким бы ни было соотношение горючего и окислителя. Область составов, соответствующих горючим смесям, ограничена критической кривой и осью ординат. Эмпирически установлено, что для смесей, в которых окислителем является кислород, а инертным компонентом азот, только π_{max} заметно зависит от I , ветвь $\pi_{min}(I)$ почти параллельна оси абсцисс.

Пределы в системе «Горючее + окислитель + инертный компонент» часто изображают треугольной диаграммой. Равносторонний треугольник описывает содержание каждого компонента. Каждая точка внутри треугольника соответствует составу, который определяется величинами отрезков, отсекаемых по каждой из осей линиями, параллельными сторонам треугольника и проходящими через данную точку.

Область горючих составов ограничена критической кривой. Крайние точки

этой кривой опираются на ось, вдоль которой откладываются составы бинарных (двойных) смесей горючее - окислитель ($I = 0$).

Диаграмма пределов распространения пламени в системе $\text{CH}_4 + \text{O}_2 + \text{N}_2$ при нормальных условиях показана на рис. 1.4. Здесь точки A и B соответствуют составам предельных бинарных смесей CH_4 и O_2 : 5,1 и 61% горючего. Точки C и D отвечают воздушным смесям, содержащим 74,7 и 67,8% N_2 , для которых содержание CH_4 равно 5,3 и 14,2 %, соответственно. Точка M у мыса области взрываемости соответствует следующему составу: 81,9% N_2 , 6,0% CH_4 и 12,1% O_2 .

Треугольные диаграммы применяют и для описания критических составов смесей, не содержащих инертные компоненты, но содержащих по два горючих или окислителя.

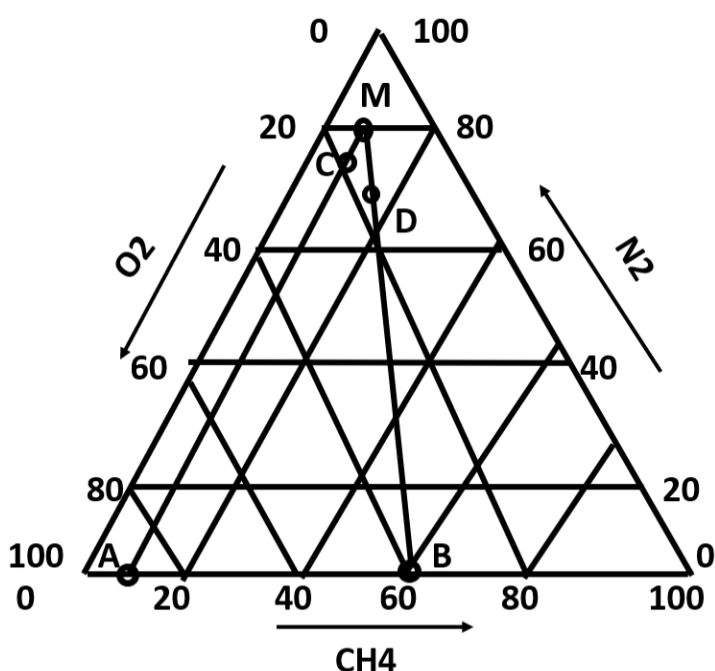


Рисунок 1.4 – Диаграмма пределов распространения пламени в системе $\text{CH}_4 + \text{O}_2 + \text{N}_2$

Количественное содержание увеличившегося инертного компонента в системе приводит к сужению концентрационных пределов, т.к. добавки инертных компонентов, уменьшая температуру горения, флегматизируют смесь и затрудняют ее горение.

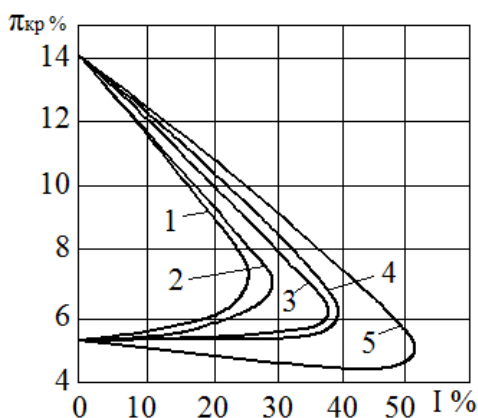
Пределы зависят от природы инертных компонентов, т.к. они обладают различными теплосодержаниями при температуре горения. Имеет место уменьшение этой величины по следующему ряду:

$$\Delta H_{\text{CO}_2} > \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} > \Delta H_{\text{N}_2}$$

Определяя пределы распространения пламени для систем, содержащих различные инертные флегматизаторы, можно принять во внимание сравнительно небольшую разность пределов, величина которой зависит от природы инертного компонента.

Рисунок 1.5, на примере пределов распространения пламени для смесей

CH_4 + воздух + (Ar, He, N_2, H_2O, CO_2) при нормальных условиях, представляет наглядную иллюстрацию описанного выше эффекта. В смеси, содержащей несколько инертных компонентов, проблематично учесть их специфику. В этом случае все инертные компоненты приравнивают к азоту, создавая этим некоторый "запас надежности".



1 - CO_2 ; 2 - H_2O ; 3 - N_2 (добавочный); 4 - He ; 5 - Ar

Рисунок 1.5 – Зависимость пределов распространения пламени от природы инертного компонента в системе CH_4 + воздух + (Ar, He, N_2, H_2O, CO_2)

1.1.5 Закономерности для точки флегматизации

Смеси горючего, кислорода и инертного компонента, состав которых соответствует зоне, находящейся правее точки флегматизации на рисунке 1.3 ($I > I_{кр}$), относятся к наиболее безопасным смесям, используемым в технологических целях. Они обладают одной важной особенностью. Любая смесь кислорода, горючего и инертного компонента является невзрывчатой при произвольном соотношении содержаний двух последних, если в такой смеси $[O_2] < Y$, где Y – содержание кислорода у точки флегматизации.

Как известно, эта предельная концентрация Y принимает практически одно и то же значение для большинства горючих газов и паров. Например, если составлять горючие смеси с использованием обогащаемого азотом воздуха, то для углеводородов эта величина будет находиться в пределах 11,0 – 13,5 %. Если добавлять к воздуху двуокиси углерода, значение Y увеличится до 13,4 – 15,6 % вследствие большей теплоемкости CO_2 . Однако для водорода, окиси углерода и ацетилена значение Y ниже, чем для большинства горючих веществ (таблица 1.2).

Также было указано, что нижний концентрационный предел не изменится, если частично заменить кислород азотом. Такая закономерность сохраняется практически вплоть до составов, соответствующих положению мыса области взрываемости. При этом величина Y смесей, флегматизированных азотом, почти не отличается от содержания кислорода, эквивалентного количеству горючего на нижнем пределе.

Учитывая эти данные, можно находить расчетные значения Y_p .

$$Y_p = \nu \pi_{\min} \quad (1.8)$$

где ν - стехиометрический коэффициент для реакции полного окисления данного горючего кислородом.

Таблица 1.2 – Предельные экспериментальные (Y_{ex}) и расчетные (Y_p) концентрации содержания кислорода в горючих смесях

Горючее	Y_{ex}	Y_t	Горючее	Y_{ex}	Y_t
CH_4	12,1	10,6	C_6H_6	11,2	10,5
C_2H_6	11,0	10,5	CH_3OH	10,3	10,9
C_3H_8	11,4	11,0	$(CH_3)_2CO$	13,5	12,0
C_4H_{10}	12,1	12,3	CO	5,6	6,2
C_5H_{12}	12,1	12,0	H_2	5,5	6,0

Учитывая эти данные, мы приходим к выводу, что значения Y для неисследованных горючих газов или многокомпонентных смесей можно вычислять по величине нижнего концентрационного предела, т.е. по существу, по их термохимическим данным. Этот вывод имеет большую практическую ценность, т.к. экспериментальные определения предельной концентрации кислорода проводили лишь для ограниченного числа горючих газов и паров. В то же время, величина Y является важным показателем взрывобезопасности для ряда технологических процессов.

Для представления результатов исследования взрывоопасности систем газ + воздух + инертный компонент удобнее пользоваться тройными диаграммами в виде прямоугольного треугольника. Полученная при этом картина становится более наглядной и удобной для более точной обработки (рисунок 1.6).

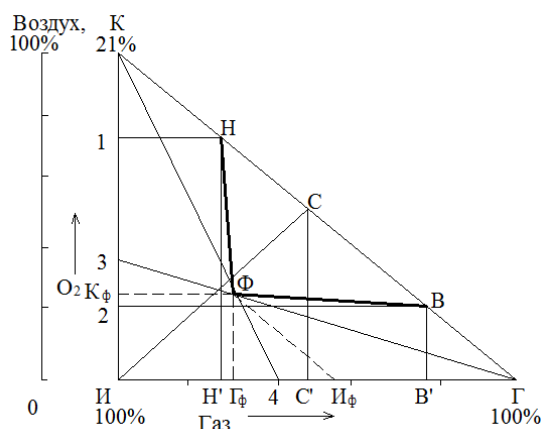


Рисунок 1.6 – Предельные условия взрывоопасности в системе газ + кислород (воздух) + инертный газ

Точки:

К - 100% воздуха, или 21% кислорода;

Г - 100% горючего газа;

И - 100% инертного газа (флегматизатора);

Ф – точка флегматизации;

Н (Н') – нижний концентрационный предел воспламенения в смеси газ + воздух (кислород);

В (В') – верхний концентрационный предел воспламенения в смеси газ + воздух (кислород);

1 – максимально взрывоопасная концентрация кислорода в смеси газ + кислород (воздух);

2 – минимально взрывоопасная концентрация кислорода в смеси газ + кислород (воздух);

3 – минимальное содержание кислорода в смеси И+К, ниже которого смеси не воспламеняются при любой добавке газа;

4 – минимальное содержание газа в смеси Г + И, ниже которого смеси невзрывоопасны при любой добавке кислорода (воздуха);

K_{ϕ} – содержание кислорода в точке флегматизации;

G_{ϕ} – содержание горючего газа в точке флегматизации;

$100 - I_{\phi}$ – содержание инерта в точке флегматизации;

С (С') – стехиометрический состав смеси Г + К при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$.

Линии:

К – 4 – составы с одинаковым соотношением И + Г;

Г – 3 – составы с одинаковым соотношением И + К;

И – С – стехиометрические составы Г + К в тройной смеси при $\alpha = 1$.

Области:

ИСК – бедные смеси с $\alpha > 1$;

ИСГ – богатые смеси с $\alpha < 1$;

ИЗФ4 – невоспламеняющиеся смеси;

ИФВГ – воспламеняемые смеси при добавке кислорода;

ЗФНК – воспламеняемые смеси при добавке горючего газа.

1.1.6 Механизмы флегматизации взрывоопасных смесей

На реакцию горения возможны физические и химические пути воздействия в целях уменьшения скорости тепловыделения или увеличения скорости теплоотдачи, что влечет за собой снижение температуры в зоне горения до его полного прекращения [4-8].

Следующие механизмы ликвидации очага горения:

- перекрытие доступа кислорода к очагу (или понижение его содержания в горючей смеси);

- охлаждение очага ниже температуры воспламенения;

- существенное замедление или прерывание цепных реакций горения.

Например, первичное тушение пожара на электроустановках под напряжением проводится углекислотными огнетушителями, заполненными

специальными, токонепроводящими, ОТВ. Баллоны ОТ заполнены жидкой углекислотой (не проводит ток) под определенным давлением в 3,6 кПа. При активации устройства углекислота превращается в CO₂, он охлаждает очаг горения и снижает концентрацию кислорода, который необходим для хода реакции горения. Ручное пожаротушение организуется в случае, если не срабатывает АСПТ.

В реальных условиях перекрыть или затруднить доступ кислорода к очагу горения с помощью огнетушащего порошка можно лишь при тушении твердых материалов, т.к. при обработке горячей или тлеющей поверхности некоторые порошки образуют на ней вязкую полимерную пленку плава, затрудняющую доступ кислорода воздуха к горячей поверхности. Изоляция реагирующих веществ от зоны горения приводит к прекращению выхода летучих веществ (твердых частиц, газа или пара) и поступления воздуха в зону горения. Тепловыделение уменьшается в результате уменьшения скорости горения.

Охлаждение зоны горения или реагирующих веществ осуществляется следующим образом: в зону горения подаются вещества с более низкой температурой и высокой теплоемкостью, которые, нагреваясь, забирают часть тепла, выделяемого при пожаре. Как результат, скорости выгорания и тепловыделения уменьшаются.

Механизм химического торможения реакции горения основан на применении ингибиторов, т.е. особо активных веществ, способных соединиться с активными центрами промежуточных реакций и выводить их из реакции горения. Скорость цепной реакции горения углеводородных газов и паров в итоге падает до критической, и резкое снижение скорости тепловыделения приводит к прекращению горения. Реагируя с активными центрами, ингибиторы образуют химически пассивные, неспособные к продолжению цепи разветвленной реакции соединения.

Более сложным механизмом воздействия обладает действие добавок органических горючих флегматизаторов в пламени богатых взрывчатых смесей и распадающихся эндотермических соединений. Так же, как и инертные добавки, они химически не влияют на кинетику реакции в пламени, а только понижают температуру горения. Но, по сравнению с инертными компонентами, они флегматизируют горение гораздо активнее. Эта особенность объясняется не только их большей теплоемкостью, которая на самом деле значительно увеличивается с усложнением молекулы, но в большей степени способностью этих веществ к эндотермическим превращениям при высоких температурах. По этой причине сложные соединения, распадаясь в пламени, могут флегматизировать горение в значительно меньших концентрациях, чем инертные добавки.

Флегматизация взрывчатых веществ (в англоязычной литературе *phlegmatization of explosives*) — снижение чувствительности взрывчатых веществ к механическим воздействиям (удару, трению, нагреву, ударно-волновому воздействию и др.) путём введения в их состав специальных веществ (флегматизаторов).

В качестве флегматизаторов чаще всего применяют низкоплавкие

органические соединения. Сильным флегматизирующим действием обладают вода и водные гели, вследствие чего водосодержащие промышленные взрывчатые вещества отличаются очень низкой чувствительностью. В составе аммиачно-селитренных взрывчатых веществ органические флегматизаторы одновременно выполняют роль гидрофобных добавок, т.к. обладают водоотталкивающими свойствами.

Порошкообразные флегматизаторы вводятся в смесевые взрывчатые вещества в процессе смешения компонентов.

За счёт флегматизации достигается поглощение части энергии механического воздействия на нагрев и фазовые превращения (плавление, испарение), снижение внутреннего трения взрывчатых веществ, изменение физико-механических, реологических, теплофизических свойств взрывчатых веществ, способствующее релаксации возникающих механических напряжений и рассеиванию очагов разогрева, и др.

Применение химически активных добавок даже в концентрациях порядка 1% может оказывать еще большее гасящее воздействие и сужать пределы, чем избыточное горючее. Это явление наблюдалось, например, при добавлении к воздушным смесям углеводородов, водорода и окиси углерода галоидсодержащих продуктов: CH_2Cl , CH_3Br , а также CCl_4 и Cl_2 .

Механизм воздействия на горение химически активных флегматизаторов заключается в обрыве реакционных цепей процесса окисления горючего. Ингибиторы конкурируют с окисляющимися компонентами во взаимодействии с активными центрами цепной реакции. Обладая более высоким, в сравнении с горючим, химическим сродством к активным промежуточным продуктам реакции окисления, молекулы ингибитора или продуктов его распада энергично реагируют с активными центрами, превращают их в устойчивые соединения и тем самым тормозят развитие реакционной цепи. Этим объясняется значительное снижение концентрации активных центров добавками ингибитора. Так, галоиды и галоидопроизводные активно реагируют с атомарным водородом, принимающим участие в большинстве цепных процессов окисления. Огнетушащая эффективность галоидов повышается при замещении в них атома водорода на атом галогена по ряду: фтор \leq хлор $<$ бром \leq йод.

В качестве ингибиторов широкое применение находят галоидированные углеводороды – хладоны. Ингибиторы прекращают горение при большей концентрации кислорода в помещении, чем при разбавлении среды инертными газами. К примеру, для прекращения горения азотом необходимая концентрация кислорода в воздухе составляет до 12-15%, а при использовании хладонов - до 18-19%.

Хладоны имеют низкую температуру кипения; нагреваясь до 400-800°C, переходят в газообразное состояние с образованием свободных химически активных радикалов. Продукты теплового разложения молекул и сами молекулы хладона нейтрализуют активные центры цепной реакции горения и останавливают ее развитие. Хладоны оказывают охлаждающее, изолирующее и разбавляющее действие на процесс горения; возможно их использование в

качестве флегматизаторов взрывов горючих газов и паров. Но существенным недостатком хладонов является их токсичность и нарушение ими озонового слоя Земли, поэтому в ряде стран запрещено их использование.

Тепловые флегматизаторы, понижающих температуру горения, делят на две группы – инертных компонентов (CO_2 , H_2O , N_2) и добавок сложных горючих веществ, флегматизирующих горение богатых смесей. Инертные добавки флегматизируют горение, принимая часть теплового эффекта реакции горения; однако эти флегматизаторы лишь увеличивают запас физического тепла, но не подвергаются химическому превращению.

Повышения эффекта флегматизации можно добиться использованием легкоиспаряющихся, кипящих или плавящихся веществ, т.к. эти процессы эндотермические, т.е. сопровождаются поглощением теплоты и тем самым охлаждением зоны горения. Следовательно, целесообразно вести поиск эффективных взрывоподавляющих и огнетушащих порошков среди легкоразлагающихся, легкоиспаряющихся, легкоплавящихся веществ или создавать сложные составы с такими свойствами.

Отметим, что для более четкого понимания механизмов пожаро- и взрывоподавляющего процессов, была предложена классификация порошковых флегматизаторов. По механизму действия было предложено разделить дисперсные огнетушащие порошки на следующие группы:

Инерты:

1) физически-тепловые флегматизаторы; их эффективность усиливается с понижением температур плавления и кипения вещества;

Ингибиторы:

2) химически-тепловые флегматизаторы, действие которых при нагреве усиливается благодаря химическим эндотермическим процессам их разложения с выделением инертных газов;

3) химически-цепные флегматизаторы, механизм действия которых объясняется химической пассивацией и выделением при нагреве активных радикалов, тормозящих реакции воспламенения и горения.

Перечисленные выше физические свойства веществ учитывают при разработке, выборе и оценке эффективности огнетушащих материалов.

1.2 Исследование состояния эффективности и долговечности огнетушащих порошков

1.2.1 Классификация огнетушащих и взрывоподавляющих составов

Огнетушащие и взрывоподавляющие порошки, одни из эффективных современных средств борьбы с пожарами и взрывами, представляют собой мелкоизмельченные минеральные соли с различными добавками, которые препятствуют слеживаемости и комкованию. Отличительное преимущество порошков состоит в универсальности их действия, которая обеспечивает тушение даже таких материалов, которые невозможно потушить водой и другими средствами.

Взрывоподавление - способ прекращения взрыва газо-, паро-,

пылевоздушных сред в начальный момент его возникновения. Взрывоподавление применяется, как правило, для защиты технологического оборудования, внутри которого находятся взрывоопасные смеси.

В большинстве случаев взрывоподавление обеспечивается автоматическими системами, состоящими из:

- устройства обнаружения первичного проявления взрыва, реагирующего на излучение пламени или повышение давления в оборудовании;
- сигнально-пускового механизма;
- устройства для собственно взрывоподавления.

В качестве такого устройства используется ёмкость с огнетушащим веществом.

Эффективность взрывоподавления определяется быстродействием отдельных элементов системы; обнаружения очага горения; срабатывания конструктивных элементов системы; доставки вещества в очаг взрыва за время не более нескольких сотых секунды. В качестве веществ для взрывоподавления используют вещества, обладающие ингибирующими свойствами, например, воду, огнетушащие порошки и аэрозоли, хладоны и другие,. Потребное количество ОТВ для взрывоподавления зависит от его эффективности в отношении конкретной взрывоопасной смеси.

Механические и технические характеристики огнетушащего порошка, базирующиеся на физически-химических свойствах, позволяют использовать эти порошки при изготовлении, производстве, снаряжении различных средств тушения пожаров, которые бывают различного типа:

- переносных, передвижных порошковых огнетушителей, применяемых для защиты помещений производственных, складских объектов, общественных зданий, административных учреждений.

- самосрабатывающих огнетушителей, как устанавливаемых внутри строительных, технологических отсеков, ниш; корпусов, шкафов электрического, коммутационного, управляющего электронного оборудования, так и забрасываемых вручную в очаг начинающегося пожара.

В частности, в порошковых системах пожаротушения, предназначенных для ликвидации очагов возгораний на производственных, складских объектах защиты с высокой пожарной нагрузкой, состоящей из таких видов сырья, готовой продукции, установленного технологического, управляющего оборудования как, например, ЛВЖ, ГЖ, электрические установки, электронная аппаратура. Невозможно тушить их традиционными установками тушения пожаров – водяными, пенными, нецелесообразно и газовыми – по разным причинам; в т.ч. из-за высокой стоимости поставки, монтажа, технического сервиса.

Порошки применяют для тушения большинства классов [9,10] пожаров. Имеет место следующая классификация пожаров по классам:

А – горение твердых веществ, как сопровождаемое тлением (древесина, бумага, текстиль, уголь и др.) так и не сопровождаемое тлением (пластмасса, каучук);

В – горение жидких веществ (бензин, нефтепродукты, спирты,

растворители и др.);

С – горение газо- и парообразных веществ (аммиак, метан, пропан и др.);

Д – горение металлов и металлосодержащих веществ (магний, алюминий, калий, натрий и др.);

Е – горение материалов в электрических установках под напряжением. Таким образом, порошки можно использовать для тушения любых известных на сегодняшний день веществ и материалов.

В зависимости от классов пожара, для тушения которых применяют порошковые составы, их делят на следующие типы:

- порошки типа АВСЕ, их активным основным компонентом являются фосфорно-аммонийные соли;

- порошки типа ВСЕ, в качестве основного компонента этих порошков могут быть бикарбонат натрия или калия; сульфат калия; хлорид калия; сплав мочевины с солями угольной кислоты и т.д.

- порошки типа Д, их основной компонент – хлорид калия; графит и т.д.

Различают порошки общего и специального назначения. Порошки общего назначения (типа АВСЕ, ВСЕ) применяют в тушении пожаров обычных (органических) горючих материалов, легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ), например, различных сжиженных газов, твердых материалов - древесины, резины, пластиков и т. п. Эти материалы тушат посредством создания порошкового облака, окутывающего очаг горения.

Порошки специального назначения используются для тушения конкретного класса пожара, например, класса В, С или только класса Д. В этом случае горение прекращается путем изоляции горячей поверхности от окружающего воздуха.

Аналогично имеются понятия огнетушащих порошков целевого и универсального назначения. По сути, такая градация повторяет названия двух типов порошков спецназначения, предназначенных для решения отдельных задач:

- целевые – для ликвидации очагов возгораний активных металлов, их химических соединений.

- универсальные – как для тушения металлов, так и горючего газа, жидкости; электрооборудования, включенного в сеть до 1 тыс. В.

Помимо всего вышеизложенного, еще одним прекрасным качеством порошковых составов является возможность их применения для флегматизации и подавления взрыва. В связи с этим, с учетом области применения, порошки делятся на две группы: огнетушащие и взрывоподавляющие. Большая группа состоит из огнетушащих порошков, используемых для зарядки ручных и передвижных огнетушителей, стационарных установок и специальных пожарных автомобилей. Дисперсность таких порошков составляет 40-80 мкм.

В меньшую группу входят взрывоподавляющие порошковые составы, которые предназначены для объемного дистанционного тушения пожаров. Это тонкодисперсные порошки со средним размером частиц 1-10 мкм. В этом случае порошок подается к очагу воздушным потоком с помощью вентилятора,

а горение проходит в замкнутом объеме (кабельный канал).

Для порошков общего назначения огнетушащая способность повышается с увеличением их дисперсности (уменьшением размера частиц), тогда как для порошков специального назначения огнетушащая способность почти не зависит от степени их дисперсности. Из литературных источников [11,12] известно, что ряд минеральных порошков являются активными ингибиторами цепных газофазных реакций горения, которые можно использовать в качестве взрывоподавляющих агентов.

В таких странах как США, Германия, Великобритания, Франция, Испания используются автоматические системы взрывозащиты, снаряженные, как правило, серийно выпускаемыми огнетушащими порошковыми или тонко измельченными солями фосфорной и угольной кислот.

1.2.2 Характеристика свойств и составов огнетушащих порошков

В настоящее время на предприятиях горной и металлургической промышленности для предотвращения воспламенения и взрывов метано-воздушных смесей широко используются различные вещества, начиная с простых флегматизаторов - инертной пыли и воды с добавкой 5-7% поверхностно активных веществ (их гасящее действие состоит в снижении температуры до уровня, на котором горение прерывается) и заканчивая высокоэффективными ингибиторами горения на основе легкоразлагающихся солей, обработанных специальными гидрофобизирующими и разрыхляющими добавками, способными погасить пламя вспышки (взрыва) при сравнительно малых удельных расходах, около 0,01- 0,10 кг/м³ защищаемого объема [13].

Тушение порошковым способом основано на физико-химических свойствах порошка (таблица 1.3) и действии следующих факторов:

- разбавление горючей среды газообразными продуктами разложения порошка или непосредственно порошковым облаком;
- охлаждение зоны горения в результате затрат тепла на нагрев частиц порошка, их частичное испарение и разложение в пламени;
- эффект огнепреграждения, достигаемый при прохождении пламени через узкие каналы;
- ингибирование химических реакций горения газообразными продуктами испарения и разложения порошков или гетерогенным обрывом цепей на поверхности порошков или твердых продуктов их разложения.

Срок пригодности огнетушащих веществ не превышает 5-10 лет, и во многом зависит от условий службы огнетушащих составов.

Например, порошки, применяемые в транспортных средствах, подвергаются дополнительной вибрации, приводящей к уплотнению состава, так называемому эффекту “перечницы”.

Стандарт ГОСТ 26952-97, распространяющийся на огнетушащие порошки общего назначения, устанавливает требования к показателям технического уровня и качества, и методы испытаний.

Универсальные огнетушащие порошки, такие как П-2АП и П-4АП, подвергаются проверке по качественным показателям согласно ТУ 113-08-597-

86 [14].

Порошок П-2АП используют для снаряжения порошковых огнетушителей и установок; П-4АП применяется для объемного дистанционного тушения подземных пожаров в выработках угольных шахт и может быть использован и для снаряжения автоматических установок взрывозащиты.

Огнетушащие порошки являются сложными гетерогенными системами, обладающими специфическими свойствами и особенностями, которые определяют их огнетушащую способность. Химический состав порошков определяет их огнетушащее действие и эксплуатационные свойства.

Порошки П-2АП и П-4АП являются механической смесью аммофоса, шамотно - каолинового порошка и аэросила. Основным компонентом является аммофос, его массовая доля в составах превышает 90%. Предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе производственных помещений - 6 мг/м³, класс опасности 4. В качестве добавок применяют шамотно - каолиновый порошок из электрофильтров вращающихся печей с примесями окиси железа и титана, и аэросил, массовая доля в порошках до 5%, представляющий собой аморфную двуокись кремния, модифицированную диметилдихлорсиланом.

Таблица 1.3 - Основные физико-химические данные огнетушащих порошков

Класс пожаров	Вид горючего материала	Необходимые физикохимические свойства порошка	Распространенные компоненты
А	Углеродосодержащие (дерево, уголь, резинотехнические изделия, пластмасса и другие)	Образование при температуре 200-250°С вязкой полимерной пленки плава	Фосфорноаммонийные соли; натриевые соли борных кислот
В	Горючие жидкости (бензин, спирты, лаки, растворители и другие)	Способность поверхности частицы и продуктов ее испарения (разложения) резко замедлять цепные реакции горения; способность вещества порошка быстро разлагаться при T >200°С	Фосфорноаммонийные соли; бикарбонаты и хлориды калия (натрия)
С	Горючие газы и пары (водород, метан, аммиак, пропан - бутановая смесь, пары ацетона и другие)	То же	То же
Д	Легкие металлы и их сплавы (магний, алюминий, калий, натрий)	Образование пленки плава, устойчивой при температурах 2000-3000 °С	Хлорид калия (натрия); меламина; графит; криолит
Е	Электрооборудование и кабели под напряжением до 1000-1200 В (в последних международных стандартах этот класс отсутствует)	Отсутствие электропроводности слоя порошка и порошково-воздушной струи	Из перечисленных выше компонентов - любые, кроме графита, но хорошо высушенные (до влажности не более

В [15-18] представлены сведения о применяемых порошковых пламегасящих составах.

Основой для огнетушащих порошков являются фосфорно-аммонийные

соли (моно - и диаммоний фосфаты), такие как $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; хлориды калия КС1 и др. В состав порошков включают также специальные добавки, препятствующие их комкованию и слеживаемости.

Широко распространение получили порошки на основе бикарбонатов и карбонатов щелочных материалов (KHCO_3 , NaHCO_3). В их состав вводят добавки кремнийорганических соединений с целью повышения текучести и устойчивости структуры. Такие порошки устойчивы к слеживаемости и обладают хорошими эксплуатационными свойствами.

Одним из направлений в решении проблемы инертзации взрывоопасных сред является применение специальных химических соединений, сравнительно небольшие добавки которых резко снижают возможность воспламенения от теплового источника. С этой целью авторами работы [19] были исследованы вещества: бромистый натрий, хлористый натрий и бикарбонат натрия с размером частиц, преобладающей фракции (87%) 0,2-0,5 мм. В результате исследования был сделан вывод, что наиболее эффективным в создании инертных сред является бромистый натрий. Однако он в несколько раз дороже бикарбоната натрия и обладает повышенной способностью скомкиваться. Поэтому более подходящим для практического применения является бикарбонат натрия.

Так, изготавливаемый из бикарбонатов натрия порошок ПСБ обладает хорошими эксплуатационными свойствами, дешев, основной компонент его недефицитен. Этот порошок предназначен для тушения пожаров классов В, С и Е. Он эффективен в тушении загораний сжиженных газов, большого количества нефтепродуктов (например, при аварийных посадках самолетов), спиртов и других полярных ГЖ.

На сегодняшний день выпускается порошок марки ПСБ-3 (ТУ 6-18-139-93), который обладает более высокой дисперсностью и, следовательно, повышенной огнетушащей способностью.

В состав порошка ПСБ-3 входят бикарбонат натрия, аэросил и нефелиновый концентрат, предназначенный для улучшения текучести.

Порошок марки ПСБ-3М предназначен для тушения пожаров классов В, С и Е. Это механическая смесь из 87-90% натрия двууглекислого (бикарбонат); 7-10% нефелинового концентрата; 3-5% антислеживающей добавки. Показатель огнетушащей способности при тушении пожаров класса В - не более 0,8 кг/м² (ТУ- 2149-017-19968286-95).

Можно также найти большое количество авторских свидетельств и патентов на огнетушащие порошковые составы, вызывающих интерес, но пока освоенных в серийном производстве. В частности, порошки, для повышения огнетушащей эффективности которых, в химический состав добавляют соли органических кислот – углекислый натрий в Авторском свидетельстве № 1142128, трилон Б в Патенте 2118834 (Великобритания) и другие соли.

Существует тенденция нанесения активных огнетушащих солей (из раствора) на пористые носители. С этой целью используют как неорганические соли – вермикулит, аэросил, цеолит, так и органические – пенополистирол в Патенте 4226727 США. Наряду с эффективными порошками типа «Монекс»

ведутся работы по получению тройных сплавов типа карбамид (меламин) – фосфат-бикарбонат.

В Авторском свидетельстве № 485742 предлагается ингибитор воспламенения горючих газов, состоящий из неорганической соли, стеарата калия и талька, для повышения эффективности подавления воспламенения и тушения пламени смеси ацетилена с воздухом. Компоненты: 93-96% сульфид; 3-5% стеарат калия и тальк 1-2%.

В Авторском свидетельстве № 563503 для повышения эффективности предотвращения взрывов пыли и предупреждения слеживаемости, в качестве солей аммония состав содержит бромистый аммоний (97-98%) и стеарат кальция. Смесь измельчают до полного прохождения через сито 0, 075.

Авторами работы [20] исследовано горение взрывчатого вещества в условиях аналогичным условиям в шахте, а также действие различных реагентов, добавляемых во взрывчатые вещества для предотвращения их горения. Экспериментально установлено, что наиболее эффективным действием обладают неорганические соединения с большим содержанием кристаллизационной воды такие как: $Al_2(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$; $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.

Авторами [21, 22] экспериментально исследованы следующие ингибиторы взрыва угольно-воздушной смеси: породная пыль, измельченный ракушечник (оба карбоната кальция), обычный состав для огнетушителя (бикарбонат натрия), «Монекс». Как показывают исследования, эффективными агентами, предотвращающими воспламенение в угольных шахтах, являются оксалаты, NH_4 , K , Na , фермиты и др.

Севриков и соавторы [23] предлагают использование в качестве огнетушащего порошка промышленных пылей цементных заводов, в частности, пыль Бахчисарайского цементного завода, огнетушащая способность которой равна 0,7 – 0,8 кг/м² (т.е. как у ПСБ).

С целью получения легкоплавких порошков рекомендуется вести поиск среди сложных многокомпонентных составов, образующих эвтектики [24]. Эвтектика – это тонкая смесь твердых веществ, одновременно выкристаллизовавшихся из расплава при температуре более низкой, чем температура плавления отдельных ее компонентов или других их смесей. Например, тройная диаграмма плавкости системы $CaO - SiO_2 - Al_2O_3$, применяемая для определения легкоплавких составов металлургического шлака, показывает, что температура плавления чистых оксидов составляет 2570, 1728 и 2040°C соответственно, тогда как эвтектическая смесь, состоящая из: 24% CaO + 62% SiO_2 + 14% Al_2O_3 , начинает плавиться уже при 1170°C.

Принимая во внимание экономический аспект проблемы, предлагают вести поиск эффективных композиций огнетушащих порошков на основе дешевых природных материалов и промышленных отходов, среди которых перспективными представляются шлаки хлоридных технологий цветной металлургии. Подтверждением этого может служить тот факт, что двойная эвтектическая смесь 35% KCl + 65% $CuCl_2$ плавится при 150°C, в то время как чистые KCl и $CuCl_2$ - при 770°C и 630°C соответственно, а тройная эвтектика

плавления отдельных $ZnCl_2$, $NaCl$ и KCl равны соответственно $320^\circ C$, $800^\circ C$ и $770^\circ C$.

Перспективным в экономическом плане является получение огнетушащих порошков на основе смесей хлорсодержащих стоков прокатных цехов и железной окалины прокатных цехов с целью получения кристаллогидратов хлоридов железа, эффективность которых обуславливается низкой температурой протекания эндотермических реакций разложения и плавления.

Так, по данным Гороновского И.Т. [25], $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ разлагается при температуре $76^\circ C$, $FeCl_2 \cdot 6H_2O$ плавится при $37^\circ C$ и кипит при $285^\circ C$. Безводный хлорид железа (II) плавится при $677^\circ C$, хлорид железа (III) – при $309^\circ C$, а хлористый натрий, который плавится лишь при $800^\circ C$, считается достаточно хорошим антипирогеном.

Приходим к выводу, что хлориды щелочных металлов относятся к наиболее эффективным пламегасителям. За счет их малой токсичности и широкой доступности, эти вещества являются наиболее перспективными для создания новых порошковых составов. В то же время, Баратов с соавторами по справочнику отмечают, что известные на основе этих солей огнетушащие порошки, как например, ПГС-М (смесь $NaCl$ и KCl), рекомендованы для тушения металлов методом изоляции от воздуха, а о возможности их применения как ингибиторов горения не сообщалось.

Так, в [26] установлено, что наиболее рациональным инертном для бурого угольной пыли является порошок $NaCl$, флегматизирующая способность которого в 3,5 раза выше, чем у пыли $CaCO_3$.

Авторы [27] предлагают использование в качестве ингибитора состав на основе $NaCl$ с добавкой в качестве промотора 0,1-5% $FeCl_2$.

Промоторы (активаторы), вещества, добавление которых в небольших количествах к катализаторам увеличивает их активность, селективность или стабильность. Различают структурообразующие промоторы, увеличивающие число активных центров катализатора, и модифицирующие промоторы, приводящие к изменению типа активных центров. В случае структурообразующих промоторов увеличение наблюдаемой константы скорости каталитической реакции связано с увеличением предэкспоненциального множителя в уравнении Аррениуса, в случае модифицирующих промоторов - с уменьшением наблюдаемой энергии активации этой реакции. Чтобы установить, к какому типу относится тот или иной промотор, измеряют с помощью физической адсорбции удельную поверхность катализатора, а с помощью хемо-сорбции-поверхность, занятую активными центрами, и определяют влияние промотора на величину последней. Модифицирование катализаторов открыто С.З. Рогинским с сотрудниками в 1947 году.

Заявлены способы подавления угольной пыли в рудничной атмосфере путем вдувания тонкодисперсного $CaCl_2$ и предотвращения ее взрыва композиционными порошками на основе хлоридов ($CaCl_2$, $MgCl_2$, $NaCl$) с добавкой 0,1-3% гидрофильного органического смачивателя и 0,1-2%

антикоррозионного агента (хрома, силиката, фосфора, алюмината).

Ряд авторов [28-32] отмечает эффективность подавления тонкими порошками хлоридов, в том числе $AlCl_3$, $NaCl$, KCl - взрывов метана, и KCl - гибридных смесей метана с каменноугольной пылью. Сообщается, что обработка поверхности реакционного сосуда раствором хлористого калия значительно снижает скорость реакции окисления водорода, чего не наблюдалось при обработке азотной кислотой.

Изучены ингибирующие свойства KCl путем распыления 25% раствора туманообразователем. При этом установлено, что водно-солевая завеса с содержанием KCl до 9г в 1 м³ мелкодисперсного тумана способна локализовать взрыв метана в забое.

На угольных разрезах в качестве штатных профилактических огнегасящих средств наряду с инертной водой и глинистой пульпой используются растворы хлоридов кальция и магния. Применяемая для заливания очагов самонагревания глинистая пульпа (смеси воды с глиной, песком и шлаком) охлаждает уголь и создает на нем защитные пленки, препятствующие выходу адсорбированных газов из угля и проникновению в уголь кислорода. Добавление раствора хлорида кальция повышает эффективность действия глинистой пульпы.

Чаще всего предлагаются комбинированные составы хлоридов кальция, магния, натрия или аммония с добавками поверхностно-активных и пленкообразующих веществ. Так, в качестве эффективного приемлемого средства тушения эндогенных пожаров предложена смесь 3% нейтрализованного черного контакта (НЧК) с добавкой 20% $CaCl_2$.

Описан способ огнезащиты ТГИ с применением антипирогенного состава, в который входит $CaCl_2$ наряду с раствором жидкого стекла, смеси сульфидно-спиртовой барды и глицерина.

Установлен положительный эффект растворов сернокислого, углекислого и хлористого аммония, $NaCl$ и $CaCl_2$, бикарбоната калия и обосновано возможное использование данных веществ в качестве антиокислителей. Показано, что раствор $CaCl_2$ при концентрации 10-35% может служить ингибитором низкотемпературного окисления угля

Имеются сообщения о применении известкового шлама, содержащего $CaCO_3$, CO , $CaSO_4$, $CaCl_2$, в качестве антипирогена. Отмечено, что основное ингибирующее действие на уголь оказывает $CaCl_2$. Кроме того, $CaCl_2$ и CaO благодаря своей гигроскопичности хорошо удерживают воду и диоксид углерода.

В работах [33-35] предлагается обработка угля в реакторе смесью тетрахлорида кремния $SiCl_4$ (в паровой фазе) с водой, образующие на частицах пленку диоксида кремния. Исследования показали, что хлориды ($NaCl$, $CaCl_2$, $MgCl_2$), химически взаимодействуя с некоторыми марками угля, понижают их окислительную активность на 27-53%. Хороший ингибирующий эффект при этом дает 15% раствор $CaCl_2$, который позволяет снизить окислительную активность на 50-60%. Торможение процесса окисления угля

осуществляется 8-10%-ным раствором NH_4Cl и 1-20%-ным раствором $NaCl$ и KCl .

Авторами [36-43] отмечено, что хорошее ингибирующее воздействие оказывают комбинированные растворы 2,5-10% $CaCl_2$ и 5-10% $NaCl$, 5% $Ca(OH)_2$ и 4% $CaCl_2$. Выявлено, что 1-10%-ный раствор $Ca(OH)_2$ может катализировать процесс автоокисления.

В качестве ингибиторов самовозгорания экибастузского угля опробованы 10-20% раствор $CaCl_2$, смесь 5-10% сульфитно-спиртовой барды и 20% $CaCl_2$. При этом установлено, что с ростом температуры скорость сорбции кислорода увеличивается, а критическая температура самовозгорания угля повышается с 343 до 353 К. Авторы обращают внимание на тот факт, что эффективность действия антипирогенов зависит от величины их добавки и физико-химических свойств угля. К примеру, $CaCl_2$ является ингибитором при условии, что в растворе его больше 10%, а при меньшем содержании он может быть катализатором или нейтральным веществом.

Отмечено хорошее действие растворов NH_4Cl , $Na_2SiO_3 + CaCl_2$, $(NH_4)_2CO_3$, фенолов. Эффективность этих растворов и суспензий выше при более быстром и глубоком проникновении их в поры угля. Для лучшего смачивания неокисленных углей используются масла, мыла и другие поверхностно активные вещества.

Рекомендуется применение хлоридов как гигроскопических связующих компонентов защитных составов и паст, для покрытия стенок и кровли горных выработок с целью связывания, и подавления пыли: $CaCl_2$ и $MgCl_2$ с добавкой ПАВ и инертного материала, KCl и $MgCl_2$, $CaCl_2$ и $NaCl$ в различных композициях.

Лишь в двух из всех выявленных публикаций сообщается об использовании в порошковых составах хлорида железа, и то в незначительной доле в качестве промотора: сплав $KCl : NaCl : FeCl_2 - 55 : 44,8 : 00,2$ для подавления взрывов угольной пыли и смеси $NaCl$ с 0,1 – 5% $FeCl_2$ - взрывов метана.

Ряд ученых предлагает взрывоподавляющий состав на основе галогенидов щелочных металлов и других элементов. В качестве основного компонента рекомендуется хлористый натрий с добавлением двуххлористого железа в Авторском свидетельстве 369272 [44]. Внедрение многих из заявленных составов, однако, не может быть осуществлено в обозримом будущем; одной из причин, в частности, является отсутствие соответствующей сырьевой базы.

Такие соединения, как бикарбонат натрия и калия, оксалат калия, фторид натрия, показали высокую ингибирующую способность в лабораторных условиях. В США предложен способ гашения метана, основанный на распылении бикарбоната калия. В рекомендациях «Горного бюро» США упоминаются также одноосновной и двухосновной фосфат аммония, криолит, бикарбонат натрия, «Монекс». В Патенте 11211 (Япония) предлагается взрывоподавляющий состав, разработанный на основе смеси хлоридов натрия,

кальция и магния [45-54].

Проведя обзор научно-технической и патентной литературы, мы можем сделать вывод, что наиболее перспективными компонентами для изготовления порошков являются фосфорноаммонийные соли, сульфатаммонийные и алюмоаммонийные кристаллогидраты типа квасцов, хлор и фторсодержащие составы типа «Монекс», соли щелочных металлов, соли угольной кислоты бикарбонат и карбонат натрия или калия.

1.2.3 Огнетушащая способность и эффективность порошков

В настоящее время порошковыми средствами, за счет их высокой огнетушащей эффективности, отдается все большее предпочтение. Кроме того, порошки являются наиболее экономически выгодными средствами пожаротушения, исходя из показателя «отношение стоимости огнетушения к площади тушения».

В таблице 1.4 представлены технические данные отечественных и зарубежных огнетушащих порошков. Их сравнение показывает, что их огнетушащие способности почти идентичны, и эксплуатационные свойства близки. Основным компонентом в составах огнетушащих порошков являются:

- бикарбонаты и карбонаты натрия и калия;
- аммофос (фосфат аммония);
- хлориды натрия и калия;
- карбамид (мочевина);
- сульфаты аммония, калия и натрия.

Таблица 1.4 - Основные технические данные стандартных огнетушащих порошков

Марка порошка	Класс пожара	Основной компонент		Огнетушащая способность кг\м ²
		название	формула	
1	2	3	4	5
ПСБ-3	В, С, Е	Бикарбонат натрия	NaHCO ₃	0,7-0,8 (объемная, кг\м ³) 1,5-2,0
ПФ	А, В, С, Е	Диаммоний фосфат	(NH ₄) ₂ HP0 ₄	1,5-2,0
СИ-2	В, С, Е	Сидикагель, насыщенный хлором	Cl ₂	0,3
ПС	д	Карбонат натрия	Na ₂ CO ₃	1,6
П-2АП	А, В, С, Е	Аммофос	NH ₄ H ₂ PO ₄ (NH ₄) ₂ HP0 ₄	0,8
П-4АП	А, В, С, Д	Аммофос	NH ₄ H ₂ PO ₄ (NH ₄) ₂ HP0 ₄	0,1 (объемная, кг\м ³)
ПГС-М	В, С, Д	Смесь хлоридов калия и натрия	NaCl + KCl	1,4
ПГС	А, В, С, Д,Е	Хлориды щелочных металлов	(Na,K)Cl	1,2-1,5 25-30 (металлы)
П-1А	А, В, С, Е	Аммофос	NH ₄ H ₂ PO ₄ (NH ₄) ₂ HP0 ₄	2,5-3,5
ВСЕ-100(ФРГ)	В, С, Е	Бикарбонат натрия	Na HCO ₃	1,5-2,0

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5
Р-П-24 (Франция)	А, В, С, Е	Фосфатноаммонийные соли	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	1,5-2,0
“Монекс” (Англия)	В, С, Е	Плава мочевины и карбоната натрия	$\text{CH}_3\text{N}_2\text{OH}$ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0,7-1,2
Totalit - G (ФРГ)	А, В, С, Е	Фосфаты и сульфаты аммония и щелочных металлов	$(\text{Na},\text{K})_3\text{PO}_4$ $(\text{Na},\text{K})_2\text{SO}_4$	0,8
Markalina	В, С, Е	Бикарбонат натрия	Na HCO_3	1,0
Rhodiex-ABC	А, В, С	Фосфаты аммония	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0,8-1,0
Centrimax- (Англия)	А, В, С	Фосфаты аммония, бикарбонат калия	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ Na HCO_2	-
Карате (ФРГ)	Б, С, Е	Сульфат калия	K_2SO_4	1,4-2,0
Фаворит (ФРГ)	Д	Хлорид натрия	NaCl	5,0
Пирант	А, В, С, Д	Фосфаты аммония	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0,8 (объемная, кг\м ³)

Проведя обзор научно-технической литературы, мы не нашли сведений о существовании общей зависимости эффективности взрывоподавляющих и огнетушащих порошков от их химического состава (при их одинаковой дисперсности). Обнаружены лишь отрывочные данные о зависимости отдельных разных по составу групп веществ. Некоторая закономерность зависимости эффективности порошков от их состава присутствует лишь в последних четвертом и пятом случаях:

1) $\text{J} > \text{Br} > \text{Cl} > \text{F}$ (галогиды, хлориды)

2) $\text{NaHCO}_3 < \text{NaF} < \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 < \text{Na}_2\text{Cl}_3 < \text{K}_2\text{CO}_3 < \text{KCl} < \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 < \text{NaCl} < \text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

3) $\text{SiO}_2 < \text{NaCl} < \text{сплав KCl:NaCl:FeCl}_2 - 55:44,8:0,2 < \text{NaCl:KOH} - 99:1 < \text{сплав NaCl:MgF}_2 - 98:2$.

4) Гидраты Солей > Гидроксиды > Соли Безводные > Оксиды

5) Соли: Хлориды > Карбонаты > Сульфаты

причем: $\text{FeR} > \text{MgR} > \text{CaR}$, где R- кислотный остаток – $\text{SO}_4^{-2}, \text{CO}_3^{-2}, \text{Cl}^{-1}$, либо OH^{-1}

Одной из задач нашего исследования является поиск огнетушащих порошков, основной частью которых являлись бы негорючие (таблица 1.5) пылевидные фосфоросодержащие отходы в Таразском филиале ТОО «Казфосфат» Завода минеральных удобрений. Основной упор делается на разработку порошковых составов, предназначенных для эффективного подавления воспламенения и взрыва, которые бы изготавливались по несложной технологии из недефицитного сырья.

Помимо всего этого, актуальна физико-химическая оценка данных фосфорных отходов как для разработки технологических вариантов их использования, так и для поиска новых материалов для производства

огнетушащих составов. Многотоннажные дисперсные отходы фосфорного производства, которые обладают флегматизирующими или ингибирующими свойствами, включают в себя:

- использование фосфогипса с небольшой очисткой (промывка водой, добавление оксида кальция) в сельском хозяйстве в качестве раскислителя почв, в строительстве, в цементной промышленности и в нашем случае, создание нового компонента пожаро-взрывоподавляющих порошковых составов;

- интенсивное воздействие на фосфогипс с получением высококачественного гипса для изготовления строительных смесей и изделий;

- целевое извлечение РЗЭ с использованием выщелачивания минеральной кислотой. Обработка фосфогипса серной кислотой. В связи с доступностью и дешевой серной кислоты большое количество исследований посвящено использованию серной кислоты для преобразования РЗЭ, содержащегося в фосфогипсе, в водный раствор;

- полученный серный экстракт перерабатывается различными методами, а РЗЭ извлекаются путем сорбции, осаждения, экстракции;

- кристаллизация двойных сульфатов. Одним из направлений серного варианта переработки фосфогипса является извлечение РЗЭ в виде двойных сульфатов.

Большим неудобством этого метода является использование высококонцентрированных серных растворов.

Таблица 1.5 - Характеристика пожаровзрывоопасности дисперсных отходов

Наименование пробы	Состав, % вес	Группа горючести	Температура, °С		
			Tн	Tк	Воспламенение аэрозвеси
1	2	3	4	5	6
Шлак доменный	SiO ₂ -36,72; CaO - 39,13; MgO - 7,51; Al ₂ O ₃ -13,64	НГ	Нет	Нет воспламеняется	
Мартеновский шлак	SiO ₂ -18,72; CaO - 45,25; MgO - 9,84; P ₂ O ₅ -1,65; Al ₂ O ₃ -4,15; FeO - 12,26; MnO - 6,98	НГ	Нет воспламеняется	Нет воспламеняется	Нет воспламеняется
Пыль мартеновской газоочистки	Fe ₂ O ₃ -54,5; Ca - 3,14; SiO ₂ -1,9; MgO - 2,28; S - 2,75	НГ	Нет воспламеняется	Нет воспламеняется	Нет воспламеняется

Продолжение таблицы 1.5

1	2	3	4	5	6
Конверторный шлак	SiO ₂ -8,45; CaO - 44,03; Al ₂ O ₃ -2,14; MgO - 5,24; MnO - 4,35; FeO - 15,34; P ₂ O ₅ -6,34	НГ	Не воспламеняется	Не воспламеняется	Не воспламеняется
Графитосодержащая пыль вентсистем	С-97	ТГ	420	760	900 искры

Нами проведен обзор научно-технической и патентной литературы по эндотермическим свойствам порошковых веществ и композиций, сходных по составу с отходами, используемых в качестве взрывоподавляющих веществ (таблица 1.6).

Порошковые флегматизаторы, с учетом их эффективности, можно объединить в три группы [55].

Первая группа: вещества, действующие при нагреве как инерты. К ним относятся дисперсные отходы, состоящие в основном из оксидов:

- SiO₂ - отработанные формовочные смеси литейных цехов;
- Fe₂O₃ - пыль, образующаяся при регенерации отработанных травильных растворов прокатных цехов;
- CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ - окислы, содержащиеся в виде весьма устойчивых силикатов CaO - SiO₂, MgO- SiO₂, Al₂O₃- SiO₂ в металлургических шлаках.

Эти вещества не подвергаются структурным, минералогическим или химическим превращениям даже при нагреве выше 1000°C. Огнетушащие свойства оксидов наиболее слабые. Эффект флегматизации инертами увеличивается применением веществ с эндотермическими процессами плавления. К ним относятся повсеместно использующиеся хлориды магния, калия, кальция и натрия, которые имеют температуру плавления 700-800°C.

Действие оксидов обусловлено лишь физическим поглощением тепла реакции горения, приводящим к снижению ее теплового эффекта, замедлению скорости горения и возрастанию температуры воспламенения.

Вторая группа: вещества, в которых при нагреве происходит эндотермические реакции разложения с переходом в вещества другого состава. К ним относятся:

- карбонаты (CaCO₃ MgCO₃), содержащиеся в пыли сыпучих материалов сталеплавильных цехов;
- гидроксиды Ca(OH)₂ и Mg(OH)₂, образующиеся при контакте с водой во время грануляции доменного шлака и поглощении влаги;
- гидроксиды железа Fe(OH)₂, Fe(OH)₃, содержащиеся в нейтрализованных кислых стоках сталепрокатных цехов;
- гидраты солей железа и кальция, содержащие в своем составе кристаллогидраты, т.е. химически связанную воду, которые образуются в

кислых и нейтрализованных стоках сталеплавильных цехов, и находятся в виде раствора или суспензии, а после высыхания - в дисперсном состоянии.

Третья группа: вещества, оказывающие химическое воздействие на реакции окисления и воспламенения в горючей среде (хлориды).

Наиболее перспективными, с точки зрения эффективности и экологической безопасности, являются поиск и разработка составов среди веществ с ярко выраженными эндотермическими свойствами. Другими словами, предпочтение следует отдавать материалам, вызывающим резкое охлаждение зоны горения либо способным создать среду, не поддерживающую горение.

Таблица 1.6 – Свойства порошковых флегматизаторов (аналитические данные)

Формула	Вид соединения	Температура, °С	
		Начало разложения	плавления
1	2	3	4
CaO	оксиды	нет	2580
MgO		-	2800
Fe ₂ O ₃		нет	1565
Fe ₃ O ₄		1590	-
SiO ₂		580	-
MgSO ₄	сульфаты	нет	1127
K ₂ SO ₄		550	-
Fe ₂ (SO ₄) ₃		480	-
CaCO ₃	карбонаты	825	-
MgCO ₃		350	-
CaMg(CO ₃) ₂		500,890	-
Ca(Mg, Fe)(CO ₃) ₂		760,980	-
FeCO ₃		750	-
NaHCO ₃		270	-
CaCl ₂	хлориды	нет	782
MgCl ₂		нет	714
FeCl ₂		-	677
KCl		нет	800
NaCl		нет	800
NH ₄ Cl		337 возгоняется	-
Ca(OH) ₂		гидрооксиды	580
Mg(OH) ₂	200		-
Fe(OH) ₃	500		-
NaOH	Нет		328
CaSO ₄ ·2H ₂ O	Кристаллогидраты	128-163	-
MgSO ₄ ·7H ₂ O		150; 200 с кипением	-
FeSO ₄ ·7H ₂ O		100 – 300 с кипением	64
KAl(SO ₄) ₃ ·12H ₂ O		64,5	-
Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O		86,5	-
MgCO ₃ ·3H ₂ O		165	-
Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O		180, 830	-
CaCl ₂ ·6H ₂ O		30; 200	29,9
MgCl ₂ ·6H ₂ O		120; 150	-
FeCl ₃ ·6H ₂ O		285 с кипением	37

Продолжение таблицы 1.6

1	2	3	4
CH ₃ N ₂ OH	карбамид	132	-
NH ₂ H ₃ PO ₄	аммофос	190	-

Таковыми материалами являются карбонаты, кристаллогидраты и другие легкоплавкие соли. Так, в качестве антипирогенов рекомендуются: карбамид (CH₄ON₂), плавящийся при 132 °С; (CaCO₃·MgCO₃), разлагающийся при 350 °С с выделением диоксида углерода; квасцы KAl(SO₄)₃·12 H₂O, которые при температуре выше 100 °С разлагаются с выделением паров воды.

Последние исследования [56] показывают, что одним из основных факторов, определяющих огнетушащую способность порошковых отходов, является температура эндотермических процессов, проходящих в них при нагреве. Взрывоподавляющее действие порошков при равной дисперсности возрастает по ряду:

Оксиды < Соли Безводные < Гидроксиды < Гидраты Солей, в том числе Сульфаты < Карбонаты < Хлориды, причем CaR<MgR<FeR, (R- кислотный остаток – SO₄⁻², CO₃⁻², Cl⁻¹, либо OH⁻¹).

В работах [57-60] выявлено, что существует выраженная зависимость эффективности порошковых ингибиторов от способа их распыления и доставки к фронту пламени. Имеется три способа подачи порошков в зону пожара или взрыва: пневматический, взрывной и комбинированный.

Пневматический способ реализуется следующими путями:

- заряд ОТВ и корпус огнетушителя постоянно находятся под давлением вытесняющего инертного газа (воздух, азот, углекислый газ) или пара огнетушащего вещества;

- наличие в огнетушителе с порошком баллончика со сжатым или сжиженным газом, располагаемом внутри корпуса огнетушителя или снаружи;

- наличие в емкости с порошком избыточного давления, создаваемого в результате выделения газа в ходе химической реакции между компонентами заряда специального пиротехнического газогенерирующего элемента огнетушителя;

- подача огнетушащего вещества осуществляется в результате теплового воздействия на ОТВ электрического тока или продуктов химической реакции компонентов специального элемента;

- эжекционная подача тонкодисперсного порошка в воздушный спутный поток (объемное дистанционное тушение порошком в горных выработках, кабельных каналах).

Взрывной (импульсный) способ осуществляется помещением перед или в массу ОТВ заряда взрывчатого вещества с детонатором, масса ВВ подбирается экспериментально. В сравнении с пневматическим способом, взрывной способ обладает рядом преимуществ: моментальное срабатывание, быстрое формирование порошкового облака, активация и диспергирование огнетушащего порошка энергией взрыва, небольшая инерционность. Но

имеются и недостатки: ограничения в применении, взрывчатые вещества требуют специального учета и хранения. Горение взрывчатых веществ при взрывной проходке в угольных шахтах может послужить причиной взрыва газа или угольной пыли.

Комбинированный (пневмоимпульсный) способ подачи порошка в очаг пожара или взрыва осуществляется за счет энергии сжатого в баллоне газа, отпирание которого происходит при помощи мгновенного микровзрыва.

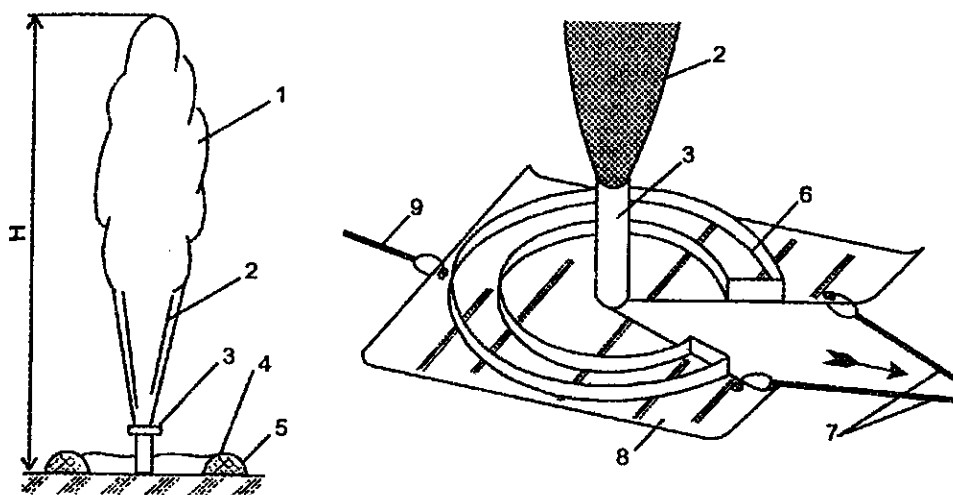


Схема подачи порошка к фонтану при тушении вихре-порошковым способом: 1 – факел, 2- негорящая часть фонтана, 3 – устьевая труба, 4 – слой огнетушащего порошка, 5 – заряд ВВ, 6 – кольцевой лоток для размещения огнетушащих средств, 7 – подтягивающие стальные канаты, 8 – платформа – щит, 9 – оттягивающие стальные канаты

Рисунок 1.7 – Подача порошка к фонтану при тушении вихре-порошковым способом

Подача огнетушащего порошка из модулей порошкового пожаротушения (МПП) в очаг пожара осуществляется при воздействии на него нагретого воздуха тепловой колонки очага пожара, обладающего подъемной силой. Величина этой силы зависит от мощности пожара и интенсивности воздухообмена в помещении.

Широкое применение нашли огнетушители порошковые закачные и со встроенным источником давления, изображенные на рисунке 1.8 импульсные огнетушители и взрывоподавители относятся к новому поколению средств пожаротушения.



Рисунок 1.8 - Порошковые огнетушители

Если возможно вовремя подавленное возгорание или взрыв газовой смеси, то это зависит от того, насколько быстро эффективный ингибитор вводится в зону воспламенения или фронт пламени. С этой целью применяются быстродействующие автоматические системы активного подавления [61-63], конструкции которых в последнее время интенсивно развиваются. Такие системы, как правило, включают в себя: датчики обнаружения взрыва, реагирующие на световой поток, УФ-излучение, статическое давление, тепловое излучение, выделение дыма; контрольно-усилительное устройство сигнала, поступающего от датчика и подающее команду на взрывоподаватель; взрывоподавательные устройства, срабатывающие от заряда ВВ и порошковые ингибиторы, распыляющиеся в зону горения или взрыва.

К наиболее современным средствам пожаротушения относятся генераторы объемного аэрозольного тушения пожаров или системы объемного тушения (СОТ). Их предназначение – тушение пожаров ЛВЖ и ГЖ (бензин и другие нефтепродукты, органические растворители и т.п.) и твердых материалов (древесина, изолированные материалы, пластмассы и др.), а также электрооборудования (силовые и высоковольтные установки, бытовая и промышленная электроника и т.п.). Возможно применение СОТ и для тушения щелочных и щелочноземельных материалов, а также веществ, горение которых проходит без присутствия воздуха.

Огнетушащим средством в генераторах СОТ является твердый аэрозоль

окислов щелочных и щелочноземельных металлов переходной группы, образующийся при сгорании зарядов и способный находиться во взвешенном состоянии в замкнутом объеме в течение длительного времени (до 40-50 минут). Аэрозольногазовая смесь, которая выделяется при горении заряда генератора, не портит защищаемое имущество и даже бумагу, а сами частицы аэрозоля можно убрать с помощью пылесоса или смыть водой.

Генераторы СОТ делят на ручные (СОТ-5М) и стационарные (СОТ-1). Защищаемый при пожаре объем генератором СОТ - 5М до 40м³, а генератором СОТ - 1 до 60 м³.

Чтобы привести в действие генератор СОТ-5, необходимо: снять колпачок с узла запуска, затем резко дернуть за шнур и бросить в горящее помещение.

Запуск генератора СОТ-1 осуществляется с помощью специальных узлов запуска, термохимических или электрических.

При использовании термохимических узлов запуска, срабатывающих при достижении в защищаемом объеме температуры 90°С, каждый генератор, в случае, если их установлено несколько, может работать полностью автономно. Генераторы с термическими узлами запуска устанавливаются в зоне наиболее вероятного загорания, под потолком помещения.

Генераторы СОТ-1, оснащенные электрическими узлами запуска, могут быть использованы на объектах, имеющих пожарную сигнализацию. Эти генераторы работают в интервале температур от минус 55°С до плюс 55° и 100%-ной влажности. Установка генератора СОТ-1 производится с помощью специального кронштейна. Рабочее положение генератора горизонтальное или вертикальное, инжектором вниз. Генераторы с электрическим узлом запуска позволяют произвольное размещение.

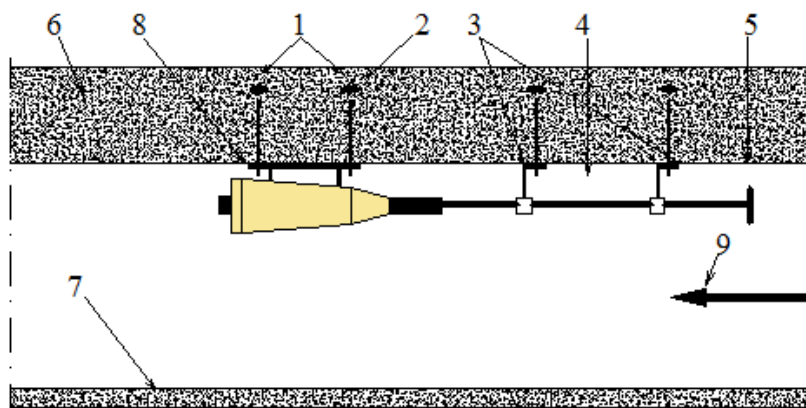
При возникновении пожара и срабатывании генераторов, лица, находящиеся в этот момент в защищенном помещении, должны быстро покинуть его, плотно закрыв за собой двери, и не предпринимать никаких действий по тушению пожара, кроме вызова пожарной охраны.

Рекомендуется оборудовать генераторами СОТ следующих объектов: промышленные предприятия, силовые энергетические установки, коммунально-бытовые предприятия, общественные здания, учебные заведения, научно-исследовательские институты и учреждения, банки и офисы, торговые базы и склады, зрелищные предприятия, административные и жилые здания, транспортные средства.

Классификация зданий по классам функциональной пожарной опасности, категории помещений взрывопожарной и пожарной опасности, пределы огнестойкости конструкций определяются в соответствии с требованиями Технического регламента [64].

Автоматическая система взрывоподавления-локализации взрывов (АСВП - ЛВ) предназначена для применения в качестве основных или вспомогательных взрыволокализирующих заслонов в шахтах опасных по газу и разрабатывающих угольные пласты, опасные по взрывам пыли. АСВП-ЛВ относится к устройствам локализации взрыва метановоздушной смеси и (или) угольной пыли, ликвидирующим распространение фронта пламени по сети горных

выработок шахты при взрывах метана и угольной пыли. Система предназначена для защиты горных выработок от распространения по ним взрывов метановоздушной смеси и угольной пыли, путем принудительной подачи пламегасящего порошка энергией сжатого воздуха высокого давления в горную выработку, образуя при этом на пути распространения фронта пламени взрыволокализирующий заслон в виде облака пламегасящего порошка во взвешенном состоянии. Система АСВП-ЛВ укомплектована подвесками и поддержками для крепления её на элементах крепи под кровлей горной выработки. На рисунке 1.9 приведена схема установки АСВП-ЛВ.



1-анкерное крепление; 2- подвеска; 3-поддержки; 4-выносные штанги; 5-приемный щит; 6- кровля выработки; 7- почва выработки; 8 -УЛВ; 9-направление распространения фронта ударно-воздушной волны и фронта пламени, образованных в результате взрыва метановоздушной смеси и (или) угольной пыли

Рисунок 1.9 - Схема установки АСВП-ЛВ

АСВП-ЛВ включает:

а) устройство локализации взрыва (УЛВ) - устройство, распыляющее пламегасящий порошок и создающее взрыволокализирующий заслон в виде облака пламегасящего порошка во взвешенном состоянии в подземной горной выработке;

б) автономное командное устройство (АКУ) - устройство, обеспечивающее срабатывание УЛВ.

Устройство локализации взрыва состоит из конусообразного бункера и промежуточной камеры, заполненных пламегасящим порошком, внутри которых расположена рабочая полость устройства, заполненная сжатым воздухом высокого давления. Автономное командное устройство состыковано с устройством срабатывания УЛВ и состоит из выносных штанг, соединительных муфт, приемного щита и крепежных гаек.

Установкой АСВП-ЛВ могут быть защищены (изолированы):

- конвейерные выработки;
- наклонные горные выработки, в т.ч. с углом падения более 18°;

- горные выработки, оборудованные монорельсовым транспортом;
- очистные выработки;
- подготовительные выработки, проводимые по углю или по породе и углю;
- крылья шахтного поля в каждом пласте;
- пожарные участки;
- подземные склады взрывчатых веществ.

Автоматические системы АСВП-ЛВ размещаются в выработках на входящей и на исходящей струях изолируемых выработок или по всей длине защищаемой выработки. Для изоляции крыльев шахтного поля АСВП-ЛВ устанавливаются в открытых и вентиляционных штреках у бремсбергов, уклонов, квершлагов и других примыкающих к ним выработок.

С целью защиты конвейерных выработок, автоматические системы АСВП-ЛВ должны устанавливаться на всем протяжении горных выработок, на расстоянии друг от друга не более 300 м. Такие системы не устанавливаются в конвейерных выработках, по которым транспортируется только порода.

С целью изоляции пожарных участков, автоматические системы АСВП-ЛВ помещаются на всех примыкающих к ним выработках.

Установка АСВП-ЛВ должна производиться на расстоянии не менее 60 м и не более 300 м от забоев очистных и подготовительных выработок, сопряжений откаточных и вентиляционных штреков с бремсбергами, уклонами, квершлагами, а также от изолирующих пожар перемычек. Установка АСВП-ЛВ на откаточных и вентиляционных штреках, у сопряжений с бремсбергами, уклонами, квершлагами не требуется, если автоматические системы АСВП-ЛВ, изолирующие забои очистных и подготовительных выработок находятся на расстоянии 300 м и менее от этих сопряжений.

В выработках, оборудованных монорельсовым транспортом, АСВП-ЛВ размещаются на входящей и исходящих струях воздуха. Посредством подвески и поддержек система крепится к элементам крепи под кровлей горной выработки приемным щитом навстречу предполагаемому распространению фронта ударно-воздушной волны и фронта пламени, образованных в результате взрыва метано-воздушной смеси и (или) угольной пыли. Данное устройство, к сожалению, не нашло широкого применения.

На данный момент, как у нас, так и за рубежом, накоплен достаточный опыт создания автоматических систем взрывоподавления. Были разработаны многочисленные варианты основных элементов и узлов таких систем, ведется дальнейшая работа по их совершенствованию.

Так, в Германии серийно выпускаются различные модификации взрывоподавляющего комплекса BVS [65-66]. Данное автоматическое противовзрывное устройство разработано Опытным штреком Вестфальского горнопромышленного товарищества (BVS) специально для защиты от взрывов в шахтных дегазационных установках. Уже на протяжении нескольких лет данное устройство является составной частью средств взрывозащиты шахтных дегазационных систем, и наилучшим образом оправдало себя на практике. Экспериментально доказано, что наиболее эффективным средством для

подавления взрывов является порошок на основе фосфата аммония, выпускаемый под фирменным названием «Трополяр».

Как отмечается в работе [67], автоматический взрывной заслон системы VVS вполне пригоден для подавления и гашения вспышек и воспламенений метана в забоях, оборудованных проходческим комбайном с отдельной выемкой угля и пород. Эксперименты по подавлению взрыва метана проводили в масштабе 1:1 в штольне, закрепленной арочной крепью с площадью поперечного сечения 20 м², в которую был заведен проходческий комбайн «Роботер». С целью обнаружения пламени, с двух сторон стрелы комбайна были размещены ультрафиолетовые детекторы пламени, направленные на забой. Выбрасывание пламегасящего порошка производилось через радиально направленные веерные распылители, расположенные перед прожекторами машины по кольцу вокруг стрелы. Баллоны с порошком закрепили на комбайне около прожекторов, их соединили с распылителями высоконапорными шлангами. Как показали эксперименты, применение всего лишь шести баллонов, в каждом из которых содержалось по 8 кг пламегасящего порошка «Трополяр», позволяет не только подавить вспышку однородной метановоздушной смеси, но и погасить воспламеняющееся слоистое скопление метана или горящий метан, выделяющийся из трещины в кровле.

В работе [68] проводили оценку эффективности порошковых ингибиторов по наименьшей огнетушащей концентрации порошка во взрывной камере в г/л. В состав распылительного устройства (подавителя) входили шарообразная полиэтиленовая оболочка, порошкообразный ингибитор и взрывчатый заряд. Исследователи пришли к выводу, что на эффективность порошковых ингибиторов существенно влияет способ их распыления и доставки к фронту пламени. Испытания гасящего устройства прошли успешно.

Как известно, горение - это совокупность сложных химико-физических процессов, таких как химические реакции, горючее вещество-окислитель, диффузия, теплопередача и др. Процесс распространения пламени по горючей газовой смеси обуславливается теплопередачей и диффузией активных центров пламени (АЦП). Если скорость распространения пламени существенно меньше скорости распространения звука в данной среде, то мы имеем дело с дефлаграционным горением, если больше - это детонационное горение или взрыв. В реальных условиях, однако, между дефлаграционным горением, когда ударная волна отсутствует, и детонационным горением, когда фронт пламени и фронт ударной волны совмещены, находится область «двойных нестационарных разрывов». В этой области фронт ударной волны распространяется со скоростью большей, чем скорость распространения фронта пламени, и между ними имеется разрыв.

Для подавления дефлаграционного горения может использоваться порошковая пожарная техника с пневматической подачей порошка - ручные и передвижные огнетушители, стационарные установки, автомобили. При взрывных процессах в области «двойных нестационарных взрывов» необходимо использование взрывоподавителей с распыливающим зарядом взрывчатых веществ. Если взрывной процесс переходит в детонацию, когда

фронт пламени совмещен с фронтом ударной волны, вся имеющаяся на сегодняшний день порошковая техника малопригодна.

1.2.4 Пригодность и долговечность использования огнетушащих порошков
Согласно ТУ 113-08-597-86, на приемочных и типовых испытаниях параметры порошков проверяются по пунктам:

- 7 (показатель огнетушащей способности);
- 9 (показатель слеживаемости);
- 10 (устойчивость к термическому воздействию);
- 11 (устойчивость к вибровоздействиям и тряске);
- 12 (срок сохраняемости).

Параметр по пункту 8 (текучесть) проверяется на приемочных, типовых, периодических и аттестационных испытаниях.

Пригодность порошков (их долговечность) исчисляется количеством лет, в течение которых значения огнетушащей способности и текучести соответствуют значениям ГОСТа.

Помимо этого, долговременное использование порошков зависит и от добавок. К добавкам для уменьшения слеживаемости и влагопоглощения, а также для увеличения вибростойкости, относятся: модифицированные аэросилы, амины жирных кислот, стеараты металлов различные кремнийорганические жидкости [69], а также инертные опудривающие добавки типа флогопита, талька, шамотно - каолиновой пыли, вермикулита.

Хотя вермикулит, как утеплительный материал, относится к минеральным, природного происхождения, он известен и как горная порода. По сути, природный вермикулит – это горная порода силикатного класса, группы гидрослюд. От обычной слюды он отличается повышенным содержанием связанной в кристаллической решетке воды и низким уровнем связей между слоями материала. Так, общая молекула исходного, природного вермикулита включают четыре «прикрепленных» к ней молекулы воды. В обычном состоянии это достаточно твердая порода, с высокой плотностью, доходящей до $2400 \div 2700$ кг/м³, не поддающаяся истиранию, но легко расслаиваемая на пластинки. Температура ее плавления – около 1350 °С. Но была замечена и использована такая особенность минерала – если его не доводить до плавления, а разогреть до температур порядка $900 \div 1000$ °С, то материал полностью меняет свою кристаллическую структуру. Тонкие пластинки вспучиваются – увеличиваются в размерах в $15 \div 25$ раз и превращаются в пористые столбики червеобразного вида или даже тонкие нити, с выраженным золотистым или серебристым отливом. В итоге получается вспученный вермикулит – материал, который в дальнейшем широко применяется в самых разных отраслях строительства, промышленности и сельского хозяйства. Воздухонаполненная структура имеет очень невысокую плотность – она намного легче воды, и ее удельная масса становится всего от 60 до 130 кг/м³.

Выпускаемый на предприятиях вермикулит должен соответствовать определенным стандартам, введенным ГОСТ12865-67. Так, его подразделяют на:

- крупный – зерна размером от 5 до 10 мм;
- средний – от 0,6 до 5 мм;
- мелкий – зерна до 0,5 мм.

Обычно потребителям поставляется материал трех различных марок – 200, 150 и 100, в которых числам обозначен верхний предел насыпной плотности материала (кг/м^3). Сама же плотность и, соответственно, утеплительные качества вермикулита зависят от размера фракции.

Отметим, что в каждом отдельном случае необходимо находить оптимальное соотношение опудривающих добавок в порошке, т.к. недостаточное их количество приводит к ухудшению эксплуатационных свойств порошка (влагопоглощения, слеживаемости, текучести, виброустойчивости) и к сокращению гарантированного срока хранения. С другой стороны, избыток добавок ведет к ухудшению огнетушащей эффективности порошка (особенно по классу А, т.к. и аэросилы, и инертные добавки затрудняют образование пленки плава на тлеющей поверхности). Избыточное содержание жидких гидрофобизирующих добавок может также привести к ухудшению текучести и огнетушащей эффективности порошка по классам В и С; слишком плотное покрытие порошковых частиц пленкой вызывает усиление их сцепления, как и понижение ингибирующей эффективности. Кроме того, избыток дорогостоящего аэросила ведет к удорожанию порошка. Поиск в литературных источниках не дал сведений о возможности продления эксплуатационного срока просроченных (некондиционных) огнетушащих порошков.

Выводы по 1 разделу:

1) Возможность влияния на реакцию горения возможно физическими и химическими методами снижения концентрации компонентов горючей смеси, охлаждения зоны горения и замедления цепных реакций с помощью флегматизирующих или ингибирующих веществ, среди которых наиболее универсальными и перспективными являются порошковые материалы.

2) В разных странах лабораторно испытан широкий спектр неорганических и органических соединений в качестве порошковых флегматизаторов и ингибиторов процессов воспламенения и взрыва газоздушных смесей. Ряд составов признан неприемлемым из-за выделения токсичных продуктов (хладоны), дефицитности, дороговизны сырья и сложности технологии.

3) Ввиду высокой токсичности и экологической опасности ингибиторов (галоидов), наиболее перспективны поиск и разработка эффективных порошковых составов на основе хлоридов и веществ, обладающих ярко выраженными эндотермическими свойствами (легкокипящих, легкоплавящихся), обуславливающих резкое охлаждение зоны горения.

4) Анализ научно-технической литературы не выявил общих закономерностей эффективности огнетушащих порошков от их состава. Предложены лишь отдельные бессистемные ряды зависимости исследуемых минеральных соединений. Поэтому необходимым условием решения проблем

разработки эффективных пламегасителей является поиск единых показателей и свойств веществ, способных стать критериями их флегматизирующей способности.

5) При разработке новых пламегасящих составов учитываются следующие условия:

- недефицитность и дешевизна сырья (в первую очередь промышленные отходы);
- малая токсичность и экологическая безопасность;
- несложная технология изготовления.

2 МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОГНЕТУШАЩЕЙ (ВЗРЫВОПОДАВЛЯЮЩЕЙ) ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ

2.1 Методика и установки определения эндотермических свойств порошковых материалов методом дифференциально-термографического анализа (ДТА)

В результате исследований, качество огнегасящих порошков, в соответствии с [70], оценивается по 15 экспериментальным методикам с определением 12 показателей. В таблице 2.1 представлены нормы качественных показателей на примере порошков П-2АП и П-4АП.

Таблица 2.1 - Качественные показатели порошков ТУ 113-08-597-86 марок П-2АП и П-4АП

№ п/п	Наименование параметра	Норма для марки	
		П-2АП	П-4АП
1	Массовая доля аммофоса в перерасчете на пятиокись фосфора (P ₂ O ₅), % не менее	41	44
2	Массовая доля аэросила, %: АМ-1-300 АМ-1-175	1,5-1,8 2,2-2,5	1,5-2,0
3	Массовая доля нерастворимых в соляной кислоте веществ, % в пределах	7-11	4-7
4	Массовая доля влаги, % не более	0,5	0,5
5	Кажущаяся плотность, кг·м ³ , в пределах	800-1000	600-800
6	Гранулометрический состав: частиц не более 0,2 мм, %, не более	2,0	Отсутствие
	Частиц более 0,1 мм, %, не более	Не контролируется	5,0
	Частиц менее 0,05 мм, не менее	70	90
7	Показатель огнегасящей способности:		
7.1	При тушении пожаров класса А, Кг·м ⁻² , не более	0,40	Не контролируется
7.2	При тушении пожаров класса В, Кг·м ⁻² , не более	0,90	Не контролируется
7.3	При тушении пожаров класса С, Кг, не более	1,50	Не контролируется
7.4	При объемном тушении, Кг·м ⁻³ , не более	Не контролируется	0,1
8	Текучесть при массовой доле остатка порошка не более 15%, кг·с ⁻¹ , не менее	0,24	Не контролируется
9	Показатель слеживаемости, мм, не менее	15	
10	Устойчивость к термическому воздействию, % не менее	95	Не контролируется
11	Устойчивость к вибровоздействиям и тряске, % не менее	95	Не контролируется
12	Срок сохраняемости, годы, не менее	10	8
Примечание - п/п – параметры пунктов			

Параметры пунктов 7, 9, 10, 11 и 12 проверяются на приемочных и типовых испытаниях, параметр пункта 8 — на приемочных, типовых, периодических и аттестационных испытаниях.

В соответствии с нормативами, указанными в справочной литературе, на ежегодных технических осмотрах проводится проверка следующих эксплуатационных параметров порошка:

- внешний вид;
- наличие комков;
- сыпучесть при пересыпании рукой;
- возможность разрушения комков до пылевидного состояния при их падении с высоты 20 см;
- содержание влаги и дисперсность.

Наряду с этим, согласно п. 2.7.2. ГОСТа 26952-97, основными показателями при проведении испытаний на определение срока годности служат огнетушащая способность и текучесть порошка.

Огнетушащую способность порошка при тушении пожаров класса С (газообразных веществ) определяют методом флегматизации, принадлежащим к наиболее универсальным и корректным методам оценки огнетушащих свойств по пиковым огнетушащим концентрациям при объемном методе тушения пожаров и флегматизации взрывов.

Порошковые составы - высокоэффективные, мобильные и технологические средства пожаротушения и взрывоподавления. Огнетушащая поверхностная способность порошков задается в $\text{кг}/\text{м}^2$, а объемная - в $\text{кг}/\text{м}^3$, последняя применяется и для взрывоподавляющей способности порошков.

В ГОСТе 26952-97 приведены стандартные натуральные очаги классов А, В, С и стандартные условия их тушения из 5-литрового порошкового огнетушителя.

В результате исследований того, что сейчас существует на рынке, мы пришли к выводу, что существует большое количество стандартных и общепризнанных методов экспериментального определения пламегасящих свойств порошковых составов. Однако, как считает М.Е. Краснянский, при разработке новых порошковых составов на стадии НИР предпочтение следует отдать лабораторным установкам. Так, используются лабораторные универсальные установки поверхностного тушения пожаров класса А, В, результаты которых находятся в согласии с экспериментальными данными. При объемном тушении происходит почти 100%-ное взаимодействие массы огнетушащих веществ с очагом, тогда как при поверхностном тушении даже малых очагов имеются потери. Однако данные методики пригодны в основном для определения огнетушащей эффективности порошков при тушении пожаров (очагов горения), но не для подавления взрывов.

В Лаборатории разработана экспериментальная установка по оценке взрывоподавляющих свойств порошков на базе стандартной методики по определению концентрационных пределов распространения пламени по газоздушным и пылевоздушным смесям [71].

При разработке экспериментальной установки и методики исследования соблюдены следующие условия:

- 1) выполнение требований ГОСТа 12.1.044-98 ССБТ (параметры сосуда, энергия воспламенения, критерий воспламенения);

2) точность и простота приготовления газовых смесей и возможность проведения не менее 3-х опытов при однократном приготовлении газовой смеси определенного состава;

3) герметичность и прочность всех узлов установки.

Газовые смеси поджигаются в нижней части вертикальной реакционной трубки, изготовленной из кварцевого стекла диаметром 50 мм и длиной 1000 мм.

Анализ [72-79] методов и ряда конструкций распылителей показал, что наиболее рациональной представляется схема импульсного распылителя порошков в распылителе типа «вихревой камеры». Помещенный в распылитель порошок взвихривается протекающей через сопло струей сжатого газа. Слой порошка переходит во взвесь, и выносится из камеры через отверстие с большой скоростью, разрушая при этом слипшиеся частицы.

При этом основной характеристикой термораспылителя принят один из известных распылителей. Навеска порошка распыляется тангенциально поступающей газовой смесью, и выбрасывается в реакционную трубку.

Концентрация пыли определяется делением навески на объем реакционной трубки. Качество распыления удовлетворительное. Суммарная систематическая ошибка манометра и вакуумметра равна $\pm 1\%$.

Опыты проводились следующим образом: навеску пыли фракции $< 0,05$ мм взвешивали на электронных весах с точностью до 0,001, и помещали в распылитель. Далее в смесителе, готовили смеси пропан - бутана с воздухом в различных соотношениях. Затем через промежуточный баллон, с помощью электромагнитного клапана, импульсом воздуха взвихрили навеску и увлекали газопылевоздушную смесь в предварительно вакуумированную реакционную трубку. С помощью высоковольтного индуктора, смеси поджигали электрическим разрядом напряжением в 1000 В.

Сущность методики состоит в поджигании газовой смеси с заданной концентрацией газа в объеме реакционной трубки и установлении факта наличия или отсутствия распространения пламени. Изменяя концентрацию горючего газа в смеси, можно определить ее минимальное и максимальное значения, при которых происходит распространение пламени по всей высоте трубки.

За предел воспламенения принимается среднее арифметическое значение двух ближайших концентраций с разницей не более 5 % по содержанию определяемого компонента.

При одной из концентраций наблюдается воспламенение с распространением пламени до верха реакционного сосуда, а при другой - «отказ», т.е. смесь не воспламеняется или реакционное пламя не распространяется до верха реакционного сосуда.

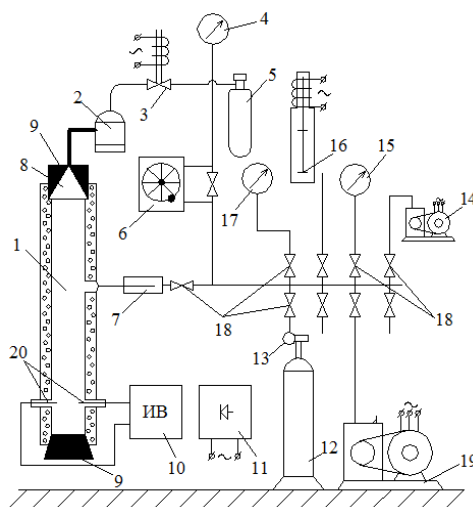
Выбор размеров реакционного сосуда обусловлен тем, что при диаметре 50 мм и более его влияние на область воспламенения становится незначительным, а при длине более 1000 мм рассеивается избыточная энергия источника поджигания, и пламя может неограниченно долго распространяться по смеси.

Для обеспечения безопасности проведения экспериментов, реакционная трубка была помещена в броневою камеру с окном из органического стекла. Для удаления газообразных продуктов взрыва в верхней части камеры установлена вытяжная вентиляция.

Как видно из таблицы 2.1, из всех применяемых показателей определения качества порошков лишь один - огнетушащая способность при поверхностном или объемном тушении - может характеризовать флегматизирующую эффективность порошка, не объясняя, однако природы, причин и условий развития данного процесса. Без знания перечисленных факторов поиск и прогнозирование эффективных порошковых составов невозможны.

По итогам исследований (раздел 1), четко прослеживается лишь общий вывод исследователей о том, что наиболее эффективными являются вещества, способные при нагревании к эндотермическим превращениям, т.е. легкоиспаряющиеся, либо легкокипящие, либо легкоразлагающиеся. О показателях же данного процесса ничего не сообщается, хотя логично предположить, что чем ниже температура начала процесса и больше тепловой эффект эндотермических реакций, тем лучше свойства порошка.

В результате этого получена методология экспериментального исследования эндотермических свойств порошков, определяющая температурный интервал и тепловой эффект порошка, по которым можно оценить и прогнозировать относительную флегматизирующую способность составов.



- 1 - реакционный кварцевый сосуд; 2 - распылитель; 3 - клапан электромагнитный; 4 - вакуумметр; 5 - баллон; 6 - насос Камовского; 7 - пылевой фильтр-огнепреградитель; 8 - распылительный конус; 9 - пробка резиновая; 10 - высоковольтный индуктор ИВ-100; 11 - выпрямитель; 12 - баллон со сжатым газом; 13 - манометр; 14 - электродвигатель; 15, 17 — вакуумметры; 16 - электромагнитная мешалка-смеситель; 18 - запорные вентили; 19 - компрессор; 20 - искровые электроды

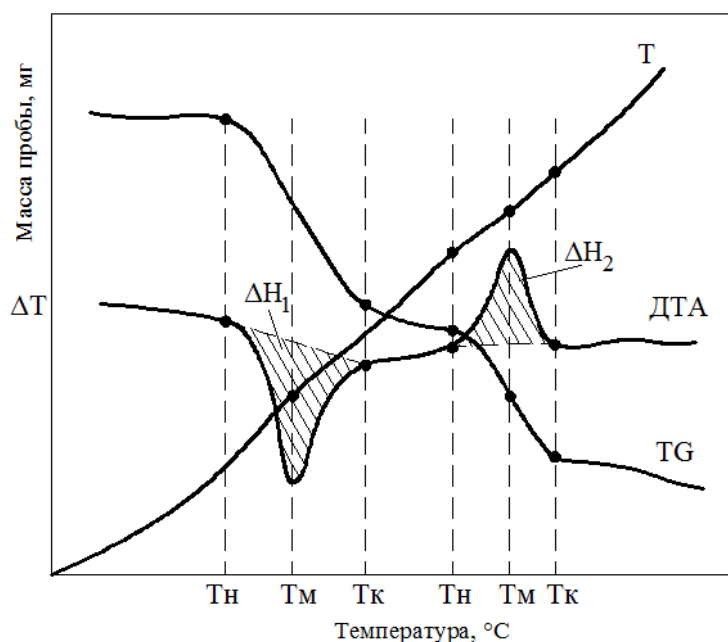
Рисунок 2.1 - Схема установки по исследованию взрывоподавляющей способности порошковых материалов

Сущность методики заключается в изучении процессов по сопровождающему их тепловому эффекту и изменению относительной разницы температур при линейной скорости нагрева исследуемого и эталонного образца, не претерпевающего в процессе нагрева никаких внутренних превращений.

По итогам эндотермических превращений при нагреве в области критических температур образец будет иметь более низкую температуру по сравнению с температурой эталона. В этот период нагрева приход тепла в систему меньше чем теплоотвод в окружающую среду, в результате чего температура образца значительно снижается, и возникновение горения становится невозможным.

Момент значительного снижения скорости нагрева и скачок на кривой дифференциальной температуры принимают за начало эндотермического процесса, а температура, взятая в этой точке на термограмме, принимается за температуру начала охлаждения.

Исследования дают возможность проследить за другими изменениями в образце в процессе нагревания, сопровождающимися отрицательными или положительными тепловыми эффектами (плавление, термическое разложение и т.п.), что очень важно при исследовании многокомпонентных смесей. Типичная термограмма представлена на рисунке 2.2.



ДТА - дифференциальная кривая нагревания; Т - температурная кривая нагревания; TG- кривая потери веса; T_n , T_c , T_m - температуры начала, конца и максимума термических эффектов исследуемого вещества; ΔH_1 - тепловой эффект эндотермического процесса; ΔH_2 - тепловой эффект экзотермического процесса

Рисунок 2.2 – Типичная термограмма

Дериватография, комплексный метод исследования физико-химических процессов, происходящих в веществе в условиях программированного изменения температуры нагревания. В данном случае основана на сочетании ДТА с одним физико-химическими методами, с масс-спектрометрией и эманационным термическим анализом. Во всех случаях наряду с превращениями в веществе, происходящими с тепловым эффектом, регистрируют изменение массы образца. Это позволяет сразу однозначно определить характер процессов в веществе, что невозможно сделать по данным только ДТА. В частности, показателем фазового превращения служит тепловой эффект, не сопровождающийся изменением массы образца. Держатель с исследуемым веществом помещают на термопару, свободно подвешенную на коромысле весов. Такая конструкция позволяет записывать сразу 4 зависимости: разности температур исследуемого образца и эталона, который не претерпевает превращений, от времени t (кривая ДТА), изменения массы Dm от температуры (термогравиметрич. кривая), скорости изменения массы, т.е. производной dm/dt , от температуры (дифференц. термогравиметрич. кривая) и температуры от времени. При этом удастся установить последовательность превращений вещества и определить количество и состав промежуточных продуктов.

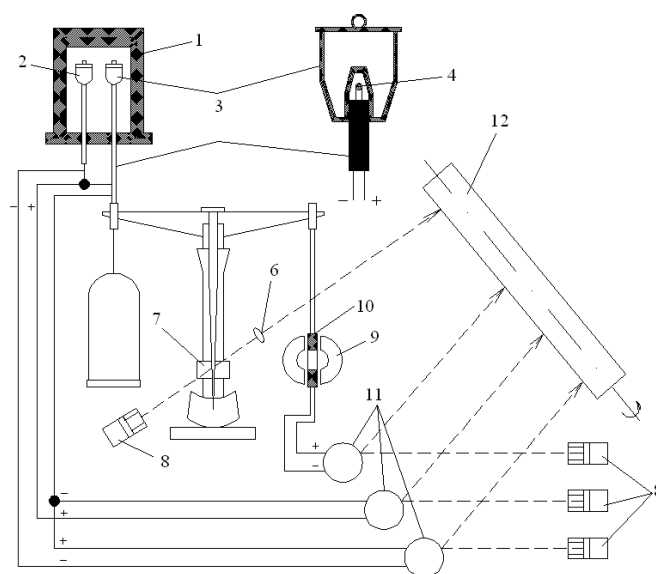


Рисунок 2.3 - Принципиальная схема дериватографа

Нагрев пробы вещества, помещенной в тигель 2, происходит в электрической печи 1. При изменении массы тигля за счет разложения вещества, происходит разбалансировка весов, и их стрелка отклоняется от равновесного положения. Вместе со стрелкой перемещается оптическая щель 7. Движение последней проецируется на фоточувствительной бумаге при помощи светового луча, фокусируемого линзой 6. Полученная кривая характеризует изменение массы пробы.

Динамика изменения массы вещества регистрируется при помощи автоматического устройства [80-81]. Разность температур между исследуемым

и инертным веществами, помещенными в тигли 3 и 2, измеряется при помощи дифференциально-соединенных термопар и зеркального гальванометра 11. Одновременно изменяется и температура исследуемого вещества.

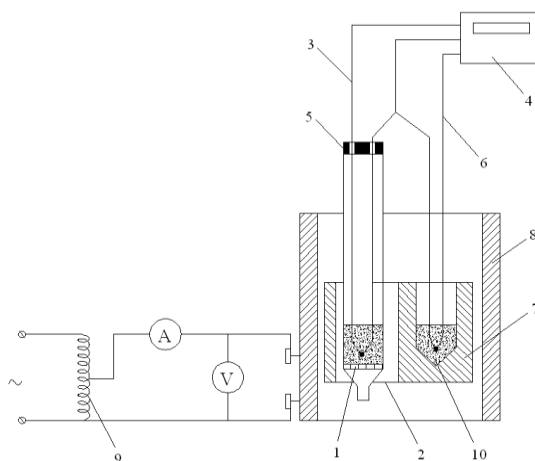
Приоритетным направлением этого метода является одновременная автоматическая регистрация на диаграмме четырех кривых, характеризующих процесс термических превращений вещества: изменение массы, тепловые эффекты реакций, скорость изменения массы и скорость повышения температуры нагрева, и таких параметров, как:

- температурная кривая нагревания (Т);
- дифференциальная кривая (ДТА);
- интегральная кривая изменения веса (ТГ);
- дифференциальная кривая изменения веса (ДТГ).

Условия проведения опыта следующие:

- в качестве инертного эталонного вещества использовали оксид алюминия;
- скорость нагрева печи $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$;
- температура окружающей среды $18\text{-}20^{\circ}\text{C}$;
- чувствительность весов - $0,001\text{ г}$;
- масса навески $0,5\text{ мг}$.

В Южно-Казахстанском государственном университете им. Ауэзова (ЮКГУ) проведены исследования на экспериментальной установке ДТА [82]. При разработке установки (рисунки 2.5-2.7) применен общепринятый дифференциально-термографический анализ [83], предложенный ученым Курнаковым Н.С. (методика Московского института стали и сплавов).



- 1 - «ложное дно»; 2 - проба; 3 - термопара прямая; 4 - самопишущий потенциометр; 5 - реакционная трубка; 6 - дифференциальная термопара; 7 - нагревательный блок; 8 - электропечь сопротивления; 9 - автотрансформатор; 10 – эталон

Рисунок 2.4 - Экспериментальная установка по определению огнетушащей способности порошковых материалов методом дифференциально-термографического анализа (ДТА)

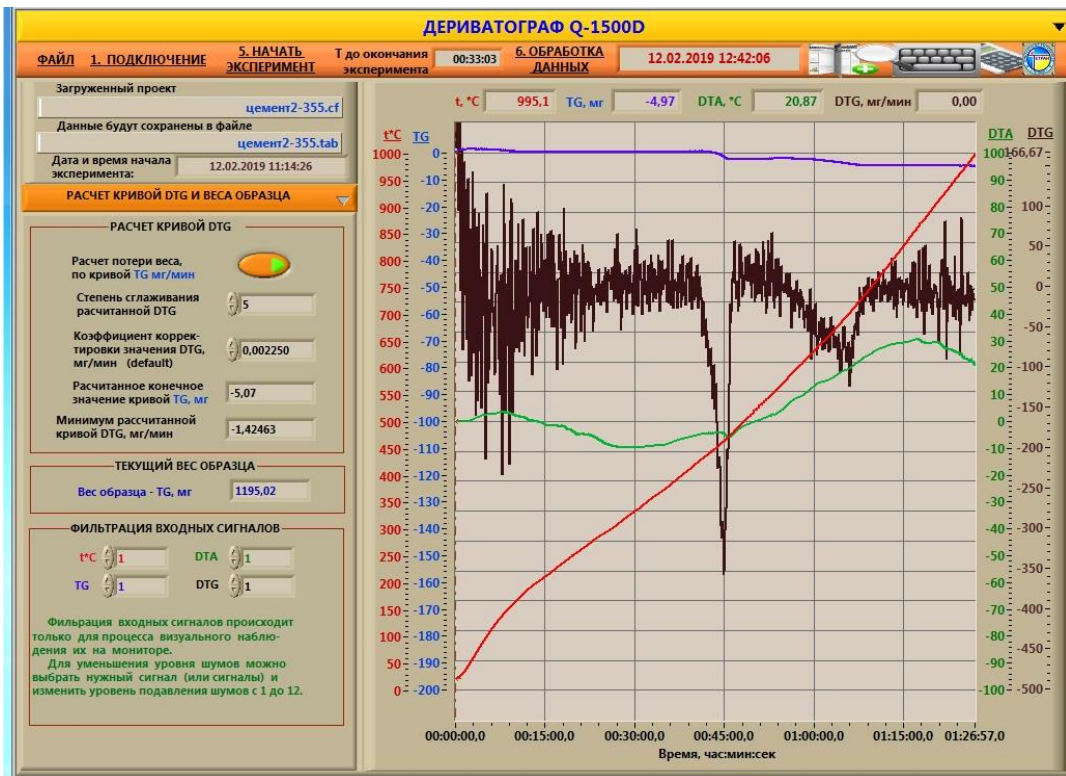


Рисунок 2.5 - Схема установки для определения огнетушащей способности порошковых материалов пробы клинкера (цеха обжига) цементного завода методом ДТА

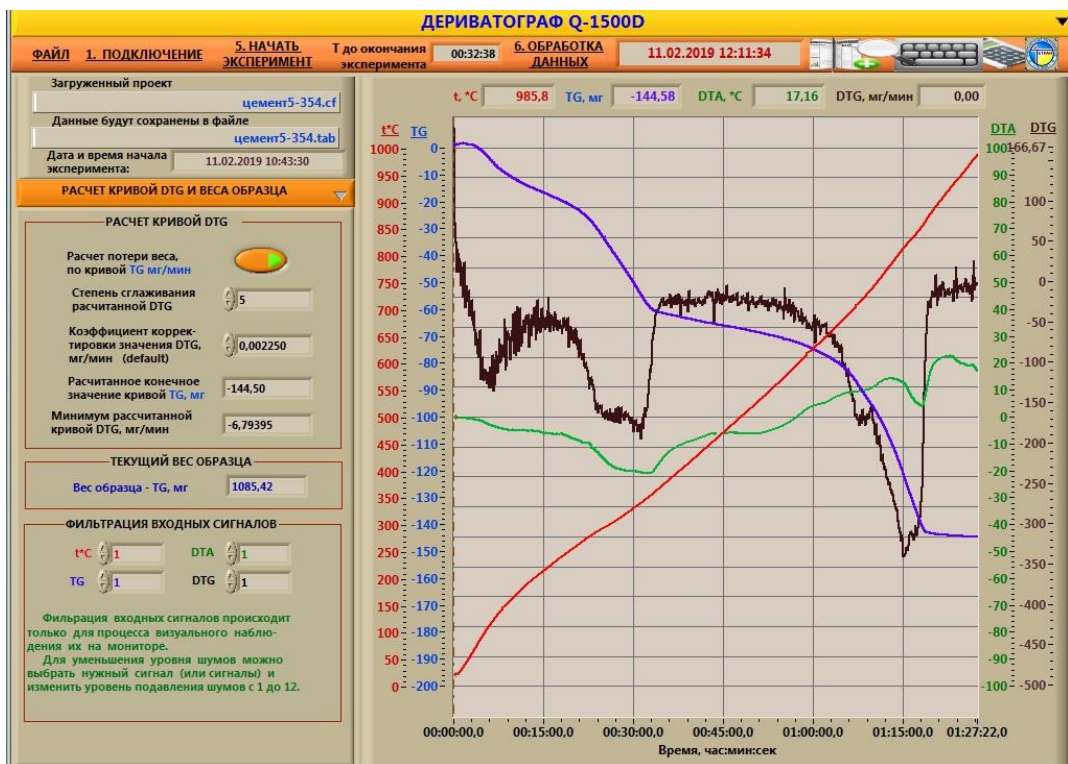


Рисунок 2.6 - Типичные термограммы нагрева слоя порошка проб периды цементного завода и эталона

В комплект установки входит электрическая печь сопротивления 12, нагревательный блок 11, и система записи температуры. Электродпечь рассчитана на нагрев до 1200°C при длительном режиме работы.

Скорость нагрева регулируется автотрансформатором 13 типа РНО-250-5. В систему регистрации температур входят многоточечный автоматический электронный потенциометр 8 типа КСП-4 с градуировкой ХА, шкала 0- 1000°C, класс 0,5, записывающий показания одновременно прямой и дифференциальных температур образца и эталона с помощью двух термопар типа ХА с диаметром термоэлектродов 0,5 мм. Погрешность измерения не превышает 5%, время между замерами составляет 5 с.

В опытах использовались пробы огнетушащих порошков фракции 0-1 мм, предварительно высушенные при 50° С в шкафу до постоянной влажности.

Опыты проводились следующим образом. Навеска исследуемого порошка - 6 помещалась в кварцевую реакционную трубку - 9 (параметры трубки: диаметр 22 мм и высота 500 мм) на «ложное дно» - 5 из прокаленного листового асбеста, обладающего высокой пористостью. Навеска укладывается на «ложное дно» с помощью специального штока с чашечкой. В трубку - 9 соосно вводится фарфоровая трубка - 7 с термопарой, имеющая на нижнем конце центрирующие выступы, затем реакционная трубка вводится в массивный металлический блок - 11, изготовленный из стали 1Х18Н9Т, помещенный в электродпечь - 12. Блок обеспечивает равномерный обогрев реакционной трубки и помещенного в блок эталонного порошка 14, в качестве которого использован прокаленный кварцевый песок класса менее 0,05 мм.

Температура пробы измеряется прямой термопарой - 7, горячий спай которой введен в середину пробы. Дифференциальная термопара - 10 измеряет разность температур пробы и эталона, причем для смещения нулевой точки на середину шкалы прибора - 8 в электродпечь введен источник постоянной э.д.с.

Письменное сопровождение термограмм осуществляется в координатах время-температура. Характер термограмм показан на рисунке 2.6, из которого видно, что эндотермический процесс начинается при T_n . За температуру начала эндотермических реакций принимали среднее арифметическое значение по трем испытаниям каждого вещества.

Результаты исследований по двум разным методикам на дериватографе и установке методом ДТА (ЮКГУ) имеют хорошую сходимость.

Эти все численные описания согласуются с данными, регламентируемыми ГОСТ 26952-97, т.е. текучесть при массовой доле остатка порошка не более 15% находится в пределах 0,24-0,28 кг/с.

Влажность порошка и его текучесть взаимосвязаны. Влажность порошков измеряли общепринятым весовым способом: взвешивание → сушка до постоянной массы (температура сушки должна быть на 20 °С ниже самого термонестойкого компонента порошка) → взвешивание.



Рисунок 2.7 - Экспериментальная установка по определению огнетушащей способности порошковых материалов проб цементного завода методом дифференциалотермографического анализа (ДТА)

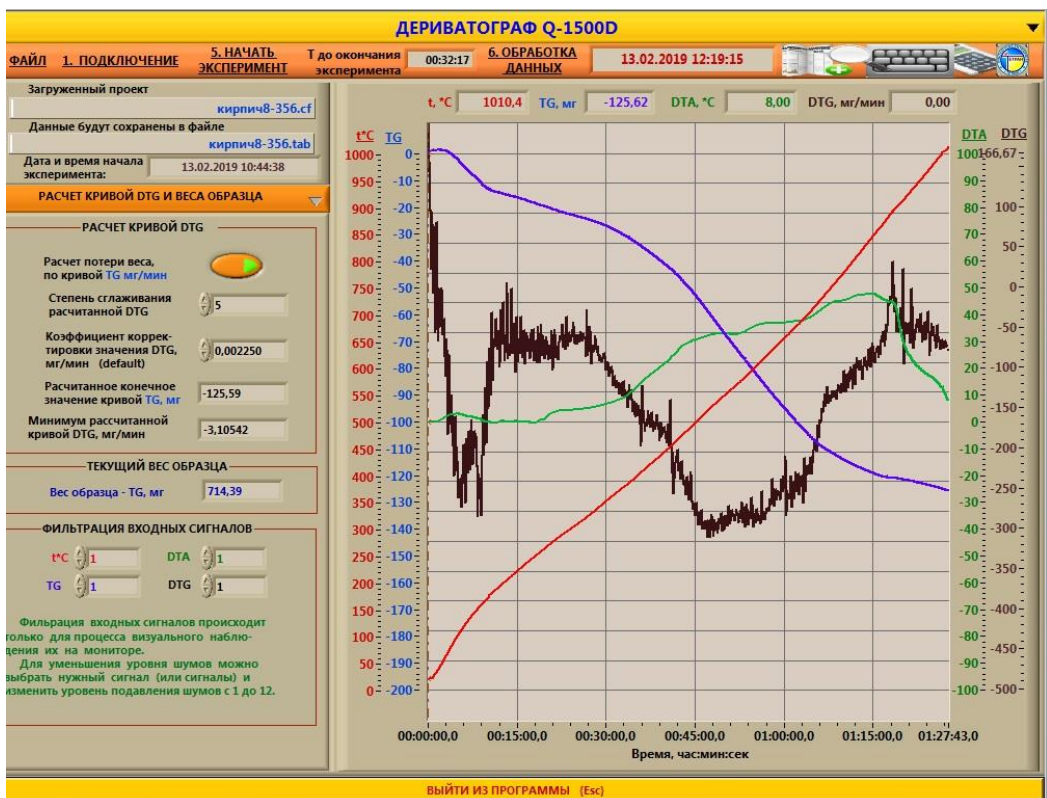


Рисунок 2.8 - (ДТА проб кирпичного завода)

2.2 Методика экспериментального определения дисперсности порошков

Одним из параметров, позволяющим оценить огнетушащую и взрывоподавляющую способность порошков, является их дисперсность. Данный параметр можно определить либо по фракционному (гранулометрическому) составу, либо микроскопическим анализом.

Ситовый анализ огнетушащих порошков проводился на двух сетках: № 02 (200 мкм) - остаток на них либо отсутствует, либо составляет не более 5 % и № 005 (50 мкм) - здесь остаток составляет 10-50 % (т.е. значительная часть частиц порошка имеет размер менее 50 мкм). Наличие в огнетушащих порошках этой фракции составило от 50 до 90 % их массы.

На рисунке 2.9 представлены микроскопические исследования отходов фракции, составляющей от 50 до 90% их массы. Доля пыли (рисунки 2.9 - 2.12) это - фракция менее 0,05мм, а для пыли (рисунки 2.13 – 2.20) - фракция 0,1мм.

Микроскопические исследования обычно проводят с помощью количественного анализа, который позволяет определить размер включений и зерна, объем структурных составляющих, химический состав, размер и площадь фаз, при увеличении в 1000 раз. Микроскопические исследования порошков можно проводить в простом проходящем свете или поляризованном и при фазовом контрасте. В качестве суспензионной среды использовали масло ПМС, в качестве иммерсионной - кедровое масло.

Чтобы определить гранулометрический состав использован линейный метод Розиваля. По этому методу вычисляют размер и площадь частиц, с помощью длины отрезков прямой, попавших на каждую частицу.

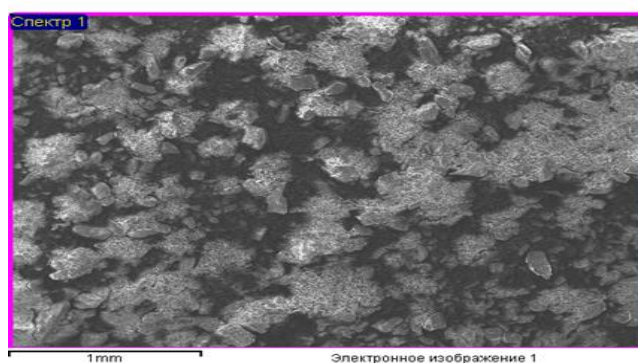
Линейный метод Розиваля основан на принципе Кавальери: соотношения объемов, находящихся между параллельными плоскостями, соответствуют соотношениям площадей сечений этих объемов параллельными плоскостями. Иными словами, по отношению площадей фаз, входящих в структуру сплава, можно определить их объемное соотношение.

На практике этот метод используют следующим образом:

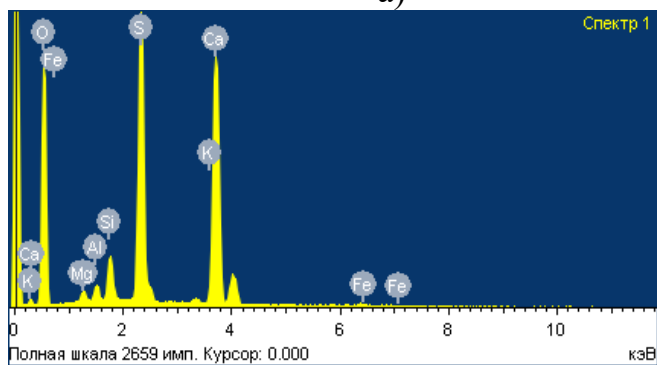
- изображение микроструктуры пересекают прямыми линиями, проходящими через все фазы структуры исследуемого образца;
- измеряют и суммируют длины отрезков, проходящих через каждую фазу;
- полученную сумму длин делят на общую длину секущей линии.

Величину отрезков можно измерить по микрофотографии с помощью масштабной линейки, а также на матовом стекле микроскопа или непосредственно в поле зрения с помощью окуляр-микрометра (окуляра с нанесенными делениями). При этом необходимо, чтобы общее число измерений линейным методом длин отрезков, отсекаемых каждой фазой, было не менее 20-25. В этом случае ошибка измерения не превысит 2-5 %.

Отрезки прямой измеряются при помощи шкалы окулярмикрометра, вставляемой в окуляр. В нашу задачу входил подсчет количества частиц с размером фракций 0-10, 11-20, 21-30, 31-40 и 41-50 мкм не менее чем на десяти полях.



а)

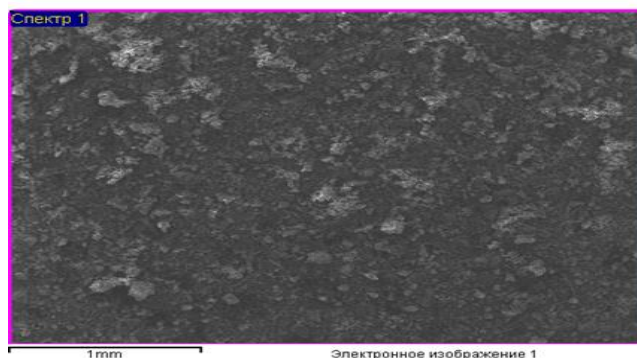


б)

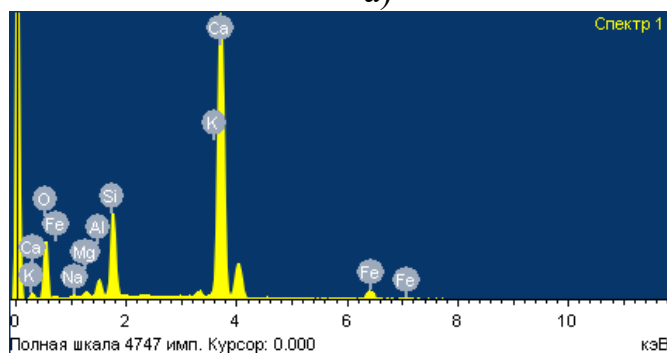
Рисунок 2.9 – Пылевидные отходы проб гипса (цех помола) цементного завода при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.2 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб гипса (цех помола) цементного завода

Элемент	Весовой %	Атомный%
O	57.97	75.29
Mg	0.67	0.57
Al	0.89	0.68
Si	2.13	1.58
S	15.90	10.31
K	0.39	0.21
Ca	21.61	11.20
Fe	0.44	0.16



а)

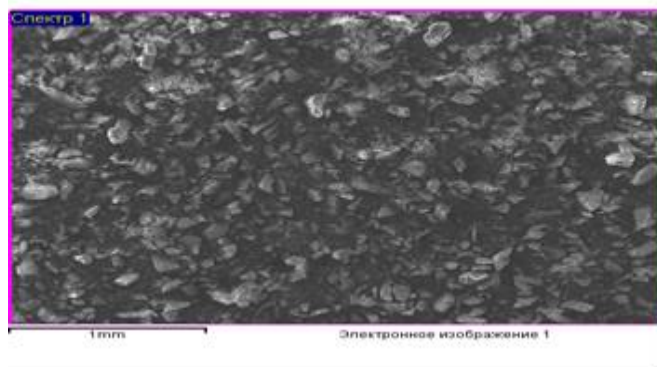


б)

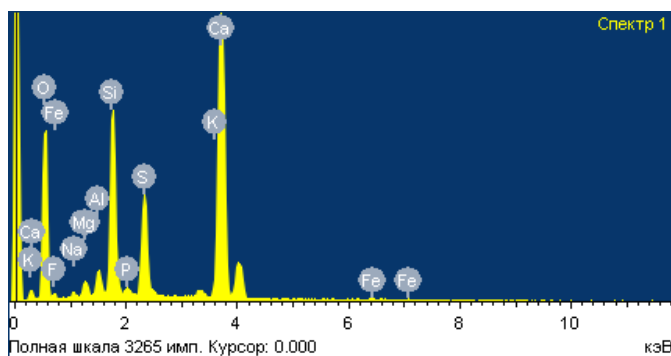
Рисунок 2.10 – Пылевидные отходы проб клинкера (цех обжига) цементного завода при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.3 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб клинкера (цех обжига) цементного завода

Элемент	Весовой %	Атомный%
O	40.98	61.98
Na	0.41	0.43
Mg	0.60	0.60
Al	1.79	1.61
i	7.95	6.85
K	0.73	0.45
Ca	43.88	26.49
Fe	3.65	1.58



а)

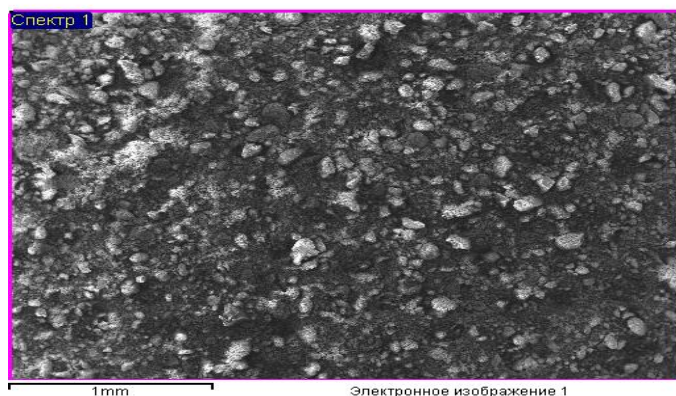


б)

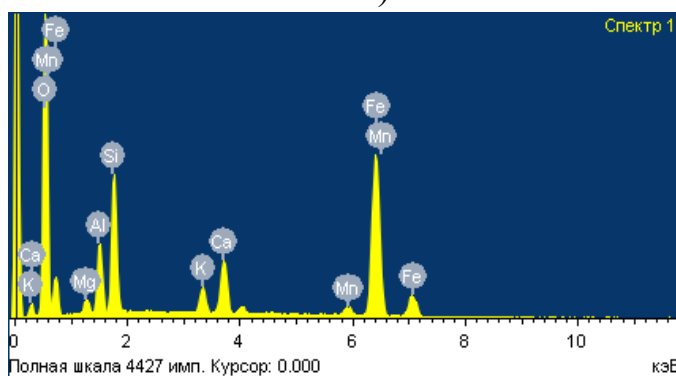
Рисунок 2.11 – Пылевидные отходы проб шлака фосфорного отхода (цех помола) цементного завода при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.4 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб шлака фосфорного отхода (цех помола) цементного завода

Элемент	Весовой %	Атомный%
O	51.20	68.95
F	1.25	1.41
Na	0.44	0.41
Mg	1.06	0.94
Al	1.39	1.11
Si	9.90	7.60
P	0.46	0.32
S	6.47	4.35
K	0.60	0.33
Ca	26.89	14.46
Fe	0.35	0.14



а)

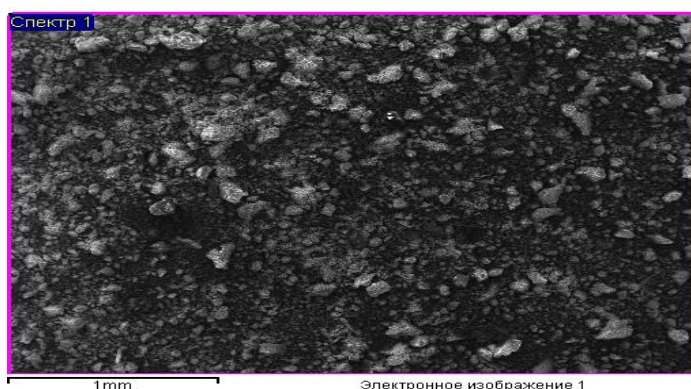


б)

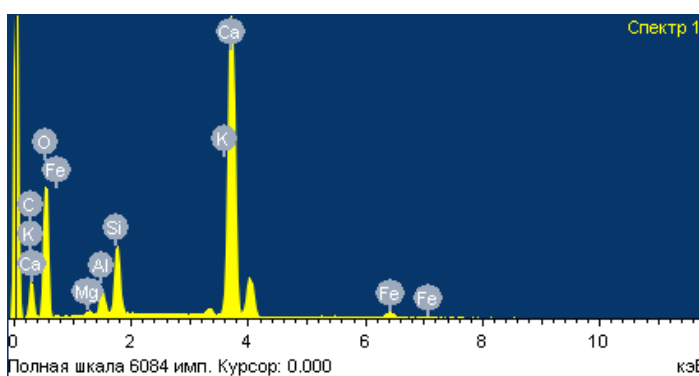
Рисунок 2.12 – Пылевидные отходы проб известняка цементного завода при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.5 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб известняка цементного завода

Элемент	Весовой %	Атомный%
C	14.49	23.09
O	48.70	58.26
Mg	0.32	0.25
Al	1.56	1.10
Si	3.92	2.67
K	0.51	0.25
Ca	29.07	13.88
Fe	1.44	0.49



а)

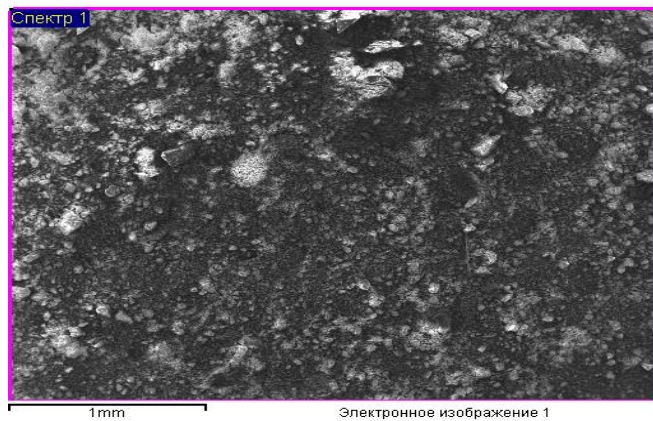


б)

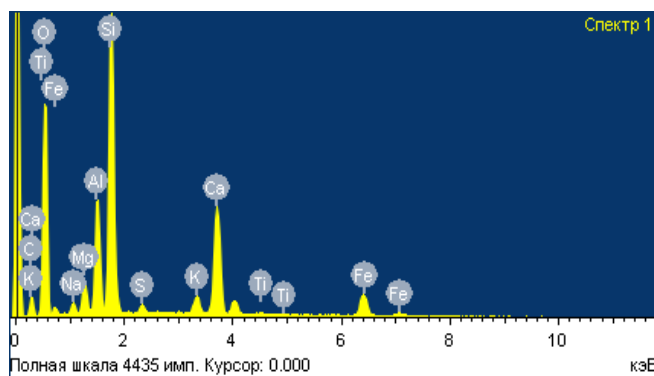
Рисунок – 2.13 – Пылевидные отходы проб перида цементного завода при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.6 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб перида цементного завода

Элемент	Весовой %	Атомный%
O	38.35	62.58
Mg	1.29	1.38
Al	4.99	4.83
Si	8.78	8.16
K	2.12	1.41
Ca	4.55	2.96
Mn	1.81	0.86
Fe	38.12	17.82



а)

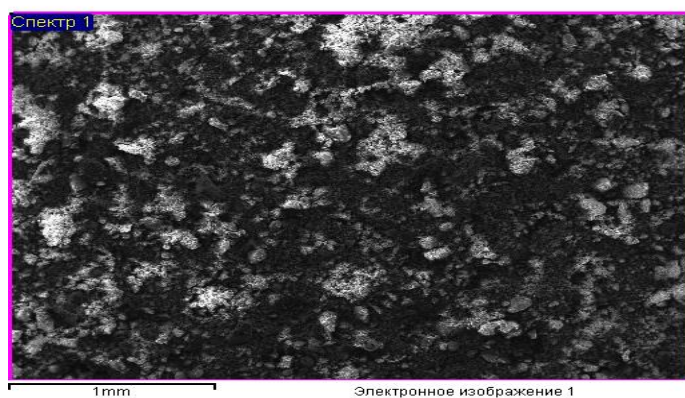


б)

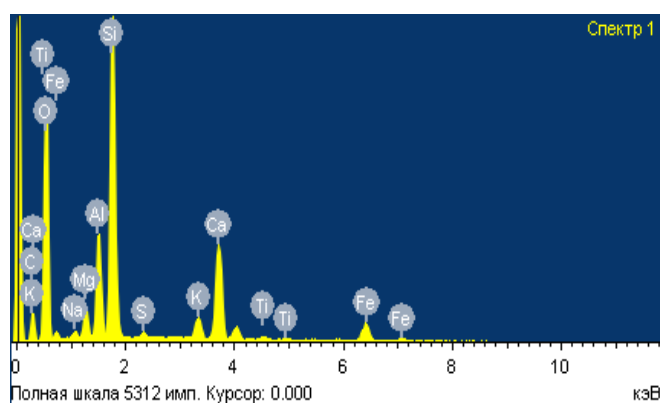
Рисунок 2.14 – Пылевидные отходы проб отходов печи цеха обжига кирпичного завода при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.7 – Процентное соотношение весовой и атомного элементов проб отходов печи цеха обжига кирпичного завода

Элемент	Весовой %	Атомный%
C	15.67	23.97
O	47.75	54.85
Na	0.60	0.48
Mg	1.54	1.17
Al	5.15	3.51
Si	15.57	10.19
S	0.31	0.18
K	1.62	0.76
Ca	7.71	3.54
Ti	0.31	0.12
Fe	3.76	1.24



а)

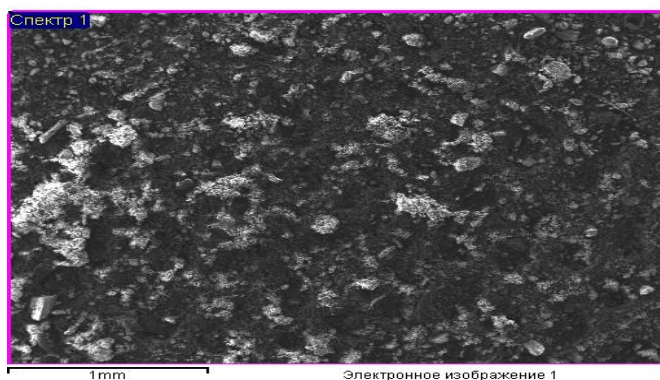


б)

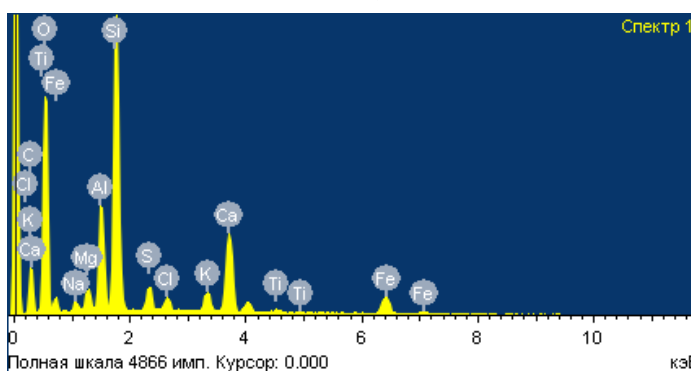
Рисунок 2.15 – Пылевидные отходы проб внутри печи цеха обжига кирпичного завода при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.8 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб внутри печи цеха обжига кирпичного завода

Элемент	Весовой %	Атомный%
C	10.87	17.64
O	46.19	56.24
Na	1.11	0.94
Mg	1.87	1.50
Al	6.20	4.48
Si	16.65	11.55
S	0.51	0.31
K	1.43	0.71
Ca	9.62	4.67
Ti	0.37	0.15
Fe	5.18	1.81



а)

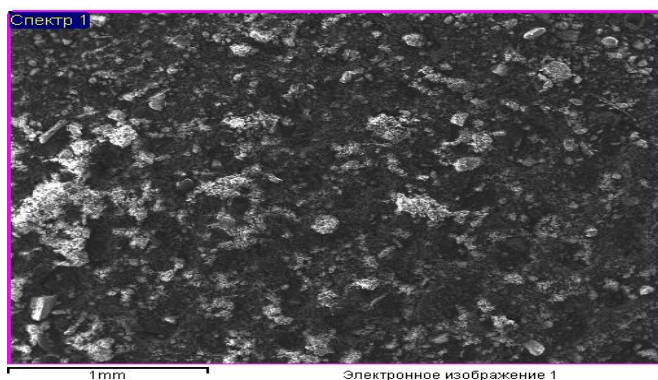


б)

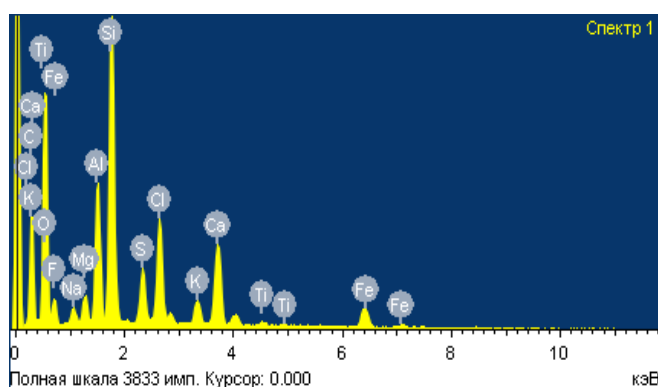
Рисунок 2.16 – Пылевидные отходы проб качегарного цеха обжига кирпичного завода при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.9 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб качегарного цеха обжига кирпичного завода

Элемент	Весовой %	Атомный%
C	18.96	28.50
O	45.44	51.28
Na	0.86	0.67
Mg	1.24	0.92
Al	5.18	3.46
Si	13.95	8.97
S	1.43	0.81
Cl	0.86	0.44
K	1.50	0.69
Ca	6.38	2.88
Ti	0.33	0.12
Fe	3.87	1.25



а)

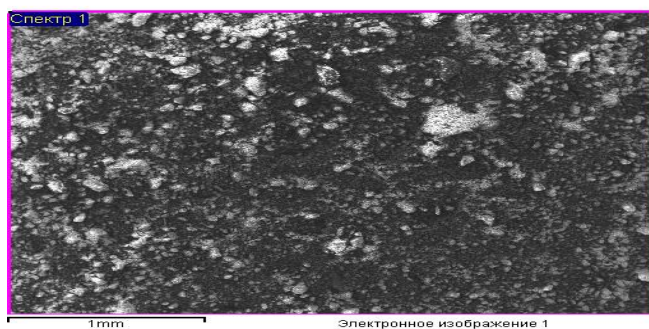


б)

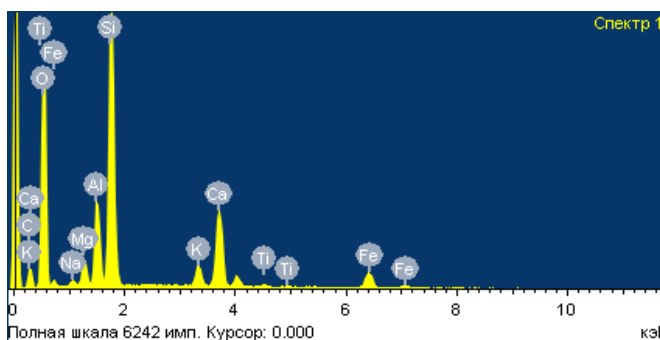
Рисунок 2.17 – Пылевидные отходы проб сушильного цеха кирпичного завода при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.10 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб сушильного цеха кирпичного завода

Элемент	Весовой %	Атомный%
C	33.44	46.10
O	35.56	36.81
F	3.00	2.62
Na	0.85	0.62
Mg	0.92	0.63
Al	3.95	2.42
Si	8.60	5.07
S	1.77	0.91
Cl	3.93	1.84
K	1.09	0.46
Ca	3.99	1.65
Ti	0.30	0.10
Fe	2.61	0.77



а)

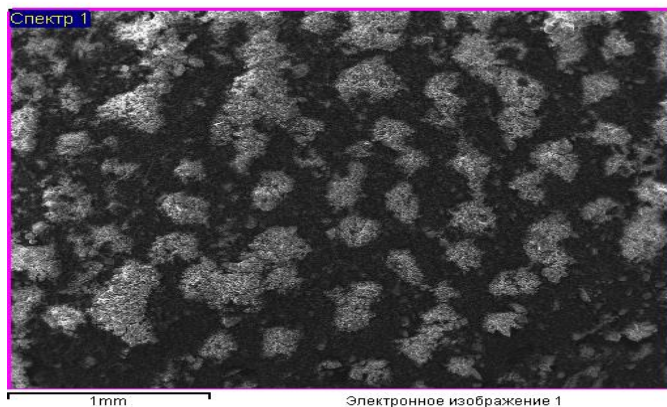


б)

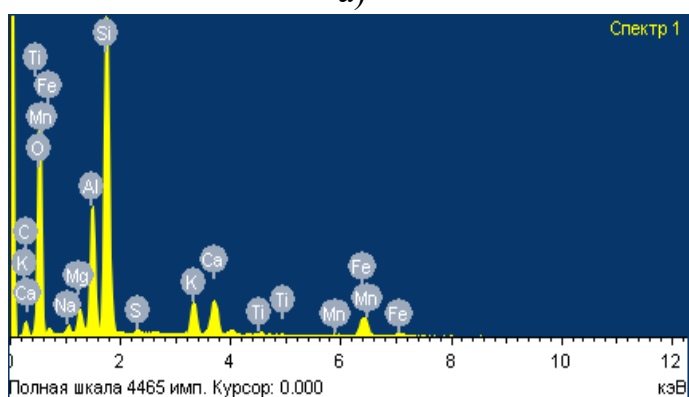
Рисунок 2.18 – Пылевидные отходы проб глины формовки кирпичного завода при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.11 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб глины формовки кирпичного завода

Элемент	Весовой %	Атомный%
C	11.86	18.57
O	50.12	58.90
Na	0.68	0.56
Mg	1.65	1.28
Al	5.22	3.64
Si	16.62	11.12
K	1.84	0.88
Ca	7.55	3.54
Ti	0.30	0.12
Fe	4.15	1.40



а)

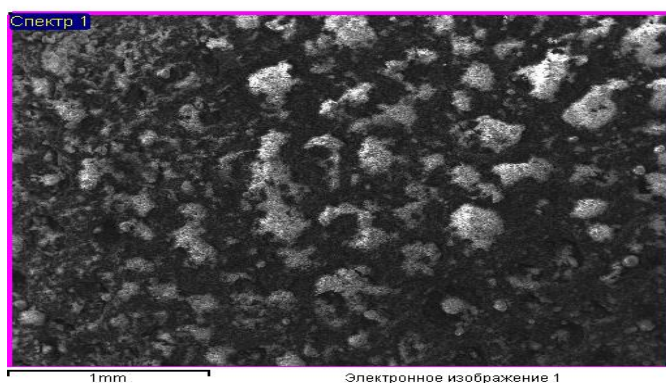


б)

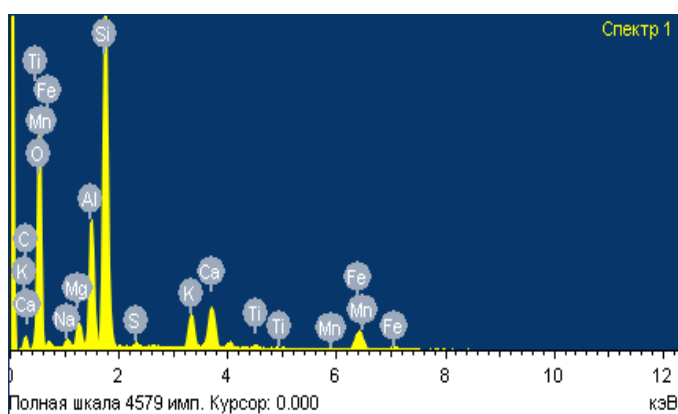
Рисунок 2.19 – Пылевидные отходы проб блока фильтров асфальто-бетонного завода ТОО «Алматы Жолдары» при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.12 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб блока фильтров асфальто-бетонного завода ТОО «Алматы Жолдары»

Элемент	Весовой %	Атомный%
C	9.95	16.01
O	47.64	57.57
Na	0.83	0.70
Mg	1.58	1.26
Al	7.65	5.48
Si	19.80	13.63
S	0.22	0.13
K	3.00	1.48
Ca	3.54	1.71
Ti	0.35	0.14
Mn	0.25	0.09
Fe	5.19	1.80



а)



б)

Рисунок 2.20 – Пылевидные отходы проб шнека асфальто-бетонного завода ТОО «Алматы Жолдары» при увеличении в 1000 раз

Таблица 2.13 – Процентное соотношение весового и атомного элементов проб шнека асфальто-бетонного завода ТОО «Алматы Жолдары»

Элемент	Весовой %	Атомный%
C	7.86	12.87
O	48.20	59.27
Na	0.89	0.76
Mg	1.59	1.29
Al	7.62	5.56
Si	20.55	14.40
S	0.29	0.18
K	3.16	1.59
Ca	4.31	2.12
Ti	0.36	0.15
Mn	0.10	0.04
Fe	5.08	1.79

Микроскопические исследования обычно проводят с помощью количественного анализа, который позволяет определить размер включений и зерна, объем структурных составляющих, химический состав, размер и площадь фаз, при увеличении в 1000 раз. Микроскопические исследования порошков можно проводить в простом проходящем свете или поляризованном и при фазовом контрасте. В качестве суспензионной среды использовали масло ПМС, в качестве иммерсионной - кедровое масло.

Чтобы определить гранулометрический состав использован линейный метод Розиваля. По этому методу вычисляют размер и площадь частиц, с помощью длины отрезков прямой, попавших на каждую частицу.

Линейный метод Розиваля основан на принципе Кавальери: соотношения объемов, находящихся между параллельными плоскостями, соответствуют соотношениям площадей сечений этих объемов параллельными плоскостями. Иными словами, по отношению площадей фаз, входящих в структуру сплава, можно определить их объемное соотношение.

На практике этот метод используют следующим образом:

- изображение микроструктуры пересекают прямыми линиями, проходящими через все фазы структуры исследуемого образца;
- измеряют и суммируют длины отрезков, проходящих через каждую фазу;
- полученную сумму длин делят на общую длину секущей линии.

Величину отрезков можно измерить по микрофотографии с помощью масштабной линейки, а также на матовом стекле микроскопа или непосредственно в поле зрения с помощью окуляр-микрометра (окуляра с нанесенными делениями). При этом необходимо, чтобы общее число измерений линейным методом длин отрезков, отсекаемых каждой фазой, было не менее 20-25. В этом случае ошибка измерения не превысит 2-5 %.

Отрезки прямой измеряются при помощи шкалы окулярмикрометра, вставляемой в окуляр. В нашу задачу входил подсчет количества частиц с размером фракций 0-10, 11-20, 21-30, 31-40 и 41-50 мкм не менее чем на десяти полях.

Используемые (на рисунках 2.9 - 2.20), в качестве первоначального эксперимента проб отходов различных производств для выявления пожаро-взрывоподавляющих составов были исследованы пылевидные отходы проб:

- 1) гипса (цех помола), клинкера (цех обжига), шлака фосфорного отхода (цех помола), известняка, перида - цементного завода SC (ТО);
- 2) отходов печи, внутри печи цеха обжига, качегарного цеха обжига, сушильного цеха, глины формовки - кирпичного завода ШКЗ (ТО);
- 3) блока фильтров и шнека - асфальто-бетонного завода ТОО Алматы Жолдары (АО).

Указанные пробы отходов не сохраняют основные эксплуатационные свойства – огнетушащую способность и не обеспечивают достаточно высокие эксплуатационные свойства составов при весьма незначительной стоимости.

Тем самым, со временем подвергаются изменениям, приводящим к их слеживаемости (комкованию). Это обстоятельство часто приводит к простоям

производственного процесса и негативно влияет на его эффективность.

С технической и экономической точек зрения применение в пожаро-взрывоподавляющих составах вышеисследуемые пыли требуют затрат электроэнергии на их дополнительное измельчение.

2.3 Исследование физико-химических свойств и химического состава компонентов фосфогипса и электротермофосфорного шлака

2.3.1 Фосфогипс и его физико-химические свойства

Фосфогипс – многотоннажный отход производства ортофосфорной кислоты, полученный из фосфоритов серной кислотой экстракционным методом. Ежегодно образуется около 430 тыс. т. фосфогипса. В РК экстракционная ортофосфорная кислота используется в качестве сырья для производства фосфата, концентрированных простых и сложных удобрений, таких как аммофос, двойной суперфосфат, нитрофос, нитрофоска и др.

Фосфогипс, отходы производства фосфорной кислоты, промывают в вакууме в фильтре на заводе в сочетании с операциями мокрой или сухой укладки, а фильтрация является важным этапом извлечения P_2O_5 , т.е. чем ниже содержание воды в гипсовом фильтре, тем лучше восстановление.

Гораздо важнее извлечение из фосфоритов таких примесей, как редкоземельные элементы (РЗЭ), имеющих высокую стоимость. При получении удобрений часть примесей превращается в сульфат кальция, образующийся в больших количествах при раскрытии фосфорита с помощью серной кислоты. Основная часть сырья (85%) перерабатывается по технологии серной кислоты в вариантах дигидратной или полугидратной технологии полученного фосфогипса. Форма образующегося фосфогипса зависит от температуры процесса и условий раскрытия фосфорита с серной кислотой. До 90% РЗЭ остается в гипсе при полугидратной технологии используется, когда используется технология дигидрата, 20-30% РЗЭ остаются во фосфорной кислоте влажного процесса. Принимая во внимание масштабы переработки фосфорита (8-10 млн. в год), каждый год миллионы тонн фосфогипса отправляются на свалки, которые оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Несмотря на многочисленные исследования, проведенные по этой проблеме, для хранения фосфогипса требуются подходы переработки.

Все подходы к переработке фосфогипса могут быть сведены к следующим вариантам:

- использование фосфогипса с небольшой очисткой (промывка водой, добавление оксида кальция) в сельском хозяйстве в качестве раскислителя почв, в строительстве, в цементной промышленности и в нашем случае, создание нового компонента пожаро-взрывоподавляющих порошковых составов;

- интенсивное воздействие на фосфогипс с получением высококачественного гипса для изготовления пожаровзрывоподавляющих порошковых составов;

- целевое извлечение РЗЭ с использованием выщелачивания минеральной кислотой. Обработка фосфогипса серной кислотой. В связи с доступностью и

дешевизной серной кислоты большое количество исследований посвящено использованию серной кислоты для преобразования РЗЭ, содержащегося в фосфогипсе, в водный раствор;

- полученный серный экстракт перерабатывается различными методами, а РЗЭ извлекаются путем сорбции, осаждения, экстракции;

- кристаллизация двойных сульфатов. Одним из направлений серного варианта переработки фосфогипса является извлечение РЗЭ в виде двойных сульфатов. Существенным недостатком этой технологии является использование высококонцентрированных серных растворов. Вопрос об использовании маточных растворов остается неясным.

Примеси будут накапливаться в растворах, которые обязательно потребуют очистки выщелачивающего раствора. Кроме того, возможен вариант перекристаллизации полугидрата в дигидрат:

- глубокая переработка фосфогипса с получением товарных продуктов различной степени ликвидности (сульфат аммония, мел, концентраты РЗЭ, сульфат калия и т. д.);

- было предложено значительное количество технических решений в направлении полного использования всех компонентов, присутствующих в фосфогипсе.

В этом направлении фосфогипс рассматривается как сложное химическое сырье, содержащее такие ценные компоненты, как стронций, редкоземельные элементы и соединения кальция. Общим недостатком всех способов, предусматривающих полное разложение фосфогипса, являются значительные затраты энергии (при прокаливании карбонатов) и низкая ликвидность таких крупнотоннажных продуктов, как сульфат натрия и карбонат кальция.

Кроме того, для таких технологий характерно большое количество операций, в основном периодического характера, что усложняет возможность применения этих технологий в промышленности:

- микробиологические методы извлечения РЗЭ.

Общим недостатком этих процессов является чрезмерная длительность процессов и невозможность полной очистки от такого экологически вредного элемента в фосфогипсе, как фтор.

Самая распространенная методика переработки фосфогипса включает операцию обработки серной кислотой с последующими различными вариантами извлечения РЗЭ из полученного раствора, который включает: РЗЭ 1-3 г / л серной кислоты, 0,5-1,0 моль / л, 5-10 г / л фосфат-иона и 2,6 г / л фторид-иона. Основная проблема этого подхода заключается в том, что вопрос утилизации введенной серной кислоты (не менее 30-50 кг на 1 тонну фосфогипса) не был решен. Отметим, что ни одно из направлений переработки фосфогипса в промышленности еще не реализовано. Возможно, это связано с тем, что эти направления либо слишком узко решают поставленную задачу, либо решают ее полностью, но с большими затратами и с получением не очень ликвидных продуктов. Следует также отметить, что в большинстве случаев вопросы переработки фосфогипса решаются в отрыве от первичной продукции до локальной организации переработки фосфогипса без связи с растениями,

перерабатывающими фосфорит. В то же время заводы, перерабатывающие фосфорсодержащее сырье с использованием серной технологии, должны быть обеспокоены тем, что отходы их производства являются экологически чистыми продуктами. Эти вопросы являются основополагающими при рассмотрении возможности переработки фосфогипса с извлечением ряда ценных компонентов, а не вопросов, связанных с технологией извлечения РЗЭ из фосфогипса, перекристаллизацией фосфогипса и т. д.

Кроме того, основной проблемой является получение экологически чистых отходов от производства удобрений, и поэтому последовательность решений проблемы должна включать следующие этапы:

- получение экологически чистого фосфогипса - отходов от производства удобрений;

- также, эта технология должна быть неотъемлемой частью общей технологии производства удобрений и, естественно, она должна располагаться на территории (или вблизи) соответствующего завода;

Этапы перечислены в порядке убывания их важности. При этом важная роль отводится растениям, перерабатывающим фосфорит как производитель отходов - фосфогипс. В данной работе представлены результаты исследований, направленных на реализацию этих этапов.

Для проведения экспериментов использовали фосфогипс, содержащий (% масс.): P_2O_5 - 0,8, фтор - 0,4, CaO - 39,5, оксиды РЗЭ - 0,6. Чтобы удалить примеси фтора и фосфора, мы выбрали вариант термического воздействия с серной кислотой, как самый дешевый и самый полезный вариант при изготовлении.

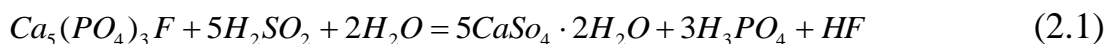
Эмпирически доказана возможность обработки 2-3 партий фосфогипса одним и тем же раствором серной кислоты при нагревании до температур 70-100 ° С в течение 1-2 часов при соотношении S: L = 1: (1-3). Процесс проводили при перемешивании и подаче (барботировании) воздуха в пульпу. Для вскрытия использовали раствор, содержащий 0,3-0,6 моль / л серной кислоты. После завершения процесса очищенный фосфогипс обрабатывали пульпой оксида кальция до рН 6,5-7,5. Фильтраты и моющие растворы использовались для полоскания осадков в предыдущих операциях. Увеличение отношения S: L в пользу водной фазы, которое превышает 3,0, при обработке фосфогипса серной кислотой нежелательно из-за сложности последующего использования больших объемов водных растворов. Снижение отношения S: L до 1 или менее приводит к получению вязкой пульпы, особенно к переработке высушенного фосфогипса.

Термическая обработка фосфогипса серной кислотой облегчает перекристаллизацию фосфогипса с получением кристаллов сульфата кальция, пригодных для производства строительных материалов. Полученный фосфогипс не содержит вредных примесей и может быть использован в дорожном строительстве, в качестве добавок при производстве цемента и для производства различных строительных материалов и в нашем случае, пожаро-взрывоподавляющий состав.

Провести надлежащим образом обработку фосфогипса серной кислотой в двух вариантах: часть фосфогипса перерабатывается в реакторах при температуре не выше 100 ° С, меньшая часть автоклавируется при температуре 130-150 ° С с перекристаллизацией фосфогипса. Условия обработки в автоклавах должны выбираться отдельно, для получения очищенного фосфогипса требуемой кристаллической структуры. Принимая во внимание более низкую производительность при использовании автоклавов, большая часть фосфогипса будет перерабатываться в реакторах. В обоих случаях после обработки фосфогипс следует промыть водой, а объединенные фильтрат и промывные воды следует направить на утилизацию серной кислоты.

В одном из экспериментов 100 мл серной кислоты в концентрации 0,4 моль/л добавляли к 50 г фосфогипса. Целлюлозу нагревали в течение 2 часов при температуре 95-100 ° С при перемешивании и барботировании воздуха. Через 2 часа пульпу фильтровали и выпавший осадок промывали 70 мл воды, которую направляли для приготовления новой порции выщелачивающего раствора. Промытые осадки смешивали с 0,1 г гидроксида кальция до рН 7,4 и удаляли в виде готового продукта - очищенного фосфогипса. Масса очищенного (высушенного) фосфогипса составляет 51,7 г.

Для утилизации серной кислоты мы предложили нейтрализовать кислоту фосфоритом, то есть внедрить процесс, обратный процессу первичного производства - вскрытию фосфорита серной кислотой. При добавлении фосфорита вторичный фосфогипс образуется по реакции:



Масса вторичного фосфогипса составляет 5-7% от исходного количества, и это зависит от количества серной кислоты в выщелачивающем растворе. Добавление фосфорита в раствор выщелачивания позволяет использовать вводимую в процесс серную кислоту наиболее экономичным способом - для переработки сырья - фосфорита с получением дополнительного продукта (а также, при основной работе завода, переработка фосфорита по серной технологии). Существовали опасения, что при добавлении фосфорита в серный раствор РЗЭ (от выщелачивания первичного фосфогипса) сульфаты РЗЭ будут соосаждаться с образованием сульфата кальция. Как показали наши эксперименты, при добавлении оксида кальция около 5-10% РЗЭ соосаждалось, а при добавлении фосфорита к аналогичным растворам с сульфатом кальция образуется, несколько больше РЗЭ соосаждено - до 10-15%. Фосфорит добавляли в серный фильтрат при соотношении S: L, равном 1: (10-20), нейтрализуя серную кислоту до содержания не менее 0,1 моль / л, при температуре 50-70 ° С и при перемешивании. в течение 1-2 часов выпавший осадок вторичного фосфогипса отделяли фильтрованием и направляли в головку процесса.

Из фильтрата, полученного после отделения вторичного фосфогипса, РЗЭ осаждали аммиаком или гидроксидом аммония при рН 3,0-3,5. Вместе с РЗЭ осаждались такие элементы, как железо, алюминий, титан, фтор и фосфор. При

переработке фосфогипса, полученного из фосфата, не содержащего или содержащего небольшое количество РЗЭ, было проведено осаждение для удаления нежелательных примесей (железо, алюминий, титан и т. д.) из процесса. Значение рН осаждения РЗЭ из выщелачивающего раствора зависит от концентрации фосфат- и фторид-ионов в растворе (содержание этих ионов определяется количеством фтора и фосфора в исходном фосфогипсе и количеством вводимого фосфорита).

При более высокой концентрации фосфат-ионов, чем при более низких значениях рН, гидраты фосфатов РЗЭ начинают осаждаться и наоборот.

Содержание оксидов РЗЭ в образующихся осадках составляет 15–20% масс. После отделения осадков РЗЭ фильтрат, содержащий фосфат аммония, направляли в основное производство для промывания фосфогипса после отделения экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК). Особенность предлагаемого технического решения заключается в том, что затраты на нагревание пульпы фосфогипса серной кислотой компенсируются последующим использованием маточных растворов, нагретых для ускорения разложения вводимого фосфорита.

Экономическая эффективность предлагаемого способа обеспечивается оптимальным использованием ресурсов - полностью используется серная кислота, вводимая в процесс переработки фосфогипса. Дополнительно 5-7% фосфорита перерабатывают с получением фосфата аммония. Извлекается концентрат ценных редкоземельных элементов. Полученный очищенный фосфогипс не представляет опасности для окружающей среды и может быть использован в различных отраслях промышленности.

Особенность предлагаемого технического решения заключается в том, что затраты на отопление Мякоть фосфогипса с серной кислотой компенсируется последующим использованием маточных растворов, нагретых для ускорения разложения вводимого фосфорита. Экономическая эффективность предлагаемого способа обеспечивается оптимальным использованием всех ресурсов:

- оставшаяся после вскрытия фосфогипса серная кислота используется для переработки фосфорита;

- энергозатраты на нагрев пульпы при первичной переработке фосфогипса повторно используются для разложения фосфорита;

- в процессе получается жидкий продукт: экологически чистый (очищенный) фосфогипс и концентрат РЗЭ [84].

Основным способом удаления фосфогипса в Республике Казахстан на сегодняшний день является складирование в отвалах, что оказывает негативное влияние на окружающую среду. Внешний вид фосфогипса, образующегося при производстве экстракционной фосфорной кислоты показан на рисунке 2.21.



Рисунок 2. 21 - Внешний вид фосфогипса

В результате вымывания вредных веществ атмосферными осадками и их пыления в сухую погоду, загрязняется атмосферный воздух, подземные и поверхностные воды, почвенно растительный слой, земля и др. [85].

Усредненный гранулометрический состав фосфогипса приведен в таблице 2.14.

Таблица 2.14 - Усредненный гранулометрический состав фосфогипса

Размер фракций, мм	2-5	1-2	1-0,5	0,1-0,5	менее 0,1
Содержание в %	0,3	21,8	63,6	10,1	4,2

Угол естественного откоса фосфогипса получаемого на Заводе минеральных удобрений, определен с помощью ящика из плексигласа и находится в пределах 33° .

Насыпная плотность фосфогипса колеблется в пределах 1300 кг/м^3 в зависимости от крупности продукта.

При производстве экстракционной фосфорной кислоты на 1 т готовой продукции образуется около 6 т промытого фосфогипса с удельной поверхностью от 0,18 до 0,25 $\text{м}^2/\text{т}$, влажность которого составляет около 40%. В пересчете на сухое вещество фосфогипс содержит в среднем (в %): SO_3 -36,2; CaO -39,8; P_2O_5 -около 1; Fe_2O_3 -0,1; MgO_3 -0,03; K -0,03 и Na -0,1.

Усредненный химический состав фосфогипса, получаемого в Таразском филиале ТОО «Казфосфат» Завода минеральных удобрений приведен ниже и содержит (%): P_2O_5 _{общ}-0,74; P_2O_5 _{вод} =0,21; MgO – следы; N_2O - 0,3789; Al_2O_3 - 0,087; F - 0,081; нерастворимый остаток (НО) -19,67; Fe_2O_3 - 0,093; CaO - 31,80; SO_4^{2-} - 54,5. В таблице 2.15 приведен химический состав фосфогипса.

Увеличенный в 100 раз общий вид фосфогипса и его химический состав установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LVc системой химического анализа EDXJED-2201 (JEOL, Япония) и показан на рисунке 2.22 [86].

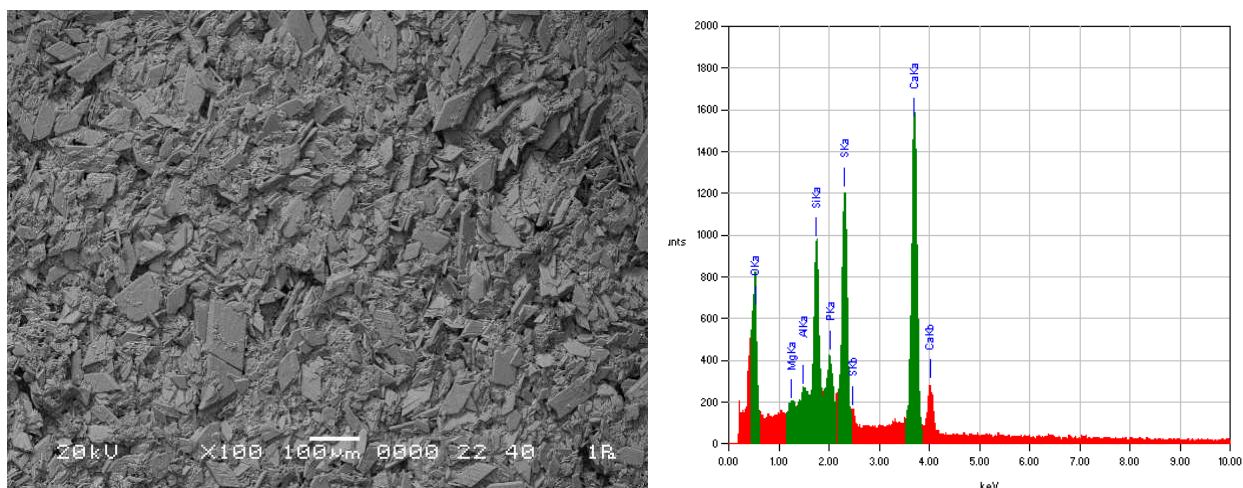


Рисунок 2.22 - Общий вид фосфогипса, увеличение в 100 раз

Таблица 2.15 - Химический состав фосфогипса

Element	(keV)mass%	Error%	At%	Compoundmass%	K
OK	0,525	46,53	0,59	65,20	28,8456
Mg K	1,253	0,72	0,13	0,66	0,5028
Al K	1,486	0,59	0,11	0,49	0,5135
Si K	1,739	8,08	0,10	6,45	8,6563
PK	2,013	3,49	0,12	2,53	4,7441
SK	2,307	14,09	0,09	9,85	19,0820
Ca K	3,690	26,49	0,15	14,82	37,6557
Total		100,00		100,00	-
O 0,000	46,45	0,00	0,00	0,00	0,0000
Mg K 1,253	0,72	0,21	1,99MgO	1,19	0,7066
Al K 1,486	0,59	0,21	0,74Al ₂ O ₃	1,12	0,7217
Si K 1,739	8,09	0,21	19,38SiO ₂	17,31	12,1655
PK 2,013	3,50	0,28	3,80P ₂ O ₅	8,02	6,6674
SK 2,307	14,11	0,23	29,59SO ₃	35,24	26,8177
Ca K 3,690	26,53	0,20	44,51CaO	37,12	52,9212
Total	100,00	100,00	100,00	-	-

2.3.2 Электротермофосфорный шлак (ЭТФШ) и его физико-химические свойства

Предусматривая качественную зависимость перерабатываемого фосфорсодержащего сырья в производстве желтого фосфора образуется от 9 до 13т ЭТФШ с плотностью 2,6-3,1 т/см³ на 1 тонну готовой продукции в гранулированном или литом состоянии в прямках.

Гранулированный электротермофосфорный шлак получают путем подачи вытекающего огненно-жидкого шлака после руднотермической печи по желобу в поток воды, в котором соотношение вода:шлак составляет 20:1. На сегодняшний день количество заскладированного гранулированного ЭТФШ составляет около 245 тыс.т. Ориентировочный гранулометрический состав шлака следующий: менее 1 мм- 24±10%, 1-2 мм - 45±10%, 2-4 мм -28±10% и более 4 мм 3,5±10%. Насыпная масса гранулированного шлака колеблется в

пределах 0,6-1,3 т/м³. Внешний вид электротермофосфорного шлака (ЭТФШ) показан на рисунке 2.23.



Рисунок 2.23 - Внешний вид гранулированного электротермофосфорного шлака

Угол естественного откоса гранулированного ЭТФШ находится в пределах 28°.

Насыпная плотность ЭТФШ составляет 1175 кг/м³.

Усредненный гранулометрический состав гранулированного ЭТФШ содержит следующий фракционный состав, приведенный в таблице 2.16.

Таблица 2.16 - Усредненный фракционный состав гранулированного электротермофосфорного шлака

Размер фракций, мм	2-8	1-2	1-0,5	0,1-0,5	менее 0,1
Содержание в %	42,6	36,5	18,6	1,7	0,6

Общий вид гранулированного электротермофосфорного шлака и его химический состав установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LVc системой химического анализа EDXJED-2201 (JEOL, Япония) и показан на рисунке 2.24.

Гранулирование порошков представляет собой самопроизвольный процесс, протекающий в связи с изменением свободной энергии системы путем слипания частиц. Для успешного проведения процесса, необходимо некоторое оптимальное смачивание поверхности частиц небольшим количеством жидкости. Роль смачивающей жидкости сводится к созданию пограничного слоя с повышенной вязкостью, способствующего склеиванию частиц. Если смачивающей жидкости недостаточно, то получаются мелкие гранулы и остается несвязанный порошок. В избытке смачивающей жидкости образуются крупные комья различных размеров. Например, оптимальная влажность для гранулирования суперфосфата — 22—23%.

Процесс гранулирования порошков обычно состоит из двух стадий:

1) формирование гранул путем структурирования увлажненного порошкообразного материала, т. е. превращение его в укрупненные комочки;

2) высушивание их для придания прочности.

Иногда обе стадии совмещаются в одном аппарате.

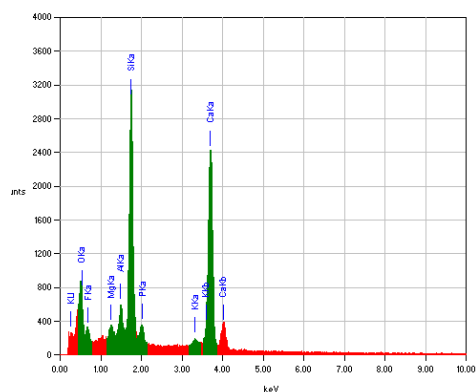


Рисунок 2.24 - Общий вид гранулированного электротермофосфорного шлака, увеличение в 50 раз

В таблице 2.17 приведен химический состав гранулированного электротермофосфорного шлака [87].

Таблица 2.17 - Химический состав гранулированного электротермофосфорного шлака

Элемент	(keV)mass%	Погрешность, %	At%	Общая масса, %	К
OK	0,525	34,40	0,53	49,45	23,6736
FK	0,677	9,65	0,46	11,68	1,9675
Mg K	1,253	1,39	0,12	1,31	1,0601
Al K	1,486	2,65	0,10	2,26	2,4796
Si K	1,739	20,68	0,10	16,93	23,0456
PK	2,013	2,63	0,13	1,95	3,2191
KK	3,312	0,67	0,11	0,40	1,0252
Ca K	3,690	27,91	0,13	16,01	43,5294
Total	-	100,00	100,00	-	-
O 0.000	37,12	0,00	0,00	0,00	0,0000
F K 0,677	12,96	0,62	14,45 F	12,96	2,5777
Mg K 1,253	1,26	0,18	3,13 MgO	2,10	1,3888
Al K 1,486	2,40	0,18	2,68Al ₂ O ₃	4,54	3,2487
Si K 1,739	18,58	0,18	39,83 SiO ₂	39,75	30,1935
P K 2,013	2,31	0,27	2,24 P ₂ O ₅	5,28	4,2176
K K 3,312	0,60	0,12	0,46 K ₂ O	0,72	1,3431
Ca K 3,690	24,76	0,17	37,20 CaO	34,65	57,0306
Total	100,00	-	100,00	100,00	-

Химический анализ электротермофосфорного гранулированного шлака полученного на Жамбылском филиале и использованного в ходе исследований приведен в таблице 2.18 [88].

Таблица 2.18 - Химический состав электротермофосфорного шлака текущего образования, январь 2017 г.

Дата	Шлак, %						
	MgO,	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO,	Fe ₂ O ₃ ,	М.К
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2,90	3,96	40,59	0,89	41,58	0,37	0,93
2	2,87	3,98	40,67	0,93	43,98	0,37	0,94
3	2,84	3,96	40,48	0,99	44,02	0,35	0,93
4	2,80	3,99	40,82	0,85	44,38	0,43	0,93
5	2,83	3,96	40,78	0,88	44,16	0,35	0,93
6	2,80	3,96	40,82	0,77	44,39	0,42	0,93
7	2,80	3,98	40,52	0,72	44,34	0,31	0,93
8	2,75	3,96	40,64	0,67	44,00	0,36	0,94
9	2,69	3,99	40,68	0,65	44,64	0,33	0,92
10	2,65	3,96	40,61	0,83	44,47	0,31	0,93
11	2,59	3,95	40,55	0,97	44,58	0,32	0,93
12	2,59	3,98	40,87	0,88	44,86	0,27	0,93
13	2,55	3,9	40,87	0,99	44,46	0,31	0,94
14	2,59	3,97	40,80	0,71	44,62	0,34	0,93
15	2,56	3,95	40,76	0,74	44,57	0,31	0,93
16	2,46	3,95	40,74	0,80	44,66	0,31	0,93
17	2,51	3,96	40,78	0,86	44,71	0,41	0,93
18	2,64	3,96	40,58	0,95	44,43	0,42	0,93

Литой электротермофосфорный шлак получают траншейным способом, при котором огненно-жидкий шлак, образовавшийся в руднотермической печи, шлаковозами вывозят на отдельную площадку и выливают в 3-х секционные траншеи, где он остывает. Остывший шлак разрабатывают экскаватором и дробят с рассевом на фракции 5-10; 10-20; 20-40 и 40-70 мм [89]. Количество закладированного литого ЭТФШ составляет более 8 млн.т.

Химический состав ЭТФШ зависит от химического состава исходного сырья и технологического решения получения фосфора. Количество стекло фазы в гранулированных шлаках достигает 97-98%, а в литом до 92%.

Усредненный гранулометрический состав представленной пробы литого ЭТФШ содержит следующий фракционный состав, приведенный в таблице 2.19, а его общий вид представлен на рисунке 2.25.

Таблица 2.19 - Усредненный гранулометрический состав литого электротермофосфорного шлака

Размер фракций, мм	40-80	20-40	1-20	менее 0,5
Содержание в %	39,3	48,8	11,8	0,1



Рисунок 2.25 - Общий вид литого электротермофосфорного шлака

Общий вид литого электротермофосфорного шлака при увеличении в 100 раз и его химический состав установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LVc системой химического анализа EDXJED-2201 (JEOL, Япония) и показан на рисунке 2.26.

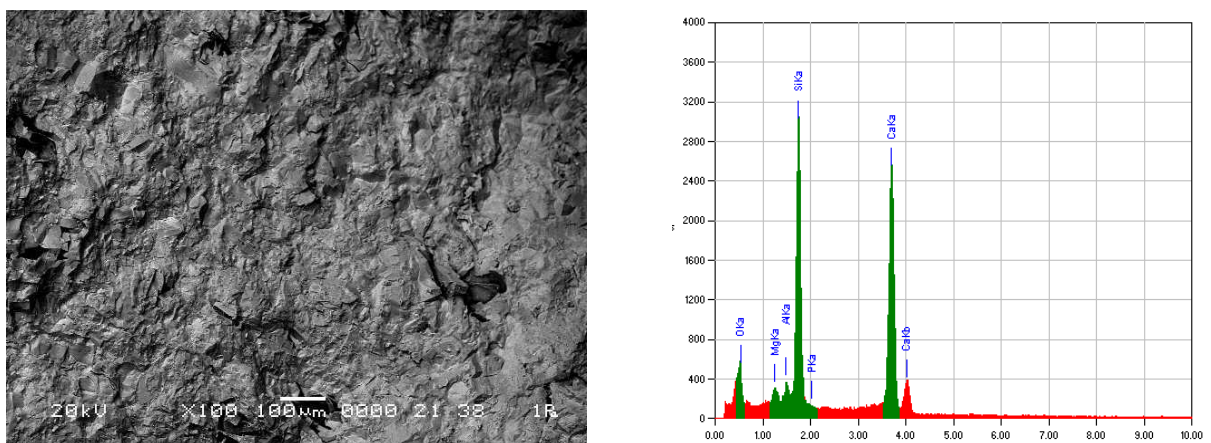


Рисунок 2.26 –Общий вид литого электротермофосфорного шлака,увеличение в 100 раз

Угол естественного откоса литого ЭТФШ составляет 31° .

Насыпная плотность литого электротермофосфорного шлака составляет 1220 кг/м^3 .

В таблице 2.20 приведен химический состав литого ЭТФШ [90].

Таблица 2.20 - Химический состав литого электротермофосфорного шлака

Элемент	(keV) масса, %	Погрешность, %	At%	Общая масса, %	К
1	2	3	4	5	6
OK	0,525	34,65	0,82	52,68	17,6645
Mg K	1,253	1,49	0,14	1,50	1,0847

Продолжение таблицы 2.20

1	2	3	4	5	6
Al K	1,486	1,52	0,13	1,37	1,3363
Si K	1,739	25,40	0,12	22,00	26,8601
P K	2,013	0,18	0,17	0,14	0,1950
Ca K	3,690	36,76	0,17	22,31	52,8595
Итого	100	100	-	-	-
O 0,000	41,49	0,00	0,00	0,00	0,0000
Mg K 1,253	1,37	0,22	3,28MgO	2,27	1,3174
Al K 1,486	1,38	0,22	1,49Al ₂ O ₃	2,61	1,6229
Si K 1,739	22,91	0,22	47,54SiO ₂	49,02	32,6227
P K 2,013	0,16	0,35	0,15P ₂ O ₅	0,36	0,2368
Ca K 3.690	32,70	0,21	47,55CaO	45,75	64,2001
Итого	100		100	100	-
O K	0,525	32,07	0,78	48,58	17,2654
F K	0,677	4,31	0,60	5,49	0,7770
Mg K	1,253	1,47	0,14	1,47	1,0797
Al K	1,486	1,49	0,12	1,34	1,3301
Si K	1,739	24,84	0,11	21,43	26,7368
P K	2,013	0,17	0,17	0,14	0,1941
Ca K	3,690	35,65	0,16	21,55	52,6169
Итого	-	100	-	100	-
O 0,000	39,20	0,00	0,00	0,00	0,0000
F K 0,677	5,66	0,78	6,09F	5,66	0,9392
Mg K 1,253	1,31	0,21	3,12MgO	2,17	1,3050
Al K 1,486	1,31	0,21	1,41Al ₂ O ₃	2,48	1,6077
Si K 1,739	21,72	0,21	44,88SiO ₂	46,47	32,3163
P K 2,013	0,15	0,33	0,14P ₂ O ₅	0,33	0,2346
Ca K 3,690	30,65	0,19	44,37CaO	42,88	63,5972
Итого	100	-	100	100	-

В таблице 2.21 приведен химический состав литого электротермофосфорного шлака из отвалохранилищ ДПО-Химпром и НДФЗ [91].

Таблица 2.21 - Химический состав шлака отхода фосфорного производства, находящегося в отвалохранилищах ДПО-Химпром и НДФЗ

Наименование материала	Химический состав в %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mg O	Ca O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Mn O	п.п.п .
Шлак электротермофосфорный, литой	38,6 - 43,9	1,8- 3,6	2,10 -6,5	45- 50	0,3- 0,4	0,2- 0,6	0,2- 0,6	0,1- 0,5	0,39

2.4 Рентгено-фазовый анализ компонентов шихтовой смеси

На практике наибольшее распространение получил рентгеновский порошковый метод, который в основном и используется в рентгенофазовом анализе. Проблемам рентгенофазового анализа как метода идентификации кристаллических фаз посвящено достаточно большое количество публикаций,

статей, обзоров, монографических изданий (различные руководства и учебные пособия). Этот метод в настоящее время наиболее применим по сравнению с другими рентгеновскими методами. Объяснение этому заключено в том, что многие природные и синтетические, технически важные материалы чаще всего находятся в поликристаллическом состоянии, и только в таком состоянии возможно изучение их структуры и свойств. Поликристаллический материал представляет собой совокупность множества мелких, чаще всего, разориентированных кристалликов, которые могут быть плотно сцеплены между собой как в металлах и сплавах или находиться в виде измельченного порошка. Иногда поликристаллическое вещество может состоять из кристалликов различных фаз. Преимуществом метода порошка является следующее:

- препарат не разрушается при анализе;
- для анализа требуется небольшое количество вещества;
- отсутствует необходимость выращивания и ориентировки монокристаллов соединения;
- относительная простота необходимых расчетных операций (нахождение значений);
- возможность различать модификации и изомеры одного и того же химического соединения.

Рентгенография поликристаллических образцов позволяет:

- определять состояния твердого тела (кристаллическое, аморфное, аморфное с кристаллическими включениями);
- определять параметры элементарной ячейки неизвестного вещества;
- производить структурный анализ несложных структур - определять координаты атомов в элементарной ячейке;
- исследовать фазовые переходы;
- исследовать фазовый состав вещества (выполнять качественный и количественный анализы).

Каждое кристаллическое вещество характеризуется своей решеткой, определенным химическим составом и определенным распределением атомов по элементарной ячейке решетки. Геометрия решетки определяет собой набор межплоскостных расстояний (следовательно, брэгговских углов φ при дифракции на заданном излучении). Индивидуальность и распределение атомов определяет интенсивность дифрагированных лучей. Поэтому метод рентгеновского фазового анализа называют иногда методом рентгеновской дактилоскопии.

Качественный рентгенофазовый анализ заключается в идентификации кристаллических фаз на основе присущих им значений межплоскостных расстояний) рентгеновского спектра.

Количественный анализ заключается в определении количества тех или иных фаз в смеси; определении средних размеров кристаллов, зерен в образце, функции распределения их по размерам, по анализу профиля линий; изучении внутренних напряжений - проведении анализа профиля дифракционных линий и сдвига положения этих линий; изучении текстур, т.е. характера

преимущественной ориентации кристаллитов. Количественный рентгеновский фазовый анализ основан на зависимости интенсивности дифракционного отражения от содержания $i\alpha$ соответствующей фазы в исследуемом объекте.

Здесь проводилось исследование образцов

№ 1 - литой электротермофосфорный шлак;

№ 2 - гранулированный электротермофосфорный шлак;

№3 - фосфогипс, проводились методом рентгено-фазового анализа (РФА) на приборе ДРОН-3, в интервале углов $8-64^\circ$.

Кристаллическая фаза литого ЭТФС (образец №1 в соответствии с рисунком 2.27), представлена следующими минералами:

- кварц SiO_2 , со значениями межплоскостных расстояний

$$\frac{d}{n} = 4,24 - 3,34 - 2,45 - 2,12 - 1,97 - 1,62 \text{ \AA}^\circ;$$

- фосфорит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ со значениями межплоскостных расстояний

$$\frac{d}{n} = 2,80 - 2,70 - 2,77 \text{ \AA}^\circ;$$

- ранкинит $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$, со значениями

$$\frac{d}{n} = 4,39 - 4,04 - 3,76 - 3,51 - 3,33 - 3,14 - 2,96 - 2,85 - 2,67 - 2,54 - 1,97 \text{ \AA}^\circ$$

Гранулированный электротермофосфорный шлак (образец № 2 в соответствии с рисунком 2.28) имеет стекловидную фазу, т.е. идентификация кристаллических фаз невозможна из-за отсутствия ярко-выраженных дифракционных максимумов.

В фосфогипсе (образец № 3 в соответствии с рисунком 2.29), основная кристаллическая фаза представлена гипсом (двуводный гипс) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ следующими значениями

$$\frac{d}{n} = 7,56 - 4,27 - 3,79 - 3,16 - 3,059 - 2,86 - 2,786 - 2,679 - 2,591 - 2,45 - 2,40 - 2,216 - 2,08 - 1,99 - 1,89 - 1,796 - 1,778 - 1,62 \text{ \AA}^\circ$$

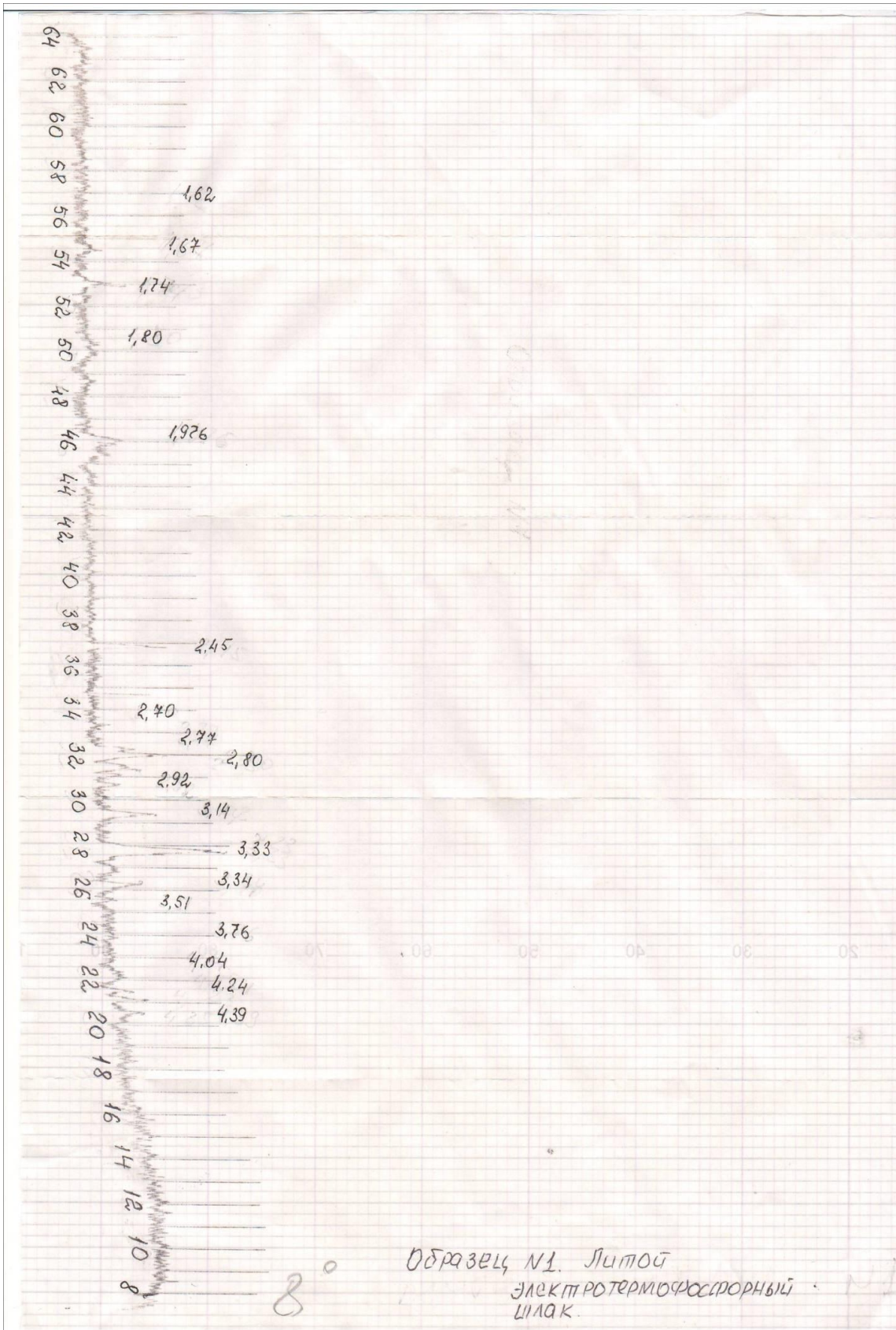


Рисунок 2.27 -Рентгенограмма литого электротермофосфорного шлака

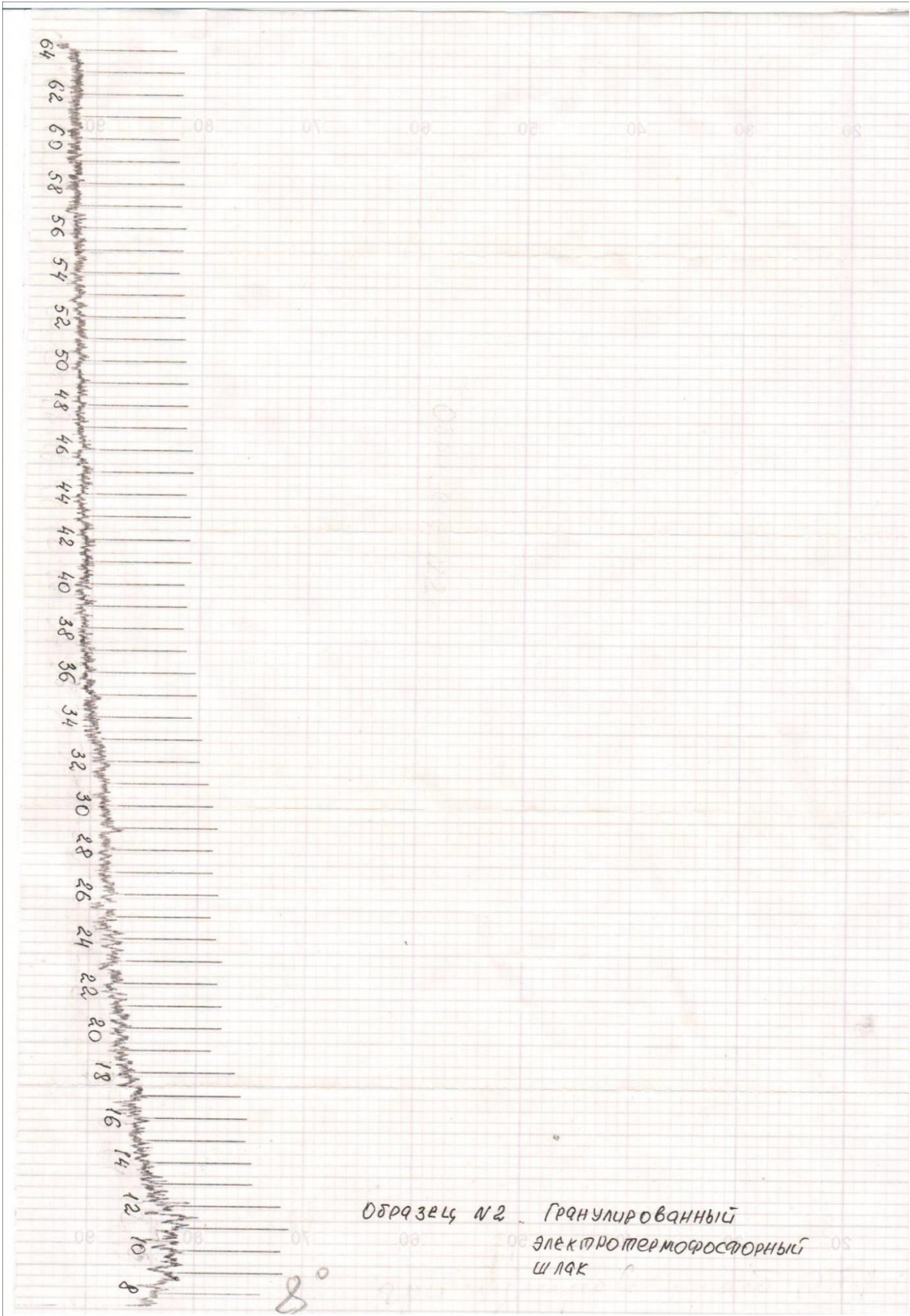


Рисунок 2.28 - Рентгенограмма гранулированного электротермофосфорного шлака

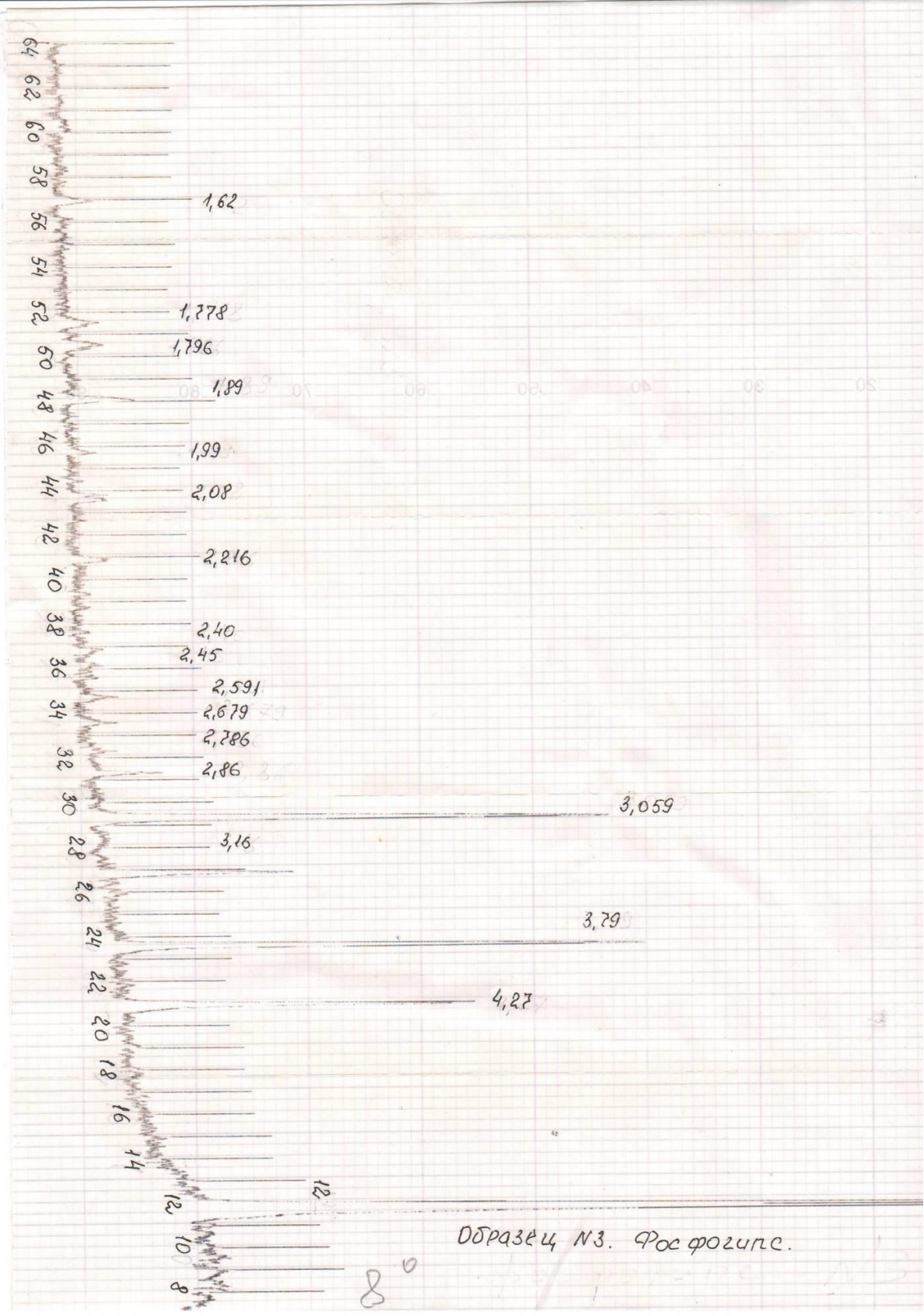


Рисунок 2.29 - Рентгенограмма фосфогипса

2.5 Исследование эндотермических свойств отходов промышленности

Стандартные огнетушащие составы, применяемые на сегодняшний день, очень дорогие, поэтому перспективным представляется изучение пламегасящих свойств пылевидных отходов промышленности и их математическое и компьютерное моделирование в связи с их недорогой стоимостью, малыми затратами на исходную доработку и возможностью утилизации.

В индустрии фосфорную кислоту получают таким способом, как разложения фосфатов серной кислотой. При котором образуется осадок в виде труднорастворимого сульфата кальция (фосфогипс).

Поэтому, при производстве экстракционной фосфорной кислоты из природных фосфатов выходит огромное количество отходов в виде фосфогипса. Как обычно, отходы находятся под открытым небом и подвергаются воздействию атмосферных осадков, что приводит к загрязнению грунтовых вод. Из фосфогипса в атмосферу испаряются токсичные остаточные соединения фтора, которые приводят к загрязнению окружающей среды. Количество фосфогипса, скопившегося на заводах мира составляет более 200 млн т. По статистике, из данного количества в настоящее время утилизируется всего около 10 %.

На сегодняшний день, в нашей стране фосфогипс на заводах не перерабатывается. В то же время известно, что за рубежом около 3 млн. тонн фосфогипса перерабатывается в гипсовые вяжущие, цемент и другие материалы. Из них 1.9 млн.т. приходится на вяжущие материалы [92,93].

Из рисунка 2.30, мы видим кривые термограммы фосфогипса, при котором , при температуре более 1200°C начинается интенсивное разложение фосфогипса. Около 100-150°C происходит испарение воды. При температуре 1200°C требуется около двух минут, а при температуре 1300°C процесс заканчивается меньше чем за одну минуту. Это означает, что процесс разложения фосфогипса можно провести во вращающихся барабанных печах. Но, переработка фосфогипса по термическому способу приводит к экологическим проблемам окружающей среды, по очистке отходящих газов от смеси пыли СаО, соединений хлора, фтора и остальных токсичных веществ.

Отметим, что в некоторых странах разработаны и внедрены в производство очень эффективно используются вихревые аппараты, с помощью которых проводится мокрая очистка газов от пыли, их можно применить в качестве процессов разложения фосфогипса и решить экологическую проблему [94,95].

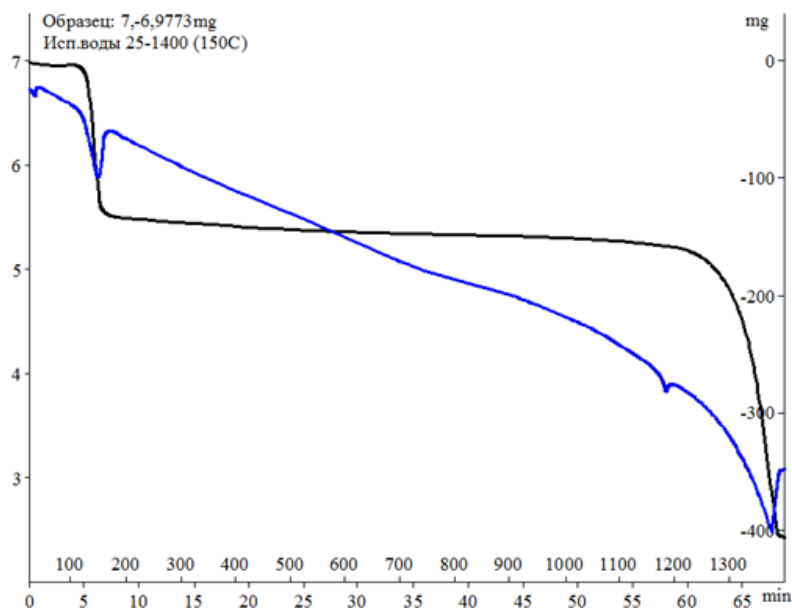
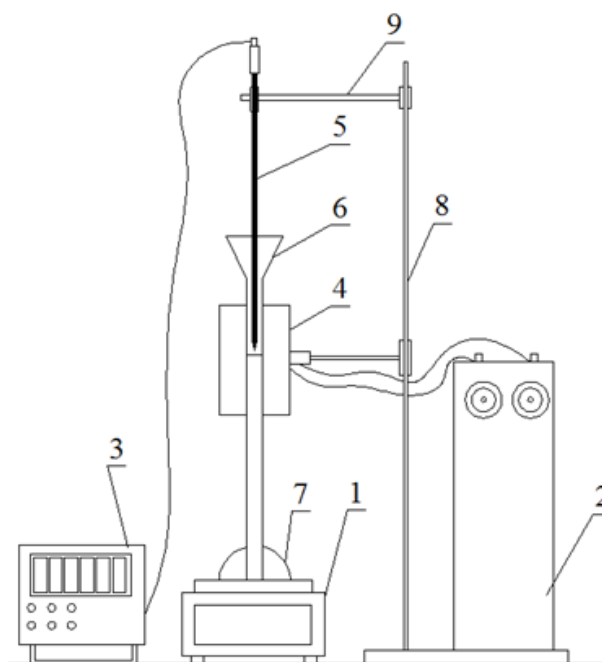


Рисунок 2.30 - Кривая ТГ-ДТА образца фосфогипса

Для исследования процесса термического разложения фосфогипса показана экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 2.31.



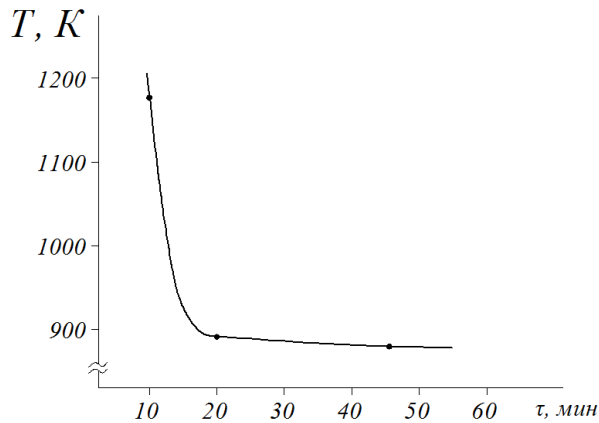
1 - весы лабораторные электронные; 2 - трансформатор; 3 - милливольтметр; 4 - печь; 5 - термопара; 6 – кварцевый реактор; 7 - держатель; 8 - штатив; 9 - лапка-держатель

Рисунок 2.31 - Схема экспериментальной установки для исследования процесса разложения фосфогипса

Показано, что на весах установлен кварцевый реактор, который позволяет определять вес навески в динамике процесса разложения. На рисунке 2.32 представлены линии изменения массы навески, по которым можно резюмировать, что уравнение скорости разложения фосфогипса имеет порядок нулевой, относительно массовой доли фосфогипса:

$$- dm/dt=k, \quad (2.2)$$

где m – масса навески фосфогипса с добавлением угля.



1 - 800°C; 2 - 900 °C; 3 - 1000°C

Рисунок 2.32 – зависимость разложения смеси фосфогипса и просроченного порошка П-2АП с истекшим сроком действия, с отошающими добавками от температуры и времени.

Расчет $E_{каж}$ для фосфогипса

$$1073 \text{ К} \\ L_{nh} = 1,386$$

$$1173 \text{ К} \\ L_{nh} = 2,079$$

$$1273 \text{ К} \\ L_{nh} = 2,485$$

$$E_{каж} = 62 \text{ кДж/моль}$$

Расчет $E_{каж}$ для электротермофосфорного шлака

$$1073 \text{ К} \\ L_{nh} = 1,946$$

$$1173 \text{ К} \\ L_{nh} = 2,64$$

$$1273 \text{ К} \\ L_{nh} = 3,04$$

$$E_{каж} = 54 \text{ кДж/моль}$$

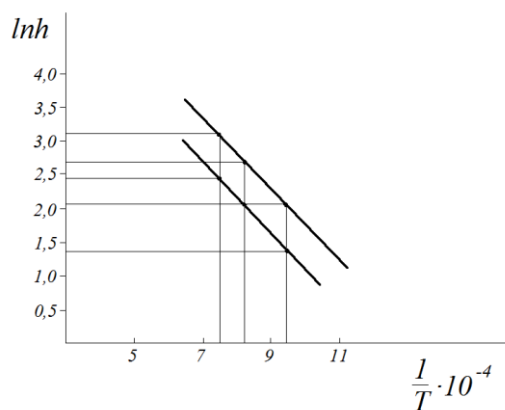


Рисунок 2.33 – определение энергии активации смеси фосфогипса и просроченного порошка П-2АП с отощающими добавками

Из уравнения (2.3) получаем, что энергия активации смеси порошков фосфогипса и просроченного порошка П-2АП с истекшим сроком действия с отощающими добавками определяется по формуле:

$$E = R \cdot tg, \quad (2.3)$$

где R – газовая постоянная, tg – коэффициент экспериментальной смеси от температуры и времени.

Для дальнейшего процесса интенсификации разложения фосфогипса проведена исследовательская работа по влиянию разных добавок на процесс разложения. Такие добавки, как SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 , известны, которые существенно повышают скорость разложения сульфата кальция за счет взаимодействия с сульфатом кальция и сдвигают начало реакции в область более низкой температуры. Эксперимент показал, что наиболее существенное влияние на процесс разложения фосфогипса оказывают оксид кремния и антрацит. Дополнительно проведено исследование различных способов продувки раскаленного фосфогипса воздухом и его влияние, а также продувки углекислым газом и азотом. Исследования показали, эффективная переработка фосфогипса происходит при двухступенчатом обжиге на каждой ступени, с добавлением угля. Кроме этого, эффективна продувка раскаленного фосфогипса именно углекислым газом. Термическое разложение фосфогипса сопровождается образованием оксида кальция и диоксида серы.

Переработка фосфогипса является одной из сложных научно-технических проблем. Комплексное исследование процесса термического разложения фосфогипса подтвердило практическую возможность получения гипсовых вяжущих. Это позволит решить широкий спектр научно – технических, экологических, экономических и производственных проблем крупнейших отечественных заводов по производству экстракционной фосфорной кислоты и фосфатных удобрений. Одним из основных сырьевых смесей, используемых в производстве, является доменный шлак, состоящий из силикатов кальция, магния и алюминия.

При нагреве происходят химические реакции и физические превращения, которые сопровождаются тепловыми эффектами с выделением или поглощением тепла. Теплоты образования (разложения) для широкого круга соединений вычисляют как средние величины опытных термодинамических данных для большого числа соединений данного ряда.

Для прогнозирования огнетушащих свойств порошка предложена методика расчета величины энергии охлаждения пламени [96] (энергии диссоциации) ΔH°_{298} на основе термодинамического закона Гесса:

$$\Delta H^{\circ}_{298(p-u)} = \sum \Delta H^{\circ}_{298(прод)} - \sum \Delta H^{\circ}_{298(исх.в-в)}, \quad (2.4)$$

где $\sum \Delta H^{\circ}_{298(прод)}$ – сумма теплот образования конечных продуктов, кДж/моль;

$\sum \Delta H^{\circ}_{298(исх.в-в)}$ – сумма теплот образования исходных веществ, кДж/моль;

$\Delta H^{\circ}_{298(p-u)}$ – тепловой эффект химической реакции при стандартных условиях, кДж/моль.

Значения теплот образования веществ берут из справочной литературы [97]. Рассчитанные реакции разложения (таблица 2.22) стандартных огнетушащих порошков и отходов производств показывают, что намного эффективнее сода, чем определенный химический компонент, но объективно утверждать это нельзя, в связи с тем, что не учитывается температура самого начала процесса. В связи с чем, возникла необходимость в экспериментальных исследованиях, в которых используем стандартный дифференциально-термогравиметрический метод на дериватографе системы Паулик.

Синхронная автоматическая регистрация изменений при нагреве вещества на термограмме дает возможность делать выводы о характере и интенсивности тепловых эффектов и температурах, при которых эти эффекты происходят.

Эндотермический эффект охарактеризован отклонением кривой ДТА вниз к оси абсцисс, экзотермический эффект – вверх. В дополнении, можно отметить, что регистрируется изменение веса пробы при нагреве, что позволяет фиксировать газификацию пробы.

Таблица 2.22 - Энергии диссоциации порошков

Вещество	Реакция разложения порошков	ΔH°_{298} кДж/моль	Температурные диапазоны охлаждающего эффекта, °С
1	2	3	4
Сода	$\text{NaHCO}_3 = \text{NaOH} + \text{CO}_2$	96	190-450, 780-850
Аммофос	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 = \text{NH}_3 + 1.5 \text{H}_2\text{O} + 0.5\text{P}_2\text{O}_5$	61,2	190-430
	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 = 4\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{P}_2\text{O}_5$	168,8	
Карбамид	$\text{CH}_3\text{N}_2\text{OH} = \text{CO} + \text{N}_2 + 2\text{H}_2$	870	120-130

Продолжение таблицы 2.22

1	2	3	4
Фосфогипс	$CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow CaO + SO_3 + 2H_2O$	107,5	440-630, 730-840
Электротермофосфорный шлак	$CaSiO_3 \rightarrow CaO + SiO_2$	175,2	470-680, 750-880

Высокоэффективные огнетушащие порошки, такие как ПФ, П-2АП, П-4АП, Р-П-24, в качестве основного компонента содержат аммофос, состоящий из фосфорно-аммонийных солей.

Исходя из справочных термодинамических данных по теплотам образования NH_3 , H_3PO_4 , HPO_3 , H_2O , P_2O_5 , рассчитаны энергии связи между атомами N-H, O-H, P-O, P=O и как мы знаем, соединение моно - и диаммония фосфатов, таких как $NH_4H_2PO_4$ и $(NH_4)_2HPO_4$ – является величиной энтальпии аммофоса.

Из проведенных расчетов вытекает, что реакция разложения аммофоса, включающего в состав дигидрофосфат аммония и гидрофосфат аммония, сопровождается поглощением тепла (эндотермическая), и на 1 кг аммофоса затрачивается 584,85 кДж.

Термодинамический расчет реакций разложения также свидетельствует об эндотермическом процессе разложения и деструктуризации, и, следовательно, о возможности их применения в пожаро-взрывоподавляющих составах. Методика расчетов приведена в Приложении А.

При проведении термографических исследований пылевидных смесей методом ДТА, мы получили расчетные данные, согласующиеся между собой. На термограмме (на рисунке 2.34) при нагреве мы видим эндотермические эффекты: 1) в интервале температур от 430°C до 640°C и 2) интервал температур от 750°C до 920°C; эти эффекты объясняются происходящими термохимическими превращениями. Наличие в пробе до 45% потерь при прокаливании (п.п.п.), или газообразных веществ, выделяющихся при нагреве пробы, говорит о содержании в пыли гидроксидов кальция, магния и карбонатов. Согласно справочным данным, температуры их разложения составляют (°C): для $CaCO_3$ - 825; $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ - 165; $Mg(OH)_2$ - 200; $MgCO_3$ более 350; $Ca(OH)_2$ - 580.

При нагреве фосфогипса, первый эндотермический эффект обусловлен диссоциацией гидроксида кальция по реакции формулы (2.5) с участием разложения примесей соединений магния:



Первый эндотермический пик электротермофосфорного шлака начинается при температуре 430°C и соответствует началу диссоциации карбонатов магния, а второй пик при - при 720°C диссоциации карбонатов кальция. Температуры разложения близки к справочным. Потери при прокаливании составляют 15%.

Причиной второго пика по реакции формулы (2.6) является образование перекала фосфогипса:



и разложение гидроксида кальция. При нагреве проб первый эндоэффект обусловлен разложением карбоната магния, второй – началом разложения карбоната кальция.

При нагреве антипирогенные свойства оксидов слабые, они действуют как инерты.

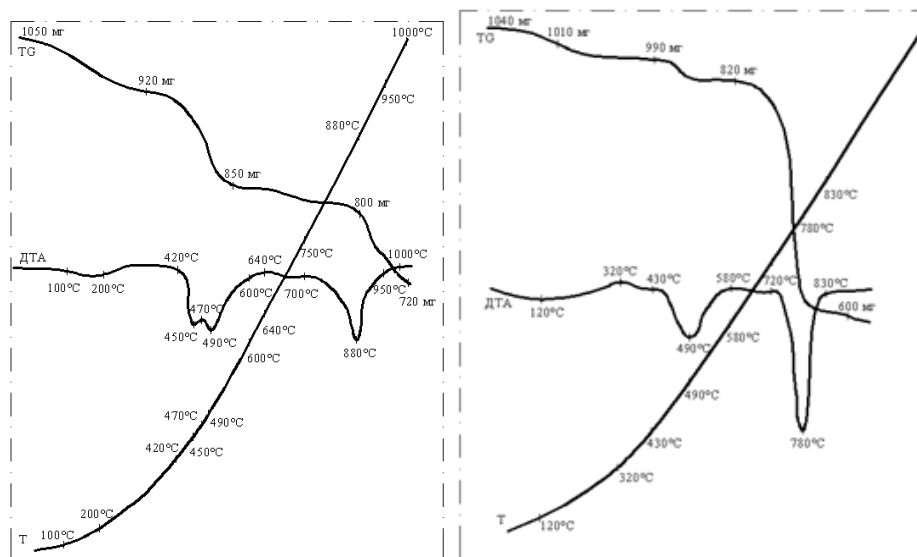


Рисунок 2.34 Термограммы разложения фосфогипса и электротермофосфорного шлака

Эффект флегматизации инертами, однако, возрастает при использовании веществ с эндотермическими процессами плавления [98], к которым относятся повсеместно использующиеся хлориды натрия, калия и магния, они имеют температуру от 700°C до 800°C.

Солянокислые стоки комбината, объемом приблизительно 1,5 млн. кубометров в год, нейтрализуются 5%-раствором, сбрасываются в водоем. При этом образуется хлорид кальция, широко известный как эффективный антипироген.

Действие гидроксидов и карбонатов, наряду с физическим поглощением тепла по аналогии с оксидами, обусловлено химическим охлаждением реакционной зоны, или эндотермическим эффектом. Помимо того, эффективными флегматизаторами горения выделяются пары воды и диоксид углерода, при указанных реакциях в газовую среду. Это свидетельствует о возможности применения комбинаций компонентов электротермофосфорного шлака и фосфогипса в пожаро-взрывопожаряющих составах.

С целью сравнения и оценки достоверности показаний, полученных на установке при полевом эксперименте, были проведены исследования аналогичных проб на дериватографе системы Паулик. Скорость нагрева 10

град/мин, в качестве основного вещества использовали чистый окисел алюминия. Параллельные исследования на дериватографе привели к аналогичным результатам; тепловые эффекты прослеживаются в такой же последовательности, однако наблюдаемые пики более сглажены и сдвинуты в область более низких температур. В таблице 2.23 приведены сравнительные результаты термогравиметрического анализа пылевидных промышленных отходов и огнетушащего порошка.

Таблица 2.23 - Результаты термогравиметрического анализа промышленных пылевидных отходов

Проба	Соотн. %	Установка эксперимента			Дериватограф		
		Температура, °С			Температура, °С		
		Tн	Tк	max ДТА	Tн	Tк	max ДТА
порошок П-2АП	100	200	480	430	190	430	350
фосфогипс	100	510, 800	680,960	520,900	430,750	640,920	490,880
ЭТФШ	100	500,780	590,880	590,830	430,720	580,830	500,780
порошок П-2АП	100	180	450	400	150	440	390
фосфогипс	100	480,800	680,960	500,890	420,780	640,900	500,890
ЭТФШ	100	490,780	580,870	580,820	420,730	570,820	490,780
порошок П-2АП	100	190	450	420	180	430	420
фосфогипс	100	500,780	690,950	520,890	430,720	630,920	490,890
ЭТФШ	-	500,770	590,890	580,830	420,720	580,820	500,760

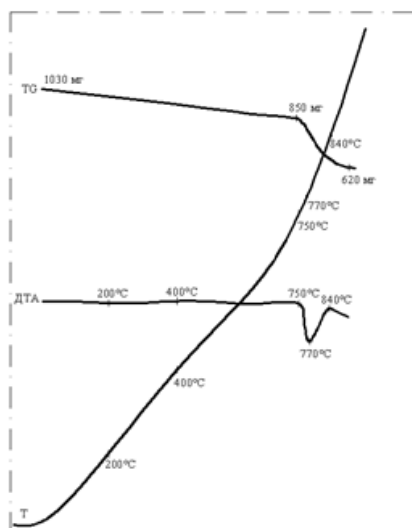


Рисунок – 2.35 Термограмма разложения хлорида натрия

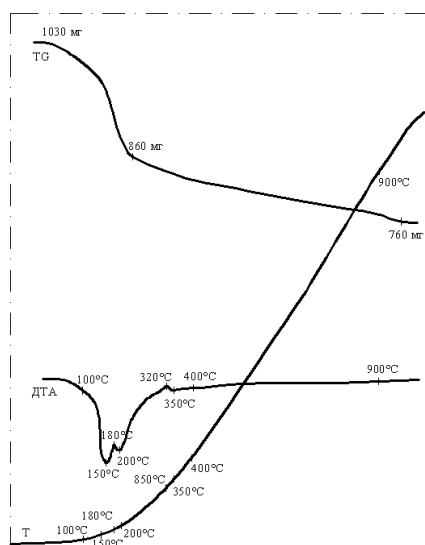


Рисунок 2.36 – Термограмма разложения гипса

В результате исследования стандартных огнетушащих порошков (рисунки 2.35 – 2.39) получен вывод, что аммофос обладают намного большими эндотермическими эффектами, чем гипс и хлорид натрия.

Эндотермические эффекты у доменного шлака и окиси железа минимальны. Отметим, что все термограммы сходны со стандартными кривыми.

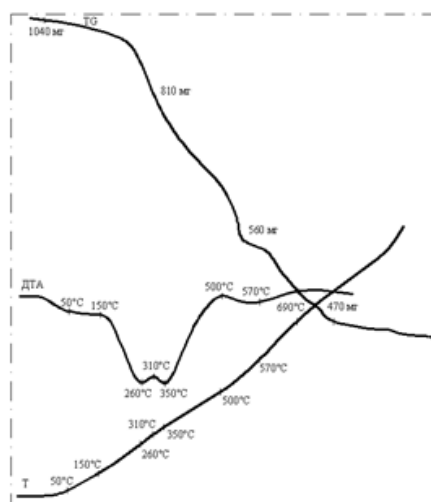


Рисунок – 2.38 Термограмма разложения огнетушащего порошка П-2АП

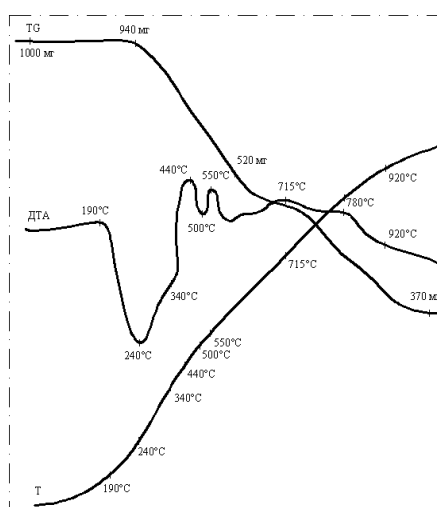


Рисунок 2.39 – Термограмма разложения аммофоса

Исследования показывают, что первые потери воды и аммиака наблюдаются до 180°C. Эндотермический эффект при 190°C соответствует процессу перехода диаммоний фосфата в моноаммонийфосфат и образования пирофосфата аммония из моноаммонийфосфата. После 200°C в расплаве начинается полимеризация мономерных фосфатов, с этим же связан эндоэффект при 240°C, сопровождаемый дальнейшей потерей аммиака и воды. Образующиеся на тлеющей поверхности вязкие пленки, затрудняют доступ кислорода к горящей поверхности при изменении температур 440°C, 550°C и 715°C, что свидетельствует о дальнейшей полимеризации и получении соединений. При этом общая потеря массы аммофоса составляет более 70%.

В результате было выявлено, что энергия активации смеси фосфогипса и стандартного порошка П-2АП с истекшим сроком хранения и с отошающими добавками, установлены характеристики разложения их смеси с энергией активации 95 кДж/моль, которые указывает применимость пожаро-взрывоподавляющего для использования в объемных пожаротушениях.

Учитывая результаты опытов и низкую стоимость, дисперсность, экологичность и безопасность сырья, то получаем, что в качестве объектов дальнейшего исследования перспективны фосфогипс, электротермофосфорный шлак (ЭТФС) и просроченный огнетушащий порошок.

Выводы по 2 разделу:

1) Качество огнегасящих порошков оценивается по 15 экспериментальным методикам с определением 12 показателей, из которых лишь один показатель характеризует огнетушащую (взрывоподавляющую) способность при объемном тушении. Отсутствуют методики по прогностической оценке эффективности огнетушащих веществ.

2) Учитывая возможное распределение пересмотрена методика экспериментального исследования взрывоподавляющей (огнетушащей) способности порошков в пылегазовоздушной смеси.

3) На базе общепринятого метода дифференциально-термографического анализа предлагается методика экспериментального исследования эндотермической эффективности порошков с определением температурного диапазона, скорости протекания и величины эндотермического эффекта флегматизирующей реакции.

4) Для решения поставленных задач применена также совокупность стандартных и общепринятых методик определения показателей качества огнетушащих порошков.

5) Проведены испытания по оценке достоверности результатов исследований в соответствии со стандартными условиями и параметрами общепринятых методов.

6) Выявлено, что основой выпускаемых серийных огнетушащих порошков, а значит наиболее эффективных в настоящее время пожаро-взрывоподавляющих составов, являются соли: фосфаты, хлориды аммония, карбонаты и щелочноземельные металлы.

7) При нагреве эндотермическими процессами разложения и деструкции, охлаждаются зоны горения, данное происхождение обуславливает высокую эффективность данных порошков и подтверждается данными дифференциально-термографического анализа минералов и фосфорных производств. Аналогичный прогноз также рассматривается положительно в динамике для гидратов и гидроксидов.

8) Установлено, что основой для производства эффективных огнегасящих порошков среди отходов фосфорного производства могут быть:

- пыли и дисперсные отходы фосфогипса и ЭТФС, содержащие карбонаты кальция и магния, и гидроксид кальция.

9) Установлено, что при комплексном учете величины эндотермического эффекта (площадью эндоэффекта на термограмме) эффективность порошков может быть количественно определена начальной температурой и скоростью разложения вещества.

10) В результате было выявлено, что энергия активации смеси фосфогипса и стандартного порошка П-2АП с истекшим сроком хранения и с отошающими

добавками, установлены характеристики разложения их смеси с энергией активации 95 кДж/моль, которые указывает применимость пожаро-взрывоподавляющего для использования в объемных пожаротушениях.

11) Выявлено, что перспективными для разработки комплексных порошковых компонентов, с точки зрения не дорогого исходного сырья, экологичностью и безопасности для окружающей среды, а также простоты технологии, являются дисперсные отходы (пыль) фосфогипса и ЭТФШ.

3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В СРЕДЕ МАТЛАВ

3.1 Аналитическое прогнозирование огнетушащей способности минералов и отходов производств фосфорной промышленности

На сегодняшний день имеется много программных продуктов для математического моделирования технических систем. Многие из которых знакомы пользователям и являются популярными, другие – появились недавно. Существуют программы, которые могут быть использованы для моделирования любых технических систем, имеются программы, которые используются в узкой специализации в какой-либо предметной области. Возможности многих программ в значительной степени перекрываются друг другом и подходы к решению одинаковых задач у них примерно одинаковы. Рассмотрим классификацию пакетов программ (ПП), которые могут использоваться для математического моделирования технических систем с точки зрения сегодняшнего состояния. Перечислим следующие важнейшие показатели:

- назначение и возможности ПП;
- состав их библиотек и приложений;
- принципы построения моделей;
- методы интегрирования;
- средства визуализации результатов.

Так называемые «классические» математические ПП, такие как Mathematica, Maple, Mathcad, Simulink хорошо приспособлены к выполнению расчетов в дисциплинах естественнонаучного цикла, когда модель задается в аналитической форме. В этих случаях программирование заключается в написании сравнительно небольших по объему программ, состоящих в основном только из макрооператоров. Пакеты компонентного моделирования (КМ) практически полностью ориентированы на численные эксперименты. В настоящее время они преобладают в процессах проектирования технических объектов (ТО). По принципам представления начальной модели среди пакетов КМ можно выделить следующие две основные группы:

- пакеты структурного моделирования (СМ);
- пакеты физического моделирования (ФМ).

Некоторые авторы в своих публикациях выделяют в качестве третьей группы ПП, предназначенные для моделирования гибридных систем (МГС). Эти пакеты позволяют наглядно описывать ТС со сложной логикой

переключений.

К числу универсальных ПП, не ориентированных на конкретные прикладные области моделирования ТС, можно отнести пакет программ MATLAB. Данный ПП предназначен для аналитического и численного решения различных математических задач и исследования динамических систем (ДС), включая и дискретные, и непрерывные, и гибридные модели. Главная его особенность – хорошая проработанность и отлаженность всех средств и методов программирования.

MATLAB получил наиболее распространенное применение в инженерной практике в отличие от других подобных программ. В состав системы входит ядро компьютерной алгебры Maple и пакет расширения Simulink, а также десятки других пакетов расширений. Система ММ Simulink является в настоящее время одним из наиболее популярных инструментов численных расчетов и применяется в различных областях знаний. Важнейшей составляющей ПП является приложение СМ ДС Simulink. Simulink – это библиотека блоков для многодоменного моделирования и модельного проектирования. Он поддерживает системный дизайн, моделирование, автоматическую генерацию кода и непрерывный контроль, включая проверку встроенных систем. Simulink предоставляет графический редактор, настраиваемые библиотеки блоков и решатели для моделирования и симулирования ДС. Он интегрирован с MATLAB, позволяя включать его алгоритмы в модели и экспортировать результаты моделирования для дальнейшего анализа.

К ключевым особенностям Simulink можно отнести следующие:

- графический редактор для построения и управления иерархическими блок-диаграммами;
- библиотеки предопределенных блоков для моделирования систем непрерывного и дискретного времени;
- симуляционный «движок» с фиксированным и переменным шагами;
- области и отображения данных для просмотра результатов моделирования;
- инструменты визуализации проектов и данных для управления файлами моделей;
- инструменты анализа модели для уточнения ее архитектуры и увеличения скорости моделирования;
- функциональный блок для импорта алгоритмов MATLAB в модели.

Проведя аналитический обзор по математическому и компьютерному моделированию, мы пришли к выводу, что при прогнозировании, поиске и разработке новых эффективных взрывоподавляющих составов следует учитывать следующие факторы:

- 1) порошковые компоненты, предназначенные для быстрого подавления пламени и взрыва, должны изготавливаться из дешевого отечественного сырья и не требующих сложной технологии получения;
- 2) выявление эффективных взрывоподавляемых составов с использованием отходов производств целесообразно вести в направлении

разработки комплексных составов, имеющих низкие температуры эндотермических процессов плавления, разложения или испарения с образованием инертных газов, а для получения легко-пламягасящих порошков - среди смеси многих компонентов, которые плавятся при минимальной температуре.

Следовательно, в первую очередь следует провести качественный анализ эндотермической способности минералов и отходов фосфорных производственных процессов как наиболее не дорогих, недефицитных, с применением несложной технологии получения (в основном измельчения). Аналитические исследования [99,100] более 250 минералов и фосфорных производств проводились по стандартным моделям термограмм их диагностики. Результаты исследований показывают, что большая половина из исследований имеют эндотермические эффекты, однако у многих присутствуют также экзотермические эффекты, они токсичны или очень редкие.

3.2 Компьютерное моделирование физико-технических процессов горения

Компьютерное моделирование самых различных процессов имеет широкое распространение в различных сферах безопасности жизни человека. Особенно важно это бывает для разработки компьютерного моделирования в сферах, касающихся оценке рисков возможных ситуаций чрезвычайных, происходящих при возгорании. Основное, что можно моделировать (в данном случае в среде MATLAB) – это процессы горения, т.е. визуализировать и получить графический анализ динамической структуры пламени, что может помочь в исследовании пожароопасных характеристик различных помещений и сред, при использовании огнетушащих порошков. Такое моделирование позволяет определять зависимость скорости распространения огня от топографических особенностей местности, погодных условий и мер пожаротушения.

С развитием компьютерных моделей физических процессов стало гораздо доступней обучение специалистов в области гражданской обороны и защиты при ЧС, качественное обучение основывается на использовании моделей, максимально приближенных к реальной ситуации, то есть процесс горения не только визуально реалистичен, но и протекает согласно физико-химическим реакциям с учетом внешних факторов.

Данную задачу можно решать путем усложнения и использования комплексного использования нескольких компьютерных программ, в частности в случае медленного горения. Таким образом, в случае ламинарного пламени разработаны эффективные методы решения системы уравнений в том числе для подробных кинетических схем доступны пакеты программных приложений и программ, решающие такого рода задачи. Чаще всего используются коммерческие пакеты (типа ANSYS, MathCAD), а также свободное программное обеспечение (SciLab).

Целью работы является исследование компьютерного распространения огня с учетом физико химических реакций и внешних факторов, а также

применения интерактивного компьютерного обучения процессам горения. Для двумерных и трехмерных случаев часто применяется глобальная кинетическая схема. Такой подход реализован например в пакетах ANSYS, однако вместе с увеличением мощности компьютеров появляются и расчеты с сокращенными и подробными кинетическими и динамическими задачами используются компьютеры последнего поколения и суперкомпьютеры.

С недавнего времени появилась возможность использовать при расчетах процессов горения новые модели турбулентности, то есть модель свободного вихря или модель больших структур. Модель турбулентных вихрей в аэродинамическом профиле, полученная с помощью разработки программного обеспечения, учитывающая масштабы турбулентных пульсаций. В частности, такая модель может сочетать в себе два альтернативных подхода записи уравнений Стокса. В первом случае такая процедура использует метод исключения из расчета подсеточных вихрей, то есть вихрей, размер которых меньше ячеек расчетной сетки. Второй вариант подразумевает запись уравнений переноса усредненного по времени потока со всеми предполагаемыми масштабами турбулентности.

Кроме компьютерного моделирования и развития программных приложений, основанных на математической модели, существует моделирование на основе компьютерной графики. В последнем случае имеет место визуализация огня. Это важно, поскольку исследователь гораздо эффективнее воспринимает процесс распространения раскаленных газов и плазмы, выделяющихся в результате произвольного или непроизвольного нагревания огнетушащих порошков до определенной точки при наличии окислителя. При условии создания интерактивной графической модели горения модель процесса максимально приближена к реальному миру, например пожар в помещении в зависимости от обстановки. Компьютерный опыт визуализации горения осуществляется программами с различными плагинами.

Относительно точная имитация физики с учетом внешних физических факторов и визуализацию термодинамических процессов, зависимостей температуры и скорости переноса тепла от времени позволяет разработать сильно достоверную компьютерную модель распространения пламени в различных сферах и средах. Однако для исследования процессов горения модель должна быть интерактивной. Это можно реализовать с помощью еще одного блока компьютерных программ. Эти программы позволяют импортировать объекты из специальных графических редакторов, таких как программы математического моделирования, учитывающие внешние физические факторы, программы, создающие графику. Они позволят наиболее точно передать процесс горения, т.е. разрабатываются визуально программы интерактивного моделирования, позволяющие быстро менять параметры и создавать модель обстановки с учетом взаимодействия присутствующих объектов.

Подытоживая, можно сделать следующий вывод - компьютерное моделирование является важным элементом исследования процессов горения и пожаротушения с использованием огнетушащих порошков в области пожарной

безопасности. Роль такого моделирования будет возрастать с ростом экспериментальных исследований.

3.3 Распространение пламени в узких каналах в MATLAB

В настоящее время существует интерес к созданию миниатюрных устройств преобразования энергии, которые представляют собой комбинацию камеры сгорания небольшого размера и устройства, которое обеспечивает тепловую энергию горения в электричестве.

На процесс распространения пламени в микроустройствах влияет не только размер камеры сгорания, поперечный потоку горючей смеси, но также длина камеры сгорания, ее геометрия и скорость потока газа. Затухание пламени можно было бы рассмотреть для разных сред и каналов, но в этом случае оно рассматривалось для узких каналов. Узкий канал - это канал, диаметр трубы которого меньше критического диаметра, определенного при нормальных условиях для исследуемой смеси. Исследовано сгорание метана в узкой трубе, нагреваемой внешним источником тепла. Исследования процессов распространения пламени в микроканалах используются как в устройствах, где необходимо предотвратить утечку пламени, например, в пламегасителях и в микропространственных устройствах, чтобы организовать устойчивое горение.

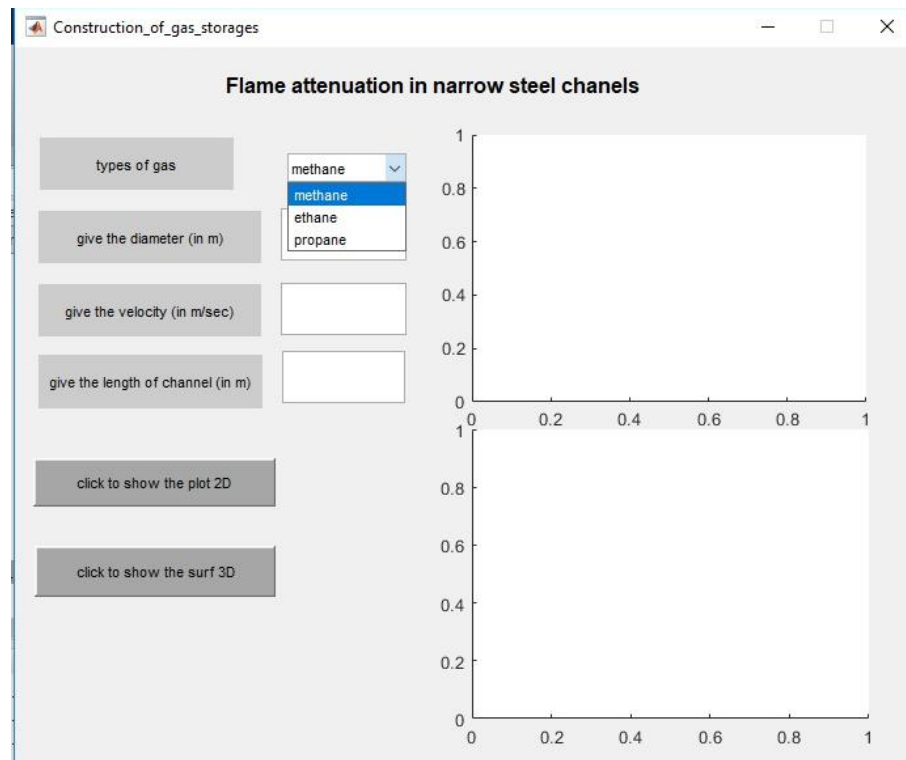
Предложена простая аналитическая модель, описывающая наблюдаемые явления. Компьютерная модель MATLAB, иллюстрирующая зависимость температуры от размера канала, была разработана для обеспечения возможности выбора диаметра канала, длины и скорости структуры подавления взрыва и горючего газа (метан, этан, пропан).

3.4 Компьютерная модель распространения концентрационного предела пламени

MATLAB - это язык для программирования, численных расчетов и визуализации результатов. Также наиболее оптимальным решением является графический интерфейс. Создан графический интерфейс с ручной установкой статических текстов, редактируемых текстов, 2 собственных графиков и интерактивных кнопок, один для графика 2D, а второй для графика 3D. Графический интерфейс пользователя GGUI требует следующих параметров:

- диаметр канала (в метрах);
- скорость газа или жидкости (в м / с);
- длина канала (в метрах).

Чтобы заставить этот интерфейс работать (рисунок 3.1), мы нажимаем кнопку и находим обратный вызов, чтобы написать код. Сначала пишем код для кнопки номер один, у нас это соответственно кнопка № 4. И вернемся к нашему уравнению, мы пишем уравнение с помощью метода Эйлера, и оно выглядит следующим образом, и устанавливается массив, в данном случае это температура, которая описывается форвардными типами. Но для решения, нам необходимы переменные, такие как диаметр, скорость, длина трубы, соответствующие константы.



Пояснения к рисунку:

type of gas - «Выберите тип газа»,

give the diameter (in m) - «Введите диаметр»,

give the velocity (in m/sec) - «Введите скорость»,

give the length of channel (in m) - «Введите длину канала»,

click to show the plot 2D - «Нажмите, чтобы визуализировать процесс 2D»

click to show the plot 3D - «Нажмите, чтобы визуализировать процесс 3D»

Рисунок 3.1 – Визуализация процесса распространения пламени в узких каналах

И как представлено в интерфейсе (рисунок 3.2), мы использовали функцию роруп меню для сортировки газов. Для тестирования выбраны метан, этан и пропан, и соответственно они имеют разные коэффициенты теплопроводности. Что касается диаметра, скорости и длины, был прописан текст для редактирования. Окончательный результат выводится в виде графика и записывается на экране интерфейса.

```

Editor - C:\Users\11111\Downloads\Construction_of_gas_storages.m
year.m x sample.m x Construction_of_gas_storages.m x +
77 function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
78 % hObject handle to pushbutton4 (see GCBO)
79 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
80 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
81 d0 = str2double(get(handles.edit1, 'String'));
82 T0 = 300;
83 QdCp = 40000;
84 contents=get(handles.popupmenu2, 'Value');
85 if contents == 1
86     lambdag=0.0888;
87 elseif contents == 2
88     lambdag=0.0715;
89 elseif contents == 3
90     lambdag=0.0626;
91 end
92 rho = 0.717;
93 Cp = 325.6;
94 theta = 70;
95 length=str2double(get(handles.edit4, 'String'));
96 dx = length/100;
97 dt = 0.1;
98 alpha = 15;
99 v = str2double(get(handles.edit3, 'String'));
100 Ub = 5;
101 x = lambdag/Cp/rho;

```

```

Editor - C:\Users\11111\Downloads\Construction_of_gas_storages.m
year.m x sample.m x Construction_of_gas_storages.m x +
96 dx = length/100;
97 dt = 0.1;
98 alpha = 15;
99 v = str2double(get(handles.edit3, 'String'));
100 Ub = 5;
101 x = lambdag/Cp/rho;
102 Tb = T0 + QdCp;
103 Nu = alpha*d0/lambdag;
104 Pe = Ub*d0/x;
105 sigma = T0 / Tb;
106 omega = 4*Nu/Pe/Pe;
107 Theta = sigma + (theta - sigma)*exp(-1*5*x);
108
109 u = zeros(5);
110 for i = 1:size(u, 2)
111     u(1,i) = 2046;
112 end
113 for j = 1:size(u,1) - 1
114     for i = 2:size(u,2) - 1
115         u(j + 1,i) = u(j, i) + dt/dx/dx*(u(j, i + 1) - 2*u(j,i) + u(j, i - 1)) + v*dt/dx*(u(j, i + 1) - u(j, i)) - omega*dt*(u(j, i) - Theta);
116     end
117 end
118 axes(handles.axes1);
119 plot(u(:,4));
120

```

Рисунок 3.2 – Графический интерфейс пользователя GNUI

Согласно рисунку 3.3 (а,б) график зависимости изменения температуры газов от длины узкого канала наглядно свидетельствует об уменьшении температуры при удалении от фронта пламени, что подтверждает физическую сущность задачи и правильность выбранной математической модели. Следующая кнопка открывает функцию доступа к новой странице как функцию для написания кода. Мы устанавливаем наши переменные и граничные условия. Используя метод развертки, визуализируется распространение тепла от стены к центру трубы.

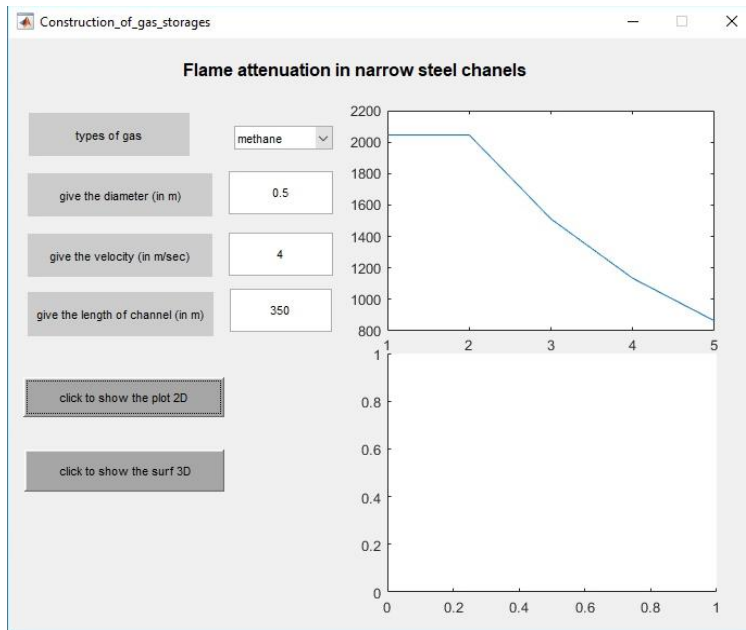


Рисунок 3.3 (а) – Графический интерфейс пользователя GNUI

```

1 function func = sample1()
2 N = 11;
3 M = 101;
4 X = 1.0;
5 Y = 10.0;
6 dx = X / (N - 1);
7 dy = Y / (M - 1);
8 dt = 1e-4;
9 % initializing temperature in our fire
10 u1 = ones(N, M) * (-10);
11 u2 = ones(N, M) * (-10);
12 u3 = ones(N, M) * (-10);
13 % initializing temperature on right border in our fire
14 for j=1:M+1
15 u1(N, j) = 25;
16 u2(N, j) = 25;
17 u3(N, j) = 25;
18 end
19 while 1
20 A = 1 / (dx * dx);
21 B = -(1 / dt + 2 / (dx * dx));
22 C = 1 / (dx * dx);
23 alpha = zeros(N);
24 beta = ones(N) * (-10);
25 % 1st loop using the definition temperature by x axis
26 for j=2:M-1
27 for i=2:N
28 D = -(u1(i, j+1) - 2 * u1(i, j) + u1(i, j-1)) / (dy * dy) + u1(i, j) / dt;
29 beta(i+1) = (D - C * beta(i)) / (B + C * alpha(i));
30 alpha(i+1) = -A / (B + C * alpha(i));
31 end
32 for i=M:-1:2
33 u2(i-1, j) = alpha(i) * u2(i, j) + beta(i);
34 end
35 end
36 alpha = zeros(N);
37 beta = ones(N) * (-10);
38 A = 1 / (dy * dy);
39 B = -(1 / dt + 2 / (dy * dy));
40 C = 1 / (dy * dy);
41 % 2nd loop using of temperature by y axis
42 for i=2:M-1
43 for j=2:M
44 D = -(u2(i+1, j) - 2 * u2(i, j) + u2(i-1, j)) / (dx * dx) + u2(i, j) / dt;
45 beta(j+1) = (D - C * beta(j)) / (B + C * alpha(j));
46 alpha(j+1) = -A / (B + C * alpha(j));
47 end
48 for j=M:-1:2
49 u3(i, j-1) = alpha(j) * u3(i, j) + beta(j);
50 end
51 end
52 maxdiff = -1;
53 % error rate
54 eps = 1e-4;
55 % This loop gets max difference between old and new layers
56 for i=1:N
57 for j=1:M+1
58 if abs(u1(i, j) - u2(i, j)) > maxdiff
59 maxdiff = abs(u1(i, j) - u2(i, j));
60 end
61 end
62 end
63 maxdiff
64 % As this func we get %boolean value
65 func = eps > maxdiff;

```

Рисунок 3.3 (б) – Графический интерфейс пользователя GNUI

```
Editor - C:\Users\11111\Downloads\sample.m
year.m x sample.m x Construction_of_gas_storages.m x +
49 - u3(i, j - 1) = alpha(j) * u3(i, j) + betta(j);
50 - end
51 - end
52 - maxdiff = -1;
53 - % error rate
54 - eps = 1e-4;
55 - % This loop gets max difference between old and new layers
56 - for i=1:N
57 -     for j=1:M + 1
58 -         if abs(u1(i, j) - u2(i, j)) > maxdiff
59 -             maxdiff = abs(u1(i, j) - u2(i, j));
60 -         end
61 -     end
62 - end
63 - maxdiff
64 - % As the func we get boolean value
65 - func = eps > maxdiff;
66 - % In the end of every iteration - definition of new layer as old, and continuation till difference between them become less than epsilon
67 - u1 = u3;
68 - surf(u3)
69 - end
70 - func = u3;
71 - u3((N - 1) / 2, (M - 1) / 2)
72 - end
73
```

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в

```
Editor - C:\Users\11111\Downloads\Construction_of_gas_storages.m*
year.m x sample.m x Construction_of_gas_storages.m* x +
202
203
204 % --- Executes during object creation, after setting all properties.
205 function popupmenu2 CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
206 % hObject handle to popupmenu2 (see GCBO)
207 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
208 % handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
209
210 % Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
211 % See ISPC and COMPUTER.
212 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
213     set(hObject,'BackgroundColor','white');
214 end
215
216
217 % --- Executes on button press in pushbutton5.
218 function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
219 % hObject handle to pushbutton5 (see GCBO)
220 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
221 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
222 axes(handles.axes2);
223 func = sample();
224 (surf(func));
225 colorbar;
226
```

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в

Рисунок 3.4 – Графический интерфейс пользователя GNUI

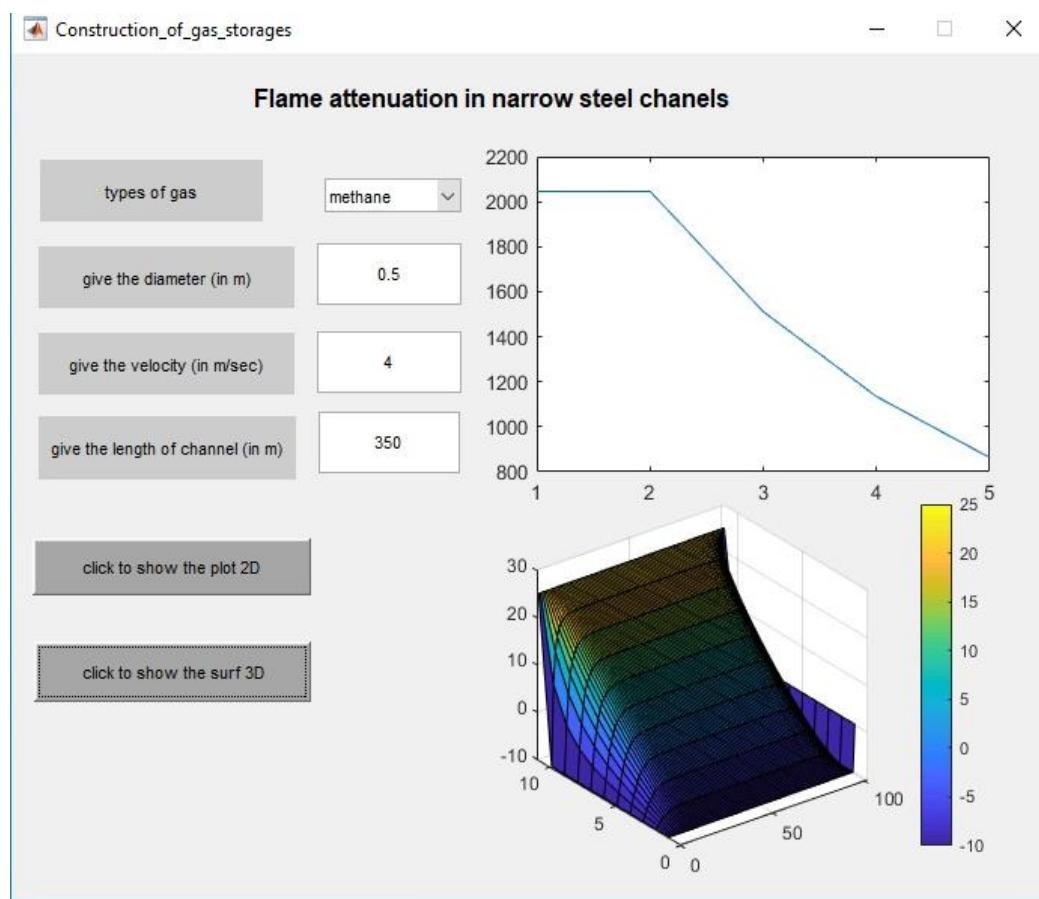


Рисунок 3.5 – Интерфейс входных и выходных параметров

Распространение и ослабление пламени могут быть рассмотрены для различных сред и каналов, однако это было рассмотрено для узких каналов. Как и в классической формулировке, используются приближения о теплопроводности газа, постоянной плотности и теплоемкости. Была решена задача Коши для уравнения в частных производных второго порядка, которое описывает распределение температуры в данной области и ее изменение во времени. Численная реализация процесса теплопередачи была реализована в MATLAB, а метод развертки был использован для построения трехмерного графика. Кроме того, интерфейс входных и выходных параметров был создан и протестирован. Таким образом, для сгорания и гашения пламени в плотном канале была создана математическая модель, и характеристики газа или жидкости в герметичном канале были изучены на основе температуры горения и скорости распространения пламени в канале для данной комбинации огнетушащих порошков.

Расчет нижнего концентрационного предела распространения пламени аэрозвесей твердых огнетушащих порошков.

Величина нижнего концентрационного предела распространения пламени аэрозвесей НКПРП (г/м³) может быть вычислена по формуле

$$\text{НКПРП} = \frac{8 \cdot 10^5}{-\Delta H_{\text{ср}}^0}, \quad (3.1)$$

где $-\Delta H_{\text{ст}}^0$ - стандартная теплота сгорания вещества, кДж/кг. Относительная средняя квадратическая погрешность расчета по формуле (3.1) составляет 15%.

Температурные пределы распространения пламени - если известна зависимость давления насыщенных паров жидкости от температуры, то величина нижнего или верхнего температурного предела распространения пламени t_n (°C) может быть вычислена с использованием соответствующего значения концентрационного предела распространения пламени φ_n по формуле:

$$t_n = \frac{B}{A - \lg(\varphi_n * P_0/100)} - C_A, \quad (3.2)$$

где A , B , C_A - константы уравнения Антуана, выражающего зависимость давления насыщенных паров жидкостей

Таким образом, была предложена математическо-компьютерная модель для расчета в среде MATLAB, что иллюстрируется следующими принтскринами интерфейса и кодом программы.

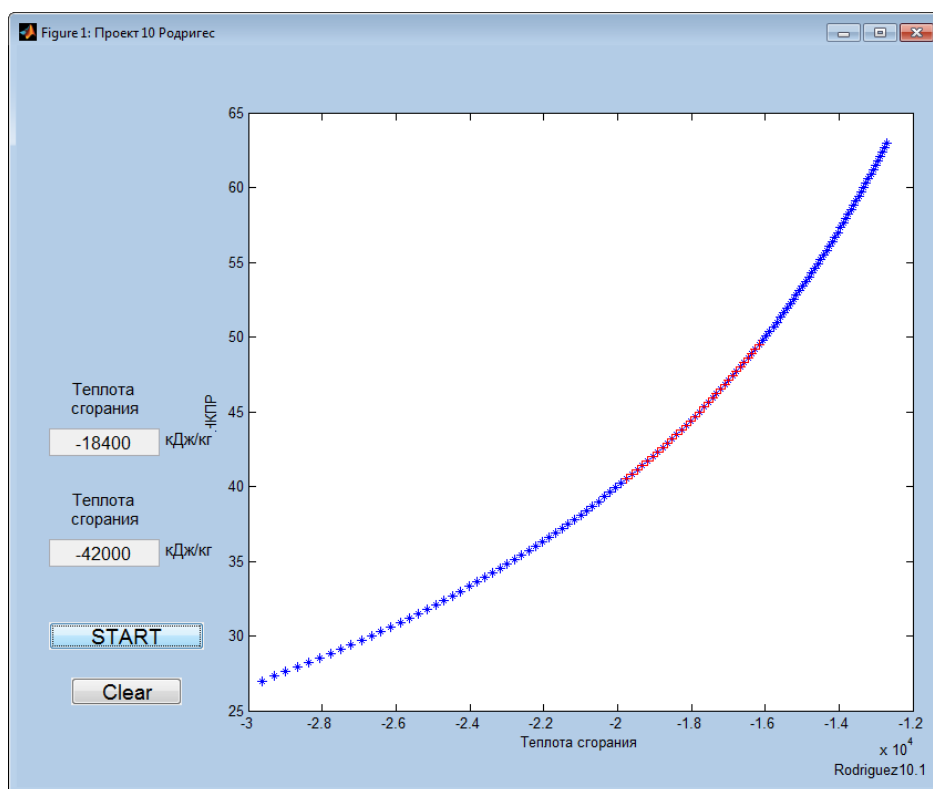


Рисунок 3.6 – Принтскрин интерфейса и код программы

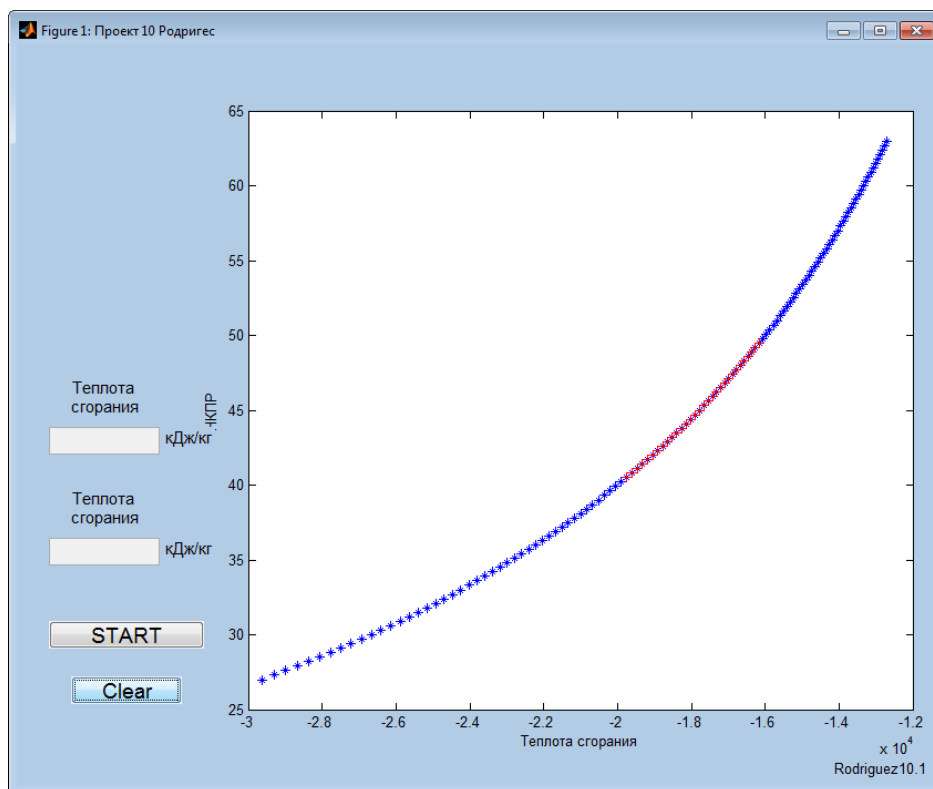


Рисунок 3.7 – Принтскрин интерфейса и код программы

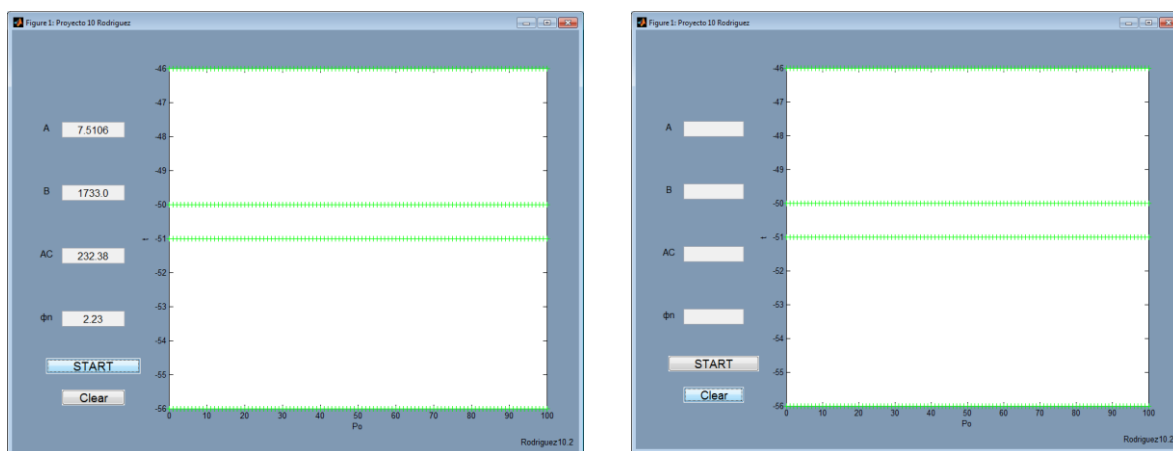


Рисунок 3.8 – Принтскрин интерфейса и код программы

Код

1) `function varargout=pracenglish(varargin)`

```
fig(1)=figure('name','Проект 10 Родригес','menubar','none','position',[240 50 830
670],'color',[0.7 0.8 0.9])
axe(1)=axes('parent',fig(1),'units','pixels','position',[210 70 600 540],'xlim',[-50000 -
15000])
txbx(1)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','кДж/кг','position',[130 500 50
25],'background',[0.7 0.8 0.9],'fontsize',11)
```

```

txbx(2)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','кДж/кг','position',[130 200 50
25],'background',[0.7 0.8 0.9],'fontsize',11)
txbx(3)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','Теплота сгорания','position',[30
550 100 40],'background',[0.7 0.8 0.9],'fontsize',11)
txbx(4)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','Rodriguez10.1','position',[730 0
100 25],'background',[0.7 0.8 0.9],'fontsize',10)
txbx(5)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','Теплота сгорания','position',[30
250 100 40],'background',[0.7 0.8 0.9],'fontsize',11)
edit2=uicontrol('parent',fig(1),'style','edit','position',[30 500 100 25],'fontsize',12)
edit4=uicontrol('parent',fig(1),'style','edit','position',[30 200 100 25],'fontsize',12)
pushbutton2=uicontrol('parent',fig(1),'style','pushbutton','string','START','position',[3
0 125 140 25],'callback',@hola1,'fontsize',14)
pushbutton2=uicontrol('parent',fig(1),'style','pushbutton','string','Clear','position',[50
75 100 25],'callback',@hola2,'fontsize',14)

```

```

function hola1(src,evnt)
    T1=get(edit2,'string');
    H=(T1.*0.4);
    m=T1-H;
    M=T1+H;
    for Y=m:0.3:M;
        K=800000/(-Y);
        plot(K,Y,'*b');
        xlabel('Теплота сгорания')
        ylabel('НКПР')
        hold on
    end
end

```

```

T2=get(edit4,'string');
J=(T2.*0.1);
n=T2-J;
N=T2+J;
for U=n:0.3:N;
    L=800000/(-U);
    plot(L,U,'+r');
    hold on
end

```

```

end
end
function hola2(src,evnt)
    set(edit2,'string','');
    set(edit4,'string','');
end
end
end

```

2) function varargout=pracespanol(varargin)

```
fig(1)=figure('name','Proyecto 10 Rodriguez','menubar','none','position',[200 50 900 670],'color',[0.5 0.6 0.7])
axe(1)=axes('parent',fig(1),'units','pixels','position',[250 70 600 540])
txbx(1)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','A','position',[30 500 50 25],'background',[0.5 0.6 0.7],'fontsize',11)
txbx(2)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','B','position',[30 400 50 25],'background',[0.5 0.6 0.7],'fontsize',11)
txbx(3)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','AC','position',[30 300 50 25],'background',[0.5 0.6 0.7],'fontsize',11)
txbx(4)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','ϕn','position',[30 200 50 25],'background',[0.5 0.6 0.7],'fontsize',11)
txbx(5)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','Rodriguez10.2','position',[800 0 100 25],'background',[0.5 0.6 0.7],'fontsize',10)
edit1=uicontrol('parent',fig(1),'style','edit','position',[80 500 100 25],'fontsize',12)
edit2=uicontrol('parent',fig(1),'style','edit','position',[80 400 100 25],'fontsize',12)
edit3=uicontrol('parent',fig(1),'style','edit','position',[80 300 100 25],'fontsize',12)
edit4=uicontrol('parent',fig(1),'style','edit','position',[80 200 100 25],'fontsize',12)
pushbutton2=uicontrol('parent',fig(1),'style','pushbutton','string','START','position',[5 5 125 150 25],'callback',@hola1,'fontsize',14)
pushbutton2=uicontrol('parent',fig(1),'style','pushbutton','string','Clear','position',[80 75 100 25],'callback',@hola2,'fontsize',14)
```

```
function hola1(src,evnt)
    A=get(edit1,'string');
    B=get(edit2,'string');
    CA=get(edit3,'string');
    F=get(edit4,'string')
    for R=0:100;
        t=B/(A+str2double(log10(F.*(R/100))))-CA;
        plot(R,t,'+g');
        xlabel('Po');
        ylabel('t');
        hold on
    end
end
```

```
end
function hola2(src,evnt)
    set(edit1,'string','');
    set(edit2,'string','');
    set(edit3,'string','');
    set(edit4,'string','');
end
end
```

В результате обработки экспериментальных смесей отходов фосфогипса и электро-термофосфорного шлака, а также просроченных порошков П-2АП в среде MATLAB, были разработаны математические компьютерные модели оптимальных составов пожаро-взрывоподавляющих составов (таблицы 3.1, 3.2).

Таблица 3.1 - Математическая и компьютерная модель в среде MATLAB пожаро-взрывоподавляющего порошка на основе фосфогипса + просроченный порошок П-2АП + отощающие добавки

№ эксперимента	Факторы в натуральных величинах				Результаты эксперимента		
	Фосфогипс мг., Z_1	Пр.пор. П-2АП, Z_2	Песок SiO_2 , мг., Z_3	Супесь, мг., Z_4	Число пл.смеси Y_1	Кэф. комкуем. Y_2	Показ. огн. способ. Y_3
1	30	70	12	12	2,1	0,23	0,65
2	29	71	12	12	1,8	0,19	0,57
3	27	73	12	0	2,3	0,20	0,29
4	35	65	12	0	2,4	0,22	0,75
5	25	75	0	12	3,2	0,29	0,48
6	26	74	0	12	2,7	0,31	0,36
7	27	73	0	0	2,9	0,4	0,21
8	29	71	0	0	3,7	0,47	0,59

Прим. – Пр. пор. – просроченный порошок; число пл. смеси – пластичность смеси; Кэф.комкуем. – коэффициент комкуемости; Показ.огн. способ. – показатель огнетушащей способности

$$Y_{ПВП} = 0,487 + 0,13X_1 - 0,08X_2 + 0,08X_3 + 0,13X_2 \cdot X_4, \quad (3.3)$$

где ПВП – пожаро-взрывоподавляющий порошок.

Таблица 3.2 - Математическая и компьютерная модель в среде MATLAB пожаро-взрывоподавляющего порошка на основе электротермофосфорного шлака (ЭТФШ) + просроченный порошок П-2АП

№ эксперимента	Факторы в натуральных величинах		Результаты эксперимента показатель огнетушащей способности Y_3
	ЭТФШ мг., Z_1	Просроченный порошок П-2АП, Z_2	
1	53	47	0,65
2	54	46	0,57
3	57	43	0,29
4	55	45	0,75
5	58	42	0,48
6	57	43	0,36
7	56	44	0,21
8	62	38	0,59

$$Y_{ЭТФШ} = 0,612 - 0,105X_1 + 0,055X_2 + 0,104X_1 \cdot X_2 \quad (3.4)$$

Выводы по 3 разделу:

1) Созданный в MATLAB графический интерфейс GGUI позволяет рассчитывать математическую модель горения и затухания пламени в узком канале, были изучены данных комбинаций огнетушащих порошков с воспламеняющимися газами в узком канале в зависимости от температуры горения и скорости распространения пламени. Для моделирования привлечены характеристики различных воспламеняющих смесей, входными физическими параметрами узких каналов и визуализацией графических представлений выходных данных (цветовое представление изменения теплового фронта). Для описания входных и выходных параметров использованы целочисленные типы данных MATLAB и встроенные функции. Компьютерная модель основана на математической модели нестационарной задачи Коши для дифференциального уравнения теплопроводности в частных производных. Пакет с названием «TED в каналах» (Термоэластодинамика в каналах) позволяет повторно использовать имена классов и функций в разных пакетах.

2) Разработана математическо-компьютерная модель в среде MATLAB для расчета распространения концентрационных пределов распространения пламени в средах. Рассчитываются верхний и нижний концентрационные пределы распространения пламени аэрозвесей различных комбинаций огнетушащих порошков согласно модели Зельдовича (уравнения Антуана) в герметичном канале. Для расчета взяты физические характеристики смесей (теплопроводность смеси, постоянная плотность, теплоемкость), приложен исходный код программы. Графическое представление результатов вычислений позволяет определить оптимальное сочетание НКПРП и ВКПРП смеси.

3) Разработана математическая и компьютерная модель в среде MATLAB пожаро-взрывоподавляющего порошка на основе фосфогипса + просроченный порошок П-2АП + отощающие добавки, с выявлением числа пластичности и свойства камкуемости полученного пожаро-взрывоподавляющего порошка.

4) Разработана математическая и компьютерная модель в среде MATLAB пожаро-взрывоподавляющего порошка на основе электротермофосфорного шлака (ЭТФС) + просроченный порошок П-2АП.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОБЪЕМНОМ ТУШЕНИИ И ПОДАВЛЕНИИ ВЗРЫВОВ ГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

4.1 Определение огнетушащей эффективности пылевидных промышленных отходов

На сегодняшний день прекращен выпуск химически-пенных огнетушителей; основной упор делается на разработку эффективных порошковых пламеподавляющих составов. Применяемые стандартные огнетушащие составы очень дороги, поэтому актуальным является изучение пылевидных отходов промышленности в связи с их дешевизной, малыми расходами на исходную доработку и возможностью их утилизации.

Пожаро-взрывоподавляющие порошки обладают следующими достоинствами:

- высокая пламегасящая эффективность;
- возможность применения и хранения в диапазоне температур от – 50 до + 60°С;
- экологическая эффективность;
- отсутствие порчи материалов;
- универсальное действие (в том числе, тушение электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В; тушение даже таких материалов, которые невозможно потушить водой или иными средствами).

Но наряду с этим, порошковые составы имеют и недостатки, основным из которых является их склонность к слеживанию и окомкованию. Это приводит к потере способности порошков транспортироваться по трубопроводам и образовывать пламегасящее облако.

Еще на стадии изготовления порошок может поглотить до 5-10 % влаги из влажного воздуха цеха, если не защитить его от влагопоглощения специальными добавками. Порошок, затаренный в емкость огнетушителя, подвергается тряске и вибрации при транспортировке или при эксплуатации на транспорте и оборудовании. В этих условиях порошок должен сохранить текучесть из емкости (хороший выброс). Для выполнения этого требования важное значение имеют не только химический состав порошка, т.е. спецдобавки к основному веществу, но и технология его изготовления, термо- и виброустойчивость порошка, его антислеживаемость и т.д.

Пожаро-взрывоподавляющую эффективность пылевидных отходов определяли на экспериментальной установке, которая позволяет определить объемную концентрацию в кг/м³. Опыты проводились следующим образом: навеску пыли фракции <0,05 мм взвешивали на электронных весах с точностью до четвертого знака, и помещали в распылитель. После этого, в смесителе, в различном соотношении, готовили смеси пропан – бутана с воздухом. Далее, через промежуточный баллон, с помощью электромагнитного клапана, импульсом воздуха взвихрили навеску и увлекали газопылевоздушную смесь в предварительно вакуумированную реакционную трубку. Затем, с помощью высоковольтного индуктора, электрическим разрядом напряжением в 1000 В

поджигали смеси.

Взрыв с распространением пламени до верха реакционного сосуда, его отсутствие или всплеск пламени наблюдали визуально. Результаты исследований фиксировали в журнале наблюдений (таблица 4.1).

Взрыву соответствует не заштрихованная точка, его отсутствию - заштрихованная точка. Следующие мелкодисперсные вещества были выбраны в качестве объектов исследования:

- глина формовки;
- клинкер;
- блок фильтров;
- электротермофорсфорный шлак;
- фосфогипс.

В таблице 4.1. приведены результаты экспериментальных исследований по принятой методике.

Таблица 4.1 - Результаты экспериментальных исследований

Наименование вещества	Влажность, %	t, °C	p, мм.рт.ст.	% газа	Вес навески	Результат опыта
1	2	3	4	5	6	7
Глина формовки	78	20	715	4	600	○
					700	○
					800	○
					1000	○
					1100	○
				7	1000	○
					2000	○
					3000	○
				5	600	○
					900	○
					1500	○
					3000	○
				Клинкер	72	22
2000	●					
5	2000	○				
	4000	◼				
	4500	●				
7	3000	○				
	4000	◼				
	4200	●				
9	2000	●				
	1500	●				
	1000	○				

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7
Блок фильтров	70	25	715	3	2000	●
					1000	○
					1500	●
					1300	●
				6	3000	○
					3500	○
					1100	●
				9	1200	○
					1700	○
					2000	○
					2500	☐
					3000	●
				9	500	☐
					1000	☐
					1100	●
Электротермофорсфорный шлак	75	27	729	3	1500	○
					2000	●
				7	2000	○
					4000	☐
					4500	●
				8	3000	○
					4000	☐
					4200	●
				9	2000	●
					1500	●
1000	○					
Фосфогипс	80	25	727	3	2000	●
					1000	○
					1500	●
					1300	●
				5	3000	○
					3500	○
					1100	●
				8	1200	○
					1700	○
					2000	○
					2500	☐
					3000	●
				9	500	☐
					1000	☐
1100	●					
Примечание - ○ – взрыв, ● – отсутствие взрыва						

На рисунках 4.1 – 4.6. приведены результаты экспериментальных исследований по принятой методике определения взрывоподавляющей эффективности пылевидных веществ.

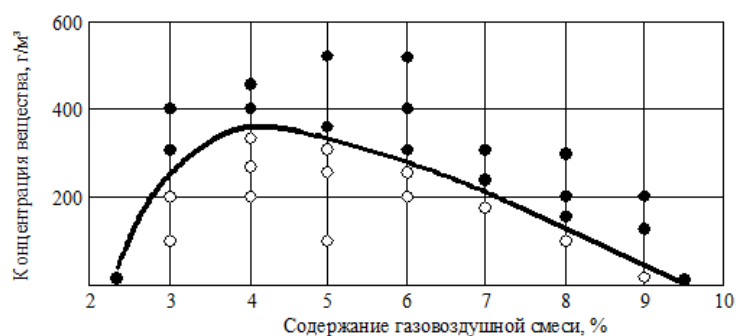


Рисунок 4.1 – Влияние аммофоса на взрываемость газовой смеси

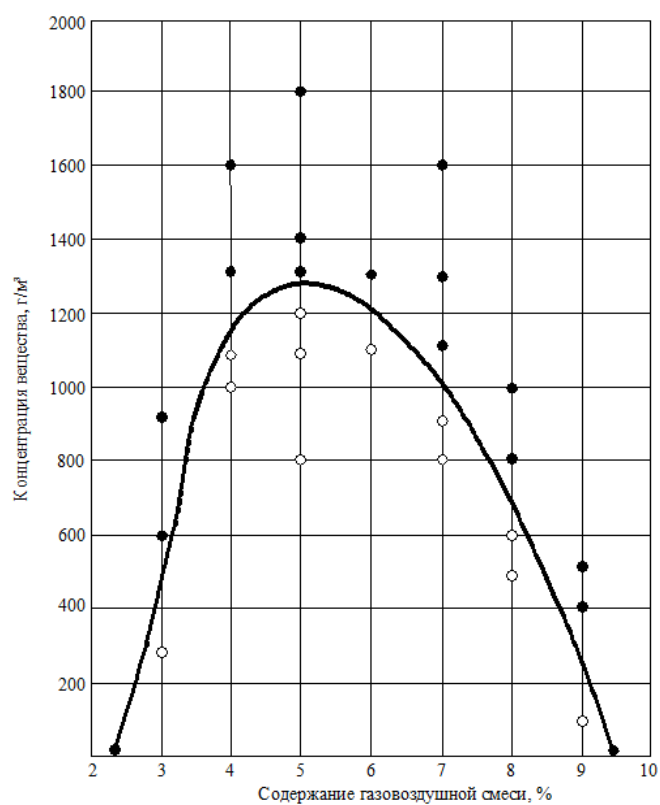


Рисунок 4.2 – Влияние фосфогипса на взрываемость газовой смеси

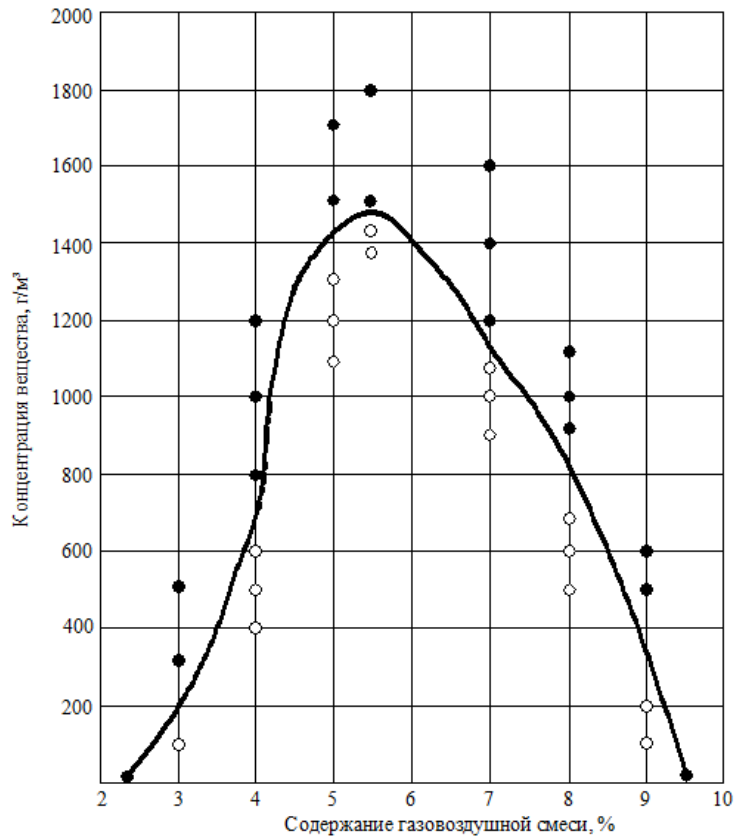


Рисунок 4.3 – Влияние электротермофосфорного шлака на взрываемость газовой смеси

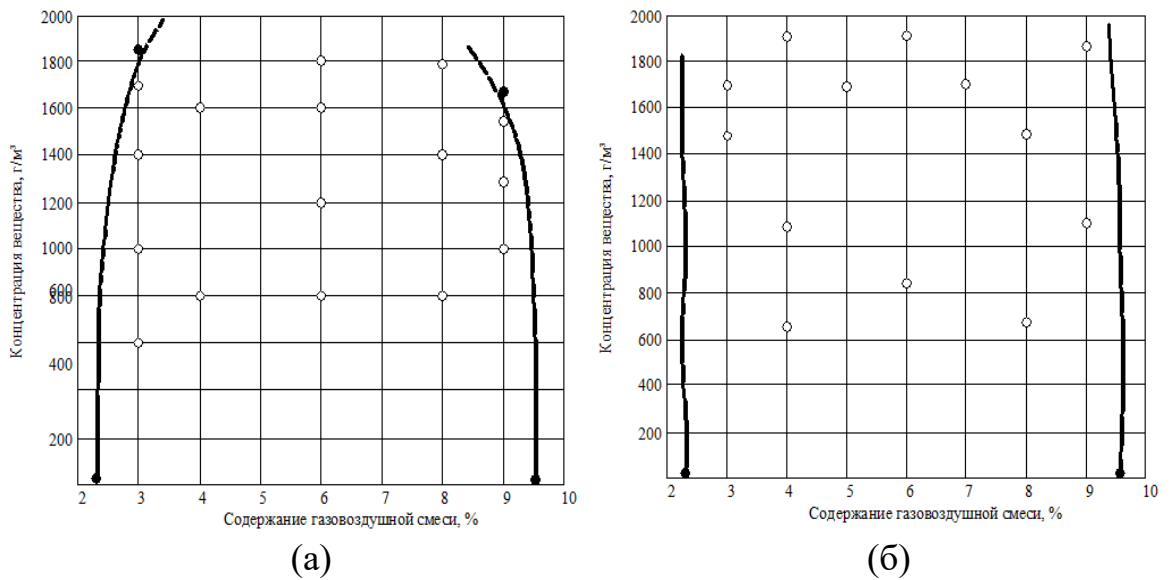
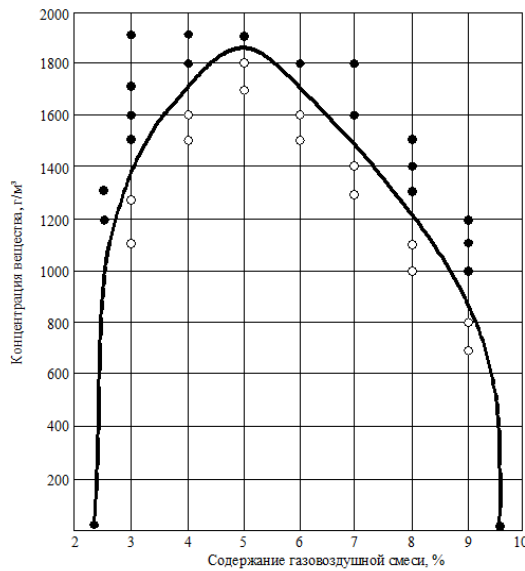
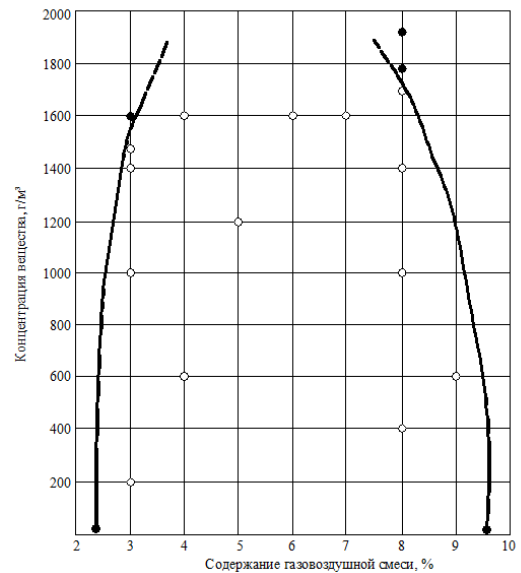


Рисунок 4.4 – Влияние клинкера (а) и глины формовки (б) на взрываемость газовой смеси

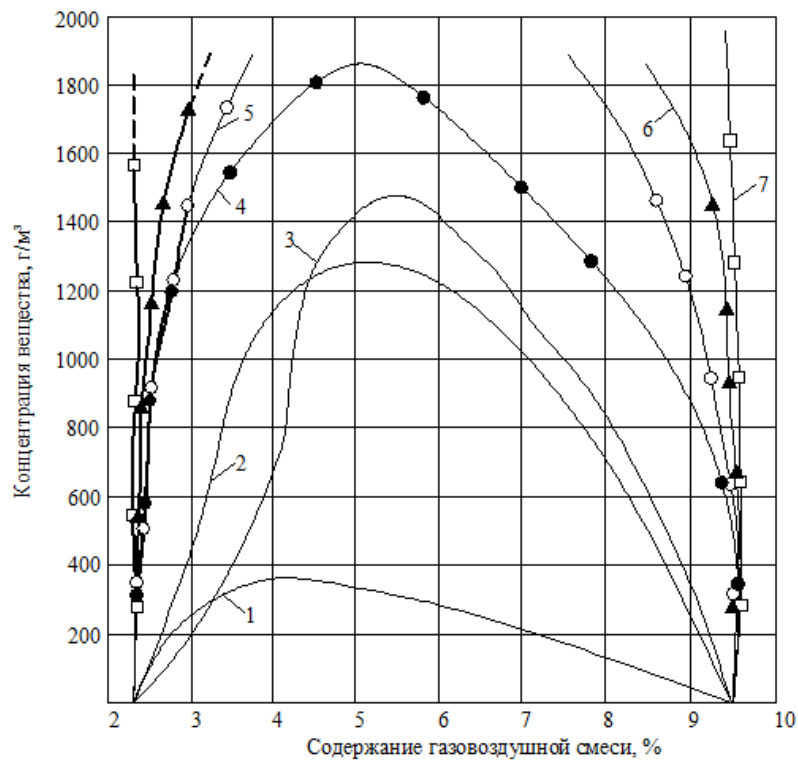


(а)



(б)

Рисунок 4.5 – Влияние блока фильтров (а) и шнека (б) на взрываемость газовой смеси



- 1 – Стандартный порошок П-2АП, содержащий аммофос;
- 2 – фосфогипс; 3 – электротермофосфорный шлак (ЭТФС);
- 4 – блока фильтров; 5 – шнека;
- 6 – клинкера;
- 7 – глины формовки травильных растворов

Рисунок 4.6 – Влияние пылевидных добавок на взрываемость газовой смеси

На основе результатов более чем ста опытов получен вывод, что эффективность стандартного порошка намного выше, чем у остальных исследуемых проб. Его огнетушащая концентрация составляет – 350 г/м³, в то время как у других концентраций порошков от 1280 г/м³ до 1470 г/м³. У остальных проб при навесках исследуемых веществ до 2000 г/м³, не удалось создать огнетушащую концентрацию на наиболее взрывоопасных составах смеси, но по динамике полученных кривых прослеживается ряд эффективности.

Полученные данные показывают, что приемлемыми для разработки взрывоподавляющих составов являются фосфогипс и ЭТФШ, со взрывоподавляющей способностью соответственно 1,28 и 1,47 кг/м³. Экспериментальные данные коррелируются с расчетными данными, где фосфогипс с ΔH^0_{298} около 140 кДж/моль, эффективнее ЭТФШ с ΔH^0_{298} равной 108 кДж/моль. Однако их эффективность в 3,7-4,2 раза ниже, чем у аммофоса.

С целью повышения их взрывоподавляющей способности было решено смешивать их с просроченными типовыми порошками [101, 102].

4.2 Исследование огнетушащей способности просроченных стандартных пламегасящих порошков

По заявке предприятий переработки порошкообразных субстанций были проведены и проводятся по настоящее время испытания некондиционных (просроченных) порошков марок П-2АП, П-4АП, ПСБ-3, П-2ГС различных годов выпуска. Была определена задача исследования в установлении сохранности эксплуатационных свойств порошков, и в первую очередь их огнетушащей способности [103, 104]. Из всех исследованных просроченных порошков, лучшие технические и эксплуатационные требования сохранились у порошков на основе добавления в их составы проб фосфогипса и ЭТФШ. Согласно техническим условиям к порошкам предъявляются следующие требования:

- порошки должны иметь соответствующую характеристику (свойства);
- порошки марок П-2АП и П-4АП согласно ТУ 113-08-597-86 должны иметь состав, приведенный в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Состав огнетушащих порошков марок П-2АП, П-4АП

Наименование компонента, %	Марка порошка	
	П-2АП	П-4АП
Аммофос из апатитового концентрата марки А по ГОСТ 18918-85	88,2-91,5	92-94,5
Порошок тонкозернистый шамотно – каолиновый из электрофильтров вращающихся печей по ТУ-14-8-358-80	7-10	4-6
Аэросил марки АМ-1-300 или АМ-1-175 по ТУ 6-18-185-79	1,5-1,8 2,2-2,5	1,5-2,0 -

Огнетушащий порошок, прошедший испытания по пунктам 2.1.2 и 2.2 до тех пор, пока при проведении очередных ежегодных испытаний не выявится изменение огнетушащей способности и текучести.

Основные результаты исследований просроченных порошков [105,106], приведенные в таблице 4.3, показали, что, несмотря на истечение срока годности, во всех порошках взрывоподавляющая способность сохранилась.

Таблица 4.3 – Экспериментальные данные взрывоподавляющей способности просроченных порошков по методу флегматизации

Марка порошка, просроченные годы	Основной компонент огнетушащих порошков	Пиковая взрывоподавляющая способность, $\Phi=m/v, \text{кг/м}^3$
ПСБ-3 16 лет	Бикарбонат натрия 87-90% с добавлением талька и стеаратов металлов (железа, алюминия, кальция, цинка)	0,58
П-2АП 12 лет	Аммофос 88,2-91,5% с добавлением шамотно-коалинового порошка и аэросила марки АМ	0,43
П-2АП 14 лет	Аммофос 88,2-91,5% с добавлением шамотно-коалинового порошка и аэросила марки АМ	0,45
П-2ГС 11 лет	Хлориды щелочных металлов	0,52

В порошке П-2АП, объёмная пожаро-взрывоподавляющая способность $\Phi=0,1 \text{ кг/м}^3$, в порошке ПСБ-3 $\Phi=0,7-0,8 \text{ кг/м}^3$, в порошке на основе аммофоса марки Пирант $\Phi=0,8 \text{ кг/м}^3$

Изучены свойства 4-х видов порошков с различными сроками запредельного хранения (таблица 4.4). Их текучесть и сыпучесть, исследованные по известной методике оказались хуже нормативной, имелись комочки различной прочности.

Таблица 4.4 – Экспериментальные показатели качества просроченных огнетушащих порошков

Марка порошка, просроченные годы	внешний вид	Текучесть кг/с	Сыпучесть при пересыпании рукой	Разрушаемость комков при падении с высоты 20 см	ТУ 113-08-597-86 Гранулометрический состав частиц, %		
					Частиц крупнее 0,2 мм, не более 2	Частиц крупнее 0,1 мм	Частиц мельче 0,05 мм, не менее 70
1	2	3	4	5	6	7	8
	Тонкодисперсный порошок белого цвета с комками до 100 мм	0,34	Не слипается, струится	Комки разрушаются в пыль	1,8-2,0	Не контролируется	60-68

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8
П-2АП 12 лет	Тонкодисперсный порошок белого цвета с комками до 100 мм	0,30	Не слипается, струится	Комки разрушаются в пыль	1,8-2,0	Не контролируется	68-70
ПСБ-3 16 лет	Дисперсный порошок серого цвета с комками до 100-150 мм	0,40	Не струится	Комки не разрушаются, крошатся на более мелкие	2,5-2,8	10-20	60-65
П-2ГС 11 лет	Тонкодисперсный порошок бежевого цвета без комков плотный	0,36	Не струится	-	2,2-2,5	5-10	60-68

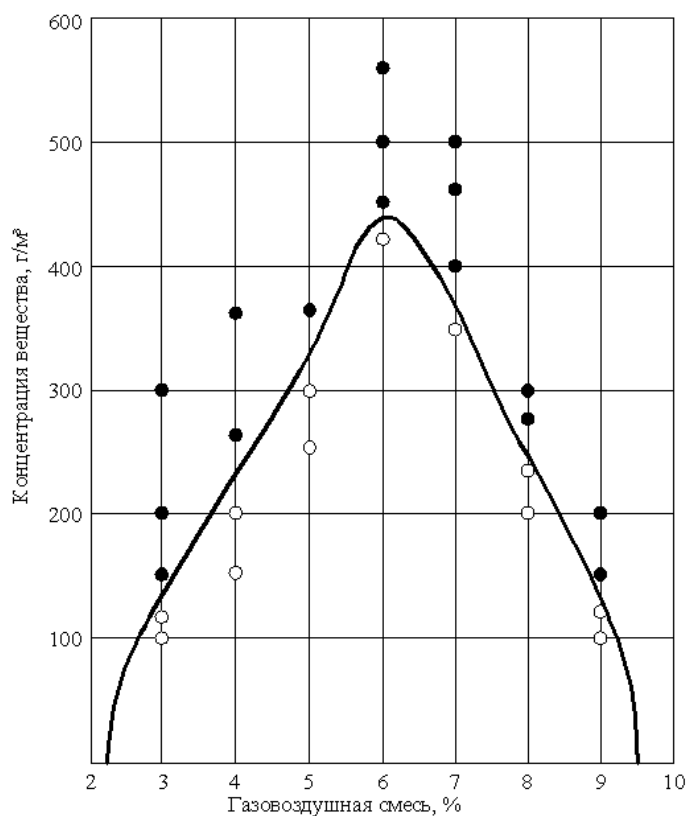


Рисунок 4.7 – Огнетушательная способность просроченного порошка П-2АП (12 лет)

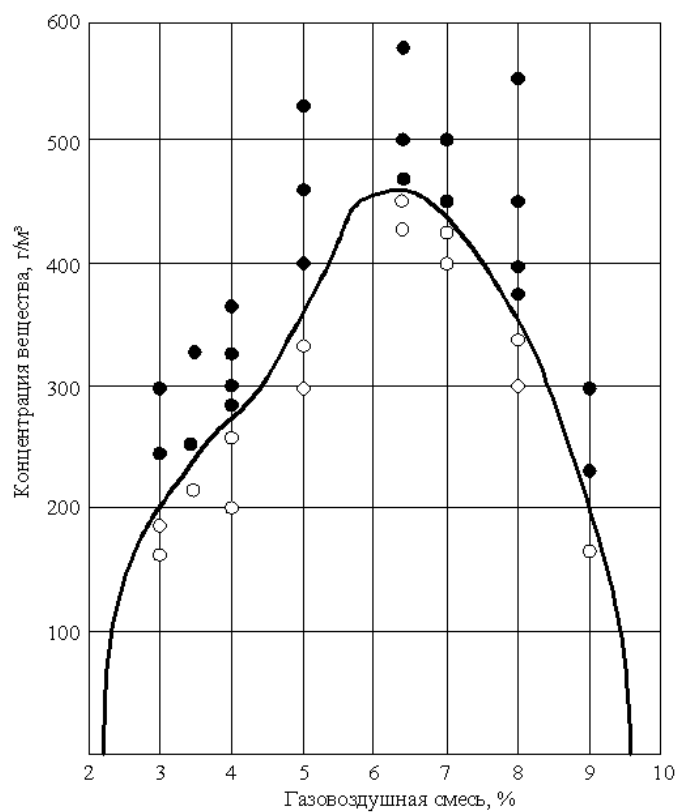


Рисунок 4.8 – Огнетушащая способность просроченного порошка П-2АП (14 лет)

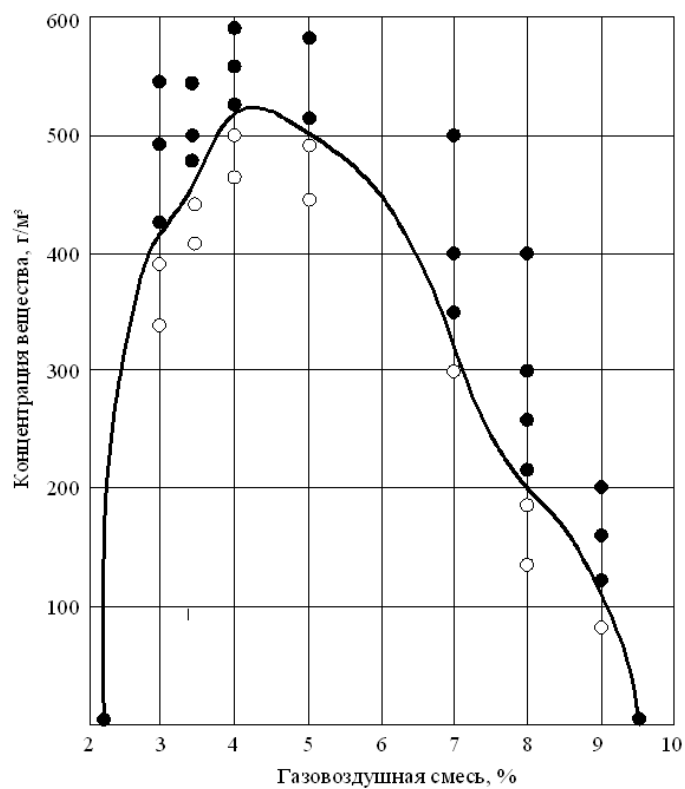


Рисунок – 4.9 – Огнетушащая способность просроченного порошка П-2ГС (11 лет)

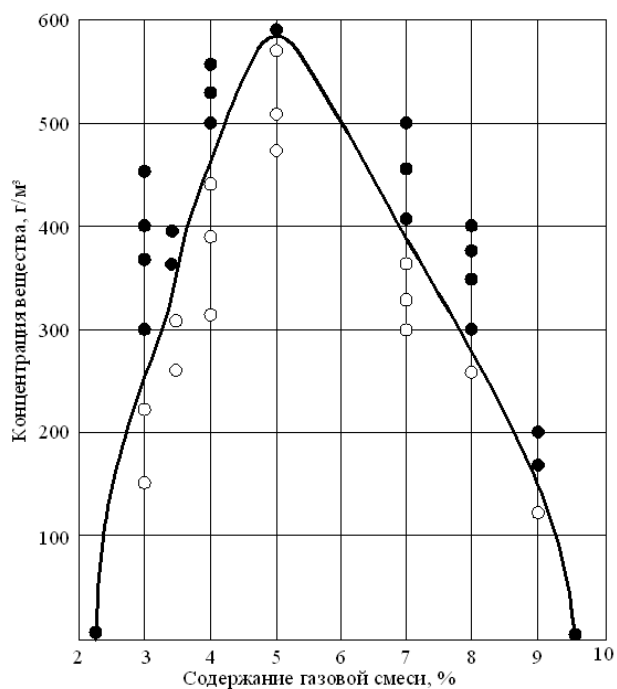
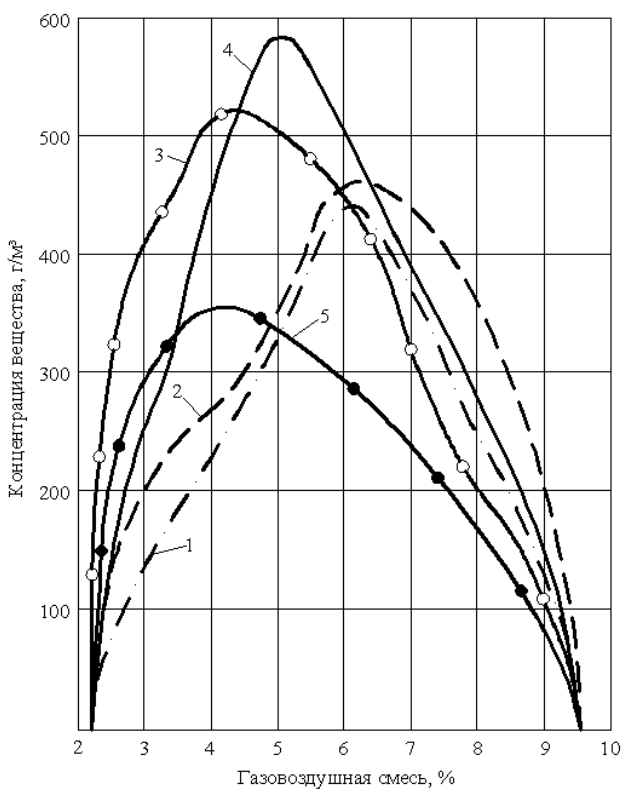


Рисунок – 4.10 – Огнетушащая способность просроченного порошка ПСБ-3 (16 лет)



1 – П-2АП (12 лет), 2 – П-2АП (14 лет), 3 – П-2ГС (11 лет), 4 – ПСБ-3 (16 лет),
5 – стандартный П-2АП

Рисунок 4.11– Взрывоподавляющая способность просроченных порошков

На рисунках 4.7 – 4.11 представлены исследования взрывоподавляющей способности просроченных порошков.

Исследованная пламегасящая способность предварительно измельченных просроченных порошков составила максимально 0,43-0,58 кг/м³, против 0,35 кг/м³, у годного аммофоса, и находится в интервале, оговоренном нормативными документами, так согласно техническим условиям пламегасящая (объемная) способность стандартных порошков находится в пределах 0,1-0,8 кг/м³.

В итоге, из опытов видно, что просроченные порошки не утратили своей огнетушащей способности, и могут применяться в качестве огнетушащих средств. При их использовании можно смешивать кондиционный и просроченный порошок в различных соотношениях, причем просроченный огнетушащий порошок перед использованием нуждается в измельчении, что происходит при перемешивании компонентов огнетушащего состава.

Выводы по разделу 4:

1) Экспериментально установлено возрастание огнетушащей способности порошков с добавлением компонентов отходов различных производств.

2) Теоретически определенные значения эндотермических эффектов для реакций разложения базовых компонентов огнетушащих порошков коррелируются с относительной огнетушащей способностью.

3) Показана согласованность относительной огнетушащей эффективности порошков с рассчитанными по термограммам величинами эндоэффектов.

4) Установлено незначительное снижение огнетушащей способности просроченных порошков. Предложено их повторное использование после дополнительного измельчения и отсева, в том числе при разработке комплексных составов с дисперсными отходами.

5 РАЗРАБОТКА НОВЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

5.1 Исследование эксплуатационных свойств разработанных порошков

Разрабатывая составы огнетушащих порошков подразумевается решить две основные задачи, которые заключаются в подборе химического и гранулометрического состава порошка, что обеспечивает максимально высокую пожаро-взрывоподавляющую способность, согласно классу пожара. Под системой обеспечения пожарной безопасности объекта понимается комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на предотвращение пожара и снижение ущерба от него на объекте, т.е. необходимо максимально снизить возможность возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и материальных ценностей опасных факторов пожара. В этой связи применяется как огнезащитных составов (в том числе антипиренов и огнезащитных красок) и строительных материалов (облицовок) для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций, так и применение первичных средств пожаротушения, таких, как, в частности, пожаротушащие порошки. Помимо прочего, такие порошки входят и в состав для тушения пожаров различных классов в составах порошковых огнетушителей, которые должны иметь соответствующие заряды: для класса А - порошок ABC (E); для классов В, С и (E) - ВС (E) или ABC (E) и класса D – D.

Для эффективного пожаротушения необходимо определить температурные пределы распространения пламени (воспламенения) – температуры вещества, при которых его насыщенный пар образует в окислительной среде концентрации, равные соответственно нижнему (нижний температурный предел) и верхнему (верхний температурный предел) концентрационным пределам распространения пламени. При тушении пламени сильный нагрев порошкового состава приводит к его плавлению и переходу твердого вещества в жидкое состояние, а затем при испарении – в газ. Плавление твердых веществ и кипение жидкостей происходит при различных температурах, что объясняется различными энергиями связей между атомами и молекулами веществ. Указанные физические свойства веществ учитываются при разработке, выборе и оценке эффективности огнетушащих средств и материалов. Также известен порошковый состав для тушения пожаров различных горючих материалов. Данный состав включает гидрофобизирующую кремнийорганическую жидкость, добавку высокодисперсного диоксида кремния и основной компонент, в качестве которого используется сильвинит, аммофос, а в качестве высокодисперсного диоксида кремния – белая сажа с удельной поверхностью 100 м²/г, а также дополнительно алюмосиликат. К недостаткам этого порошка относятся многокомпонентность активной основы, высокая себестоимость и сложная технология его получения [107-108].

Известна активная основа для огнетушащих порошков многоцелевого

назначения, содержащая моноаммонийфосфат, сульфат аммония и смесь кремнийорганических веществ. Недостатком данного изобретения является многокомпонентность активной основы и высокая стоимость подготовки ее к эксплуатации.

Известны огнетушащие порошковые компоненты пылевидных отходов производства обожженного доломита и извести [109]. Как показали эксперименты, к значительному улучшению эксплуатационных качеств приводит обработка молотого аммофоса раствором $FeCl_3$ с последующей сушкой (при этом на поверхности образуются нерастворимые фосфаты железа). Исследования по применению осадка кислых стоков, содержащих оксиды, хлорное и хлористое железо и обладающих эффектом подавления горения и взрыва аэрозвесей, к сожалению, не дали ожидаемых результатов.

На сегодняшний день имеется довольно широкий ассортимент порошков, однако в этой области продолжается интенсивная работа по созданию новых огнетушащих и взрывоподавляющих составов [110-126]. Применяемые стандартные составы очень дороги; неиспользованные партии с истекшим сроком годности или собранный после ликвидации пожара порошок лишь частично используется в качестве удобрений. Некондиционный порошок большей частью складывается и не находит применения.

Комплексная задача по разработке состава огнетушащих порошков решается с помощью оптимально выбранного качественного и математически рассчитанного количественного состава компонентов, изготавливаемых из отходов тонкодисперсных пылей и некондиционного огнетушащего порошка на основе аммофоса.

По результатам проведенного исследования [127-131], было выявлено сохранение огнетушащей способности просроченного порошка марки П-2АП и возможность его применения в качестве огнетушащего средства.

Основываясь на дальнейших исследованиях, мы предлагаем огнетушащие порошковые составы на основе просроченного порошка П-2АП и отходов фосфогипсовых и электротермофосфорных шлаковых пылей предприятий Республики Казахстан. Эти составы могут быть использованы для тушения пожаров тлеющих материалов, легко воспламеняющихся жидкостей и газов. Изготовление предлагаемых составов возможно из отходов недефицитного отечественного сырья.

Согласно ТУ 113-08-597-86, основным компонентом просроченного порошка марки П-2АП является аммофос, массовая доля которого свыше 90%. Добавками в составе данного порошка служат: порошок шамотно-каолиновый $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ с примесями окиси железа и титана, и аэросил АМ-1-300 или АМ-1-175 (массовая доля в порошках до 2,5%).

Для производства фосфогипсовых и электротермофосфорных шлаковых пылей используется сырье фосфорных предприятий РК, который по химическому и гранулометрическому составам должен соответствовать ТУ-650-РК-05774781-01-97, ТУ-92-РК-00186789-42-96 и ТУ-650-РК-38550134-01-99.

Целесообразным с технической и экономической точек зрения является

применение в огнетушащих составах фосфогипса и электротермофосфорного шлака. Данные пыли в основном состоят из частиц размером до 1,0 мм, т.е. не требуют затрат электроэнергии на их дополнительное измельчение. Пылевидные фракции улавливаются пылегазоочистными устройствами и скапливаются в бункерах-накопителях.

На сегодняшний день имеется довольно широкий ассортимент порошков, однако в этой области продолжается интенсивная работа по созданию новых огнетушащих и взрывоподавляющих составов. Применяемые стандартные составы очень дороги; неиспользованные партии с истекшим сроком годности или собранный после ликвидации пожара порошок лишь частично используется в качестве удобрений. Некондиционный порошок большей частью складывается и не находит применения.

По результатам проведенного исследования, нами было выявлено сохранение огнетушащей способности просроченного порошка марки П-2АП и возможность его применения в качестве огнетушащего средства.

Основываясь на дальнейших исследованиях, мы предлагаем огнетушащие порошковые составы на основе просроченного порошка П-2АП и отходов шлака фосфорного производства, находящегося: 1) в отвалохранилищах ДПО-Химпром и Ново-Джамбульский Фосфорный Завод - электротермофосфорный шлак; 2) фосфогипса ТОО «Казфосфат».

Эти составы могут быть использованы для тушения пожаров тлеющих материалов, легко воспламеняющихся жидкостей и газов. Изготовление предлагаемых составов возможно из отходов недефицитного отечественного сырья [132-134].

Согласно ТУ 113-08-597-86, основным компонентом просроченного порошка марки П-2АП является аммофос, массовая доля которого свыше 90%. Добавками в составе данного порошка служат: порошок шамотно-каолиновый $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ с примесями окиси железа и титана, и аэросил АМ-1-300 или АМ-1-175 (массовая доля в порошках до 2,5%). Отобрано по пять проб каждого из вида отходов, проведены их усреднение и сушка до постоянной влажности при 50 градусах Цельсия в сушильном шкафу. В таблице 1 представлены результаты по определению химического состава мелкодисперсных пылевидных отходов, а в таблице 2 приведен их гранулометрический состав.

Таблица 5.1 - Химический состав исследуемой сырьевой среды, %

Компоненты, мм	Электротермофосфорный шлак	фосфогипс
SiO ₂	40	13,33
CaO	44,5	26,59
Al ₂ O ₃	3,96	0,45
MgO	2,65	-
Fe ₂ O ₃	0,33	0,80
Na ₂ O	-	0,12
K ₂ O	-	0,10
P ₂ O ₅	0,89	1,15
п.п.п.	0,39	16,4

Исследования гранулометрического состава шлака отходов фосфорного производства проводился с помощью ситового и микроскопического анализов. Ситовой анализ огнетушащих порошков проводили на двух сетках: № 02 (200 мкм) и № 005 (50 мкм). Значительная часть частиц порошка имеет размер менее 50 мкм. Аналогичная картина наблюдалась и у фосфогипса при проведении фракционного ситового анализа по стандартной методике (РОТАП); у электротермофосфорного шлака преобладание фракции менее 50 мкм не обнаружено. Микроскопический анализ исследуемых проб выполнен на растровом электронном микроскопе JEOL с возможностью энергодисперсного анализа.

Таблица 5.2 - Гранулометрический состав исследуемой сырьевой среды, %

Дисперсность, мм	Фосфогипс	Электротермофосфорный шлак
> 2,5	-	19,7
1,6-2,5	-	13,5
1,0-1,6	0,8	12,4
0,63-1,0	2,9	8,6
0,1-0,63	18,2	32,7
0,63-0,1	4,8	13,5
0,05-0,0063	41,3	15,6
< 0,05	52,1	6,2

На рисунках 5.1 – 5.3 представлен элементный и микроскопический анализ просроченного порошка и пылевидных отходов цеха обжига. На графиках спектрального анализа мы видим, что в отдельных частицах порошка П-2АП содержание различных элементов неодинаковое. Микроскопические исследования показали, что пылевидные отходы цеха обжига не нуждаются в дополнительном измельчении.

Составы готовят путем механического смешивания компонентов до их равномерного распределения в смеси; при этом имеющиеся в просроченном порошке комочки разбиваются.

Для экспериментальной проверки показателей разработанных составов были приготовлены огнетушащие смеси с различным содержанием компонентов (таблица 5.3).

Согласно стандарту и техническим условиям, основными показателями качества порошков являются их огнетушащая способность и текучесть. Подготовленные пробы подвергали сушке, истиранию и отсеvu. Фракционный состав проверяли с помощью новейшего растрового микроскопа. Для опытов использовалась фракция менее 0,24-0,28 кг/сек.

В период испытаний на опытном участке произведен отбор для исследования исходных материалов и конечной продукции проб заводов цементного, кирпичного, асфальто-бетонного, а также фосфорного производства для поиска оптимальных компонентов для пожаро-взрывоподавляющего состава. Мы отобрали по семь проб каждого из вида отходов. Проведены их усреднение и сушка до постоянной влажности при 50 градусах Цельсия в сушильном шкафу. Далее представлены результаты по

определению химического состава мелкодисперсных пылевидных отходов, и приведен их гранулометрический состав.

Таблица 5.3 – Экспериментальные показатели предлагаемых порошков с фосфогипсом

Показатели	П-2АП стандартный	П-2АП просроченный	Соотношение: П-2АП пр.: фосфогипс						
			70:30	71:29	72:28	73:27	74:26	75:25	76:24
			1	2	3	4	5	6	7
Огнетушательная способность, кг/м ³	0,35	0,43-0,45	0,78	0,67	0,50	0,45	0,45	0,46	0,62
Доля состава, требующая дополнительного измельчения, %	0	80	20	15	10	5	5	10	18

Таблица 5.4 – Экспериментальные показатели предлагаемых порошков с ЭТФШ

Показатели	П-2АП стандартный	П-2АП просроченный	Соотношение: П-2АП пр.: ЭТФШ						
			50:49	52:47	54:46	56:44	57:43	58:42	60:40
			1	2	3	4	5	6	7
Огнетушательная способность, кг/м ³	0,35	0,43-0,45	0,77	0,65	0,47	0,45	0,45	0,48	0,50
Доля состава, требующая дополнительного измельчения, %	0	80	50	30	10	5	5	10	20

Таблица 5.5 – Экспериментальные показатели предлагаемых порошков с фосфогипсом с использованием модели MATLAB

Показатели	П-2АП стандартный	П-2АП просроченный	Соотношение: П-2АП пр.: фосфогипс						
			73,1:25,5	73,3:25,8	73,8:26,1	74, 1:26, 5	74,3:26,8	74,5:27,1	74,8:27, 3
			1	2	3	4	5	6	7
Огнетушательная способность, кг/м ³	0,35	0,43-0,45	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,45	0,47
Доля состава, требующая дополнительного измельчения, %	0	80	7	6	6	5	5	5	7

Таблица 5.6 – Экспериментальные показатели предлагаемых порошков с ЭТФС с использованием модели MATLAB

Показатели	П-2АП стандартный	П-2АП просроченный	Соотношение: П-2АП пр.: фосфогипс						
			53:47	54:46	55:44	56:44	57:43	58:42	59:41
			1	2	3	4	5	6	7
Огнетушательная способность, кг/м ³	0,35	0,43-0,45	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,47
Доля состава, требующая дополнит.измельчения, %	0	80	6	5	5	5	5	5	7

Дальнейшие исследования проводились на основе порошка № 2, состоящего из 54% просроченного огнетушательного порошка и 46% промышленных отходов.

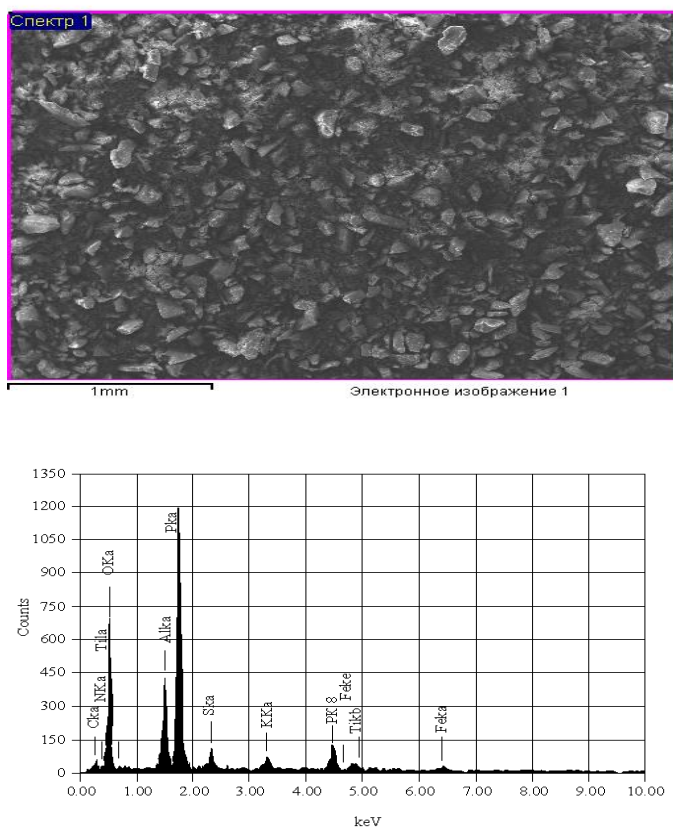


Рисунок 5.1 – Структурный и элементный анализ просроченного огнетушательного порошка

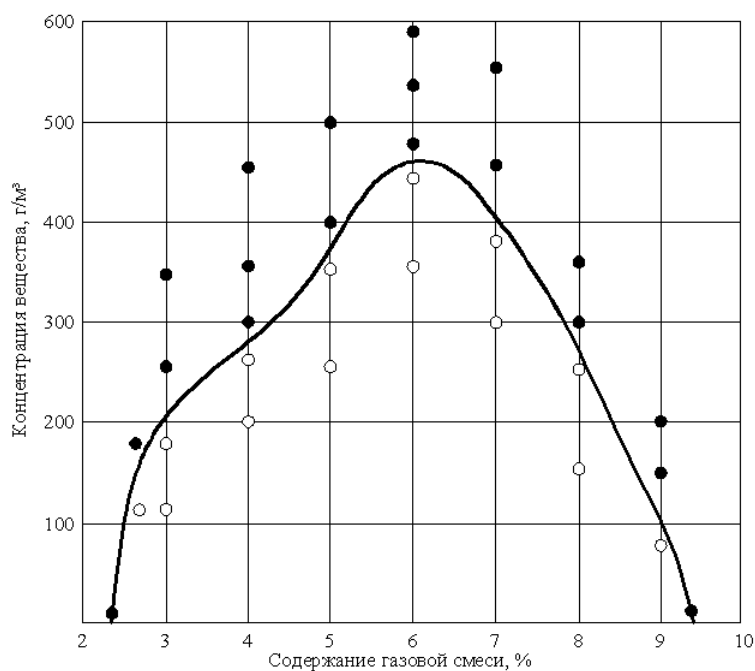


Рисунок 5.2 – Влияние просроченного огнетушащего порошка П-2АП на взрываемость газовой смеси

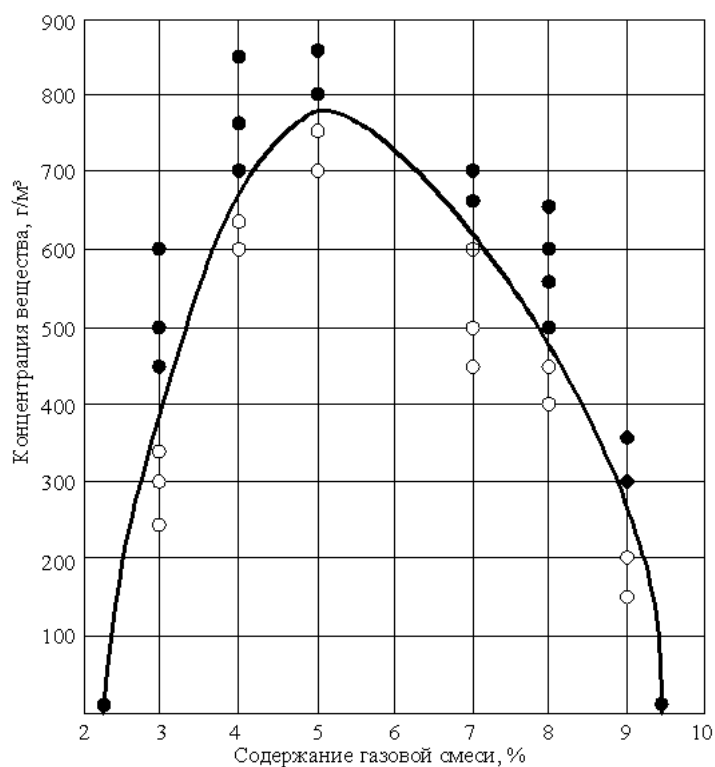


Рисунок 5.3 – Влияние просроченного огнетушащего состава фосфогипс + просроченный порошок на взрываемость газовой смеси

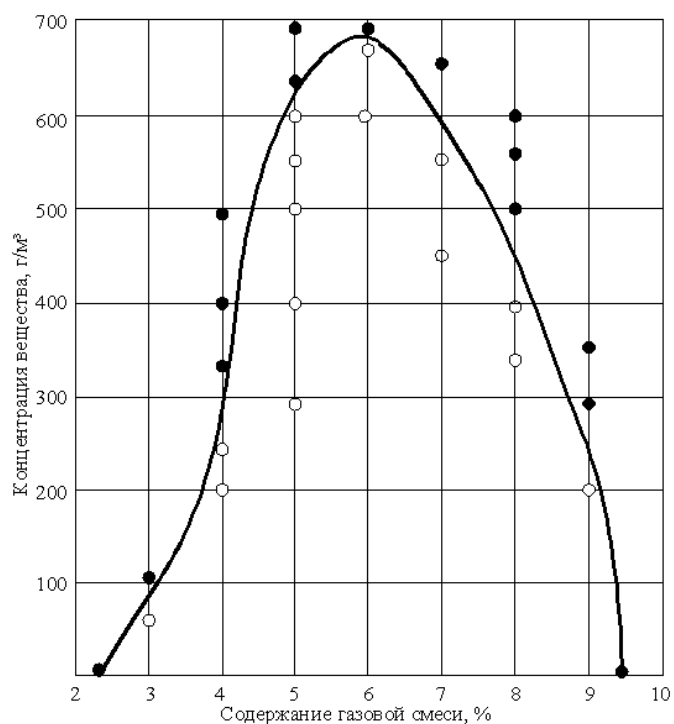
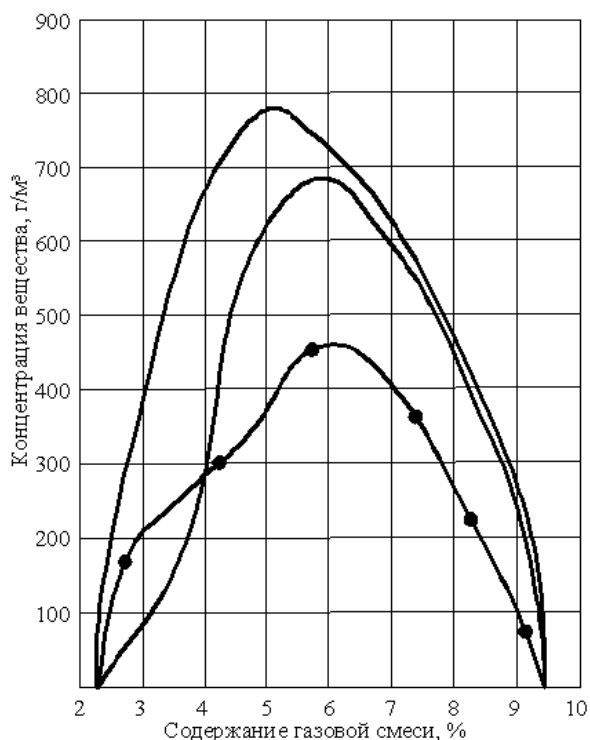


Рисунок 5.4 – Влияние просроченного огнетушащего состава электротермофосфорный шлак + просроченный порошок на взрываемость газовой смеси



1 – просроченный порошок + электротермофосфорный шлак; 2 – просроченный порошок + фосфогипс; 3 – просроченный порошок

Рисунок 5.5 – Влияние отходов на взрываемость газовой смеси

5.2 Оптимизация составов разработанных огнетушащих порошков на основе промышленных отходов

С целью определения оптимальных составов смесей на основе просроченного порошка П-2АП с промышленными отходами, была использована математическая модель MATLAB. [135, 136].

Мы применили методы статистического анализа для выявления зависимости огнетушащей способности от процентного содержания в смеси просроченного порошка и промышленных отходов. Используя метод наименьших квадратов, мы рассмотрели диапазоны соотношений порошка к промышленному отходу:

- первый вариант (фосфогипс) от 73:27 до 75:25
- второй вариант (ЭТФШ) от 54:46 до 58:42

Объединив расчетные данные по первому и второму вариантам, получили зависимость огнетушащей способности от процентного соотношения компонентов смеси.

Мы пришли к выводу, что наиболее приемлемыми являются смеси со следующими соотношениями: состав № 1 - огнетушащий порошковый состав на основе просроченного порошка П-2АП (73-74,5%) + фосфогипс (27-25,5%) и состав № 2 - огнетушащий порошковый состав на основе просроченного порошка П-2АП (54-57%) + электротермофосфорный шлак (46-43%). Для данных составов требуется измельчение 10-15% тонкости помола сырьевого порошка.

Математический анализ модели MATLAB подтверждается результатами составов исследуемой сырьевой среды: просроченный пожаро-взрывоподавляющий порошковый состав + фосфогипс и просроченный пожаро-взрывоподавляющий порошковый состав + электротермофосфорный шлак), которые обеспечивают высокую огнетушащую способность и меньшую комкуемость огнетушащего состава при относительно низкой стоимости.

Установлено, что снижение массовой доли фосфогипса в составе огнетушащего порошка до значения менее 25% приводит к увеличению ее комкуемости, т.е. доли смеси, требующей дополнительного измельчения. Для пылевидного ЭТФШ менее 43% хотя и повышается огнетушащая способность смеси, но при этом увеличивается доля смеси.

Анализируя полученные результаты, мы пришли к выводу, что использование в предлагаемых огнетушащих составах в качестве основного компонента просроченного порошка П-2АП (сохранившего основные эксплуатационные свойства – огнетушащую способность) и не востребованных отходов фосфогипса и электротермофосфорного шлака обеспечивают достаточно высокие эксплуатационные свойства составов при весьма незначительной стоимости.

Тем самым достигается высокая экономичность предлагаемых пожаро-взрывоподавляющих составов, при этом вносится весомый вклад в развитие системы рационального использования природных ресурсов, утилизации отходов производства, сохранения экологической обстановки местности, а также предотвращения чрезвычайных и аварийных ситуаций на

промышленных отвалах.

а) первый вариант (фосфогипс) от 73:27 до 75:25

б) второй вариант (ЭТФШ) от 54:46 до 58:42

Расчет по первому варианту:

Тогда: получили зависимость: $F1(x) = -1,14 \cdot X + 1,216$

Остаточная дисперсия зависимости $F1(x) = 0,04579$

Система уравнений для параболической зависимости:

Так как $0,04579 > 0,007726$, то функция является зависимостью с меньшей остаточной дисперсией.

Расчет по второму варианту: производится в виде решения системы уравнений для параболической зависимости.

Таким образом, для определения оптимальных составов смесей просроченного порошка П-2АП с отходами фосфогипса и смесей просроченного порошка П-2АП с отходами с ЭТФШ разработана математическая модель зависимости огнетушащей способности смеси от содержания просроченного порошка.

Зависимость огнетушащей способности разработанных порошков от процентного содержания компонентов представлена. Сравнение полученных с помощью математической модели расчетов с экспериментальными данными показало удовлетворительную сходимость.

Исследования эндотермической эффективности опытных смесей показали значительное расширение диапазона флегматизации по сравнению с базовым просроченным порошком: от 120 до 700°C у просроченного аммофоса, увеличилась до 1000°C у смеси порошок + фосфогипс и до 900°C у смеси порошок + ЭТФШ. Реальная взрывоподавляющая способность засвидетельствована для смеси порошок + фосфогипс 0,44 кг/м³, у смеси порошок + ЭТФШ 0,45 кг/м³.

По результатам экспериментальных исследований можно определить следующие выводы:

- способ, технология приготовления и пожаро-взрывоподавляющие свойства порошка определяются величиной поглощенной энергии в процессах разложения и испарения вещества, интенсивностью и шириной диапазона охлаждения зоны пламени;

- приемлемая оценка энергоемкости порошка достигается теоретическим методом расчета по тепловым эффектам процессов тления и диссоциации порошка;

- результаты исследований структурообразования в процессе разработки смесей на основе фосфорных отходов достигается добавкой просроченных серийных порошков, сохранивших свою огнетушащую способность в объеме 54-74,5%; при этом существенно снижается стоимость и увеличивается температурный диапазон действия порошка;

- компьютерно-математические и экспериментально-опытные модели расчета процесса смешивания порошков в различных процентных соотношениях, моделирования распространения и затухания пламени в узких каналах при определенных допущениях схожи;

- эколого-экономические расчеты снижения расхода природных ресурсов на изготовление новых пожаро-взрывоподавляющих порошковых составов, с применением отходов фосфорной промышленности.

Таким образом, установлено, что разработанные составы обеспечивают достаточно высокие эксплуатационные свойства при весьма незначительной стоимости. По разработанным составам получено четыре международных авторских произведений на пожаро-взрывоподавляющие порошки [137-138]. Изобретение относится к области пожаротушения, а именно к созданию огнетушащих смесей, которые могут быть использованы для тушения пожаров тлеющих материалов, легко воспламеняющихся жидкостей и газов.

5.3 Обоснование экономической эффективности использования пылевидных отходов и некондиционного порошка в огнетушащих составах многоцелевого назначения

Затраты на выполнение научно-исследовательской работы делят на единовременные и текущие. В сфере промышленного производства к единовременным затратам относятся, кроме прочих, и затраты на проведение научно-исследовательской работы. Текущие затраты включают в себя материалы: основные, покупные, полуфабрикаты, комплектующие изделия, необходимые для выполнения НИР и трудовые затраты (заработную плату научно-технического персонала: основную и дополнительную, отчисления на социальный налог; затраты на эксплуатацию оборудования, необходимого для проведения НИР; расходы по работам, выполняемые сторонними организациями; прочие прямые затраты).

Затраты по статье «Материалы» определяются согласно действующим оптовым ценам, с учетом транспортно-заготовительных расходов, величина которых составляет 7-10% от оптовой стоимости материалов, покупных полуфабрикатов и комплектующих изделий. Расчет затрат на используемые материалы сведен в таблицу 5.7. Расчет величины амортизационных отчислений по эксплуатации спецоборудования для проведения НИР поводится по формуле:

$$A=O\Phi*Нам*1мес/100*12 \quad (5.1)$$

где

- OФ – стоимость спецоборудования, тг.;
- Нам – норма амортизации, составляющая 10%;
- Тмес – время эксплуатации спецоборудования.

Расчет затрат по эксплуатации спецоборудования поведен без учета транспортно-заготовительных расходов.

Таблица 5.7 – Расчет затрат на используемые материалы

Материалы и другие материальные ресурсы	Ед.изм.	Потребное количество	Цена за ед., тг.	Сумма, тг.
Электроэнергия	кВт ч	200	12	2400
Газ (пропанбутановая смесь)	баллон	1	1800	1800
Итого:	-	-	=	4200
Транспортно-заготовительные расходы	-	-	-	420
Всего:	-	-	-	4620

При эксплуатации спецоборудования сроком в 1 месяц амортизация составит:

- для установки
- для технических весов

Расчет затрат по эксплуатации исследовательского спецоборудования представлен в таблице 5.8.

Таблица 5.8– Расчет затрат по эксплуатации спецоборудования для проведения научной работы

Вид спецоборудования	Ед. изм	Кол-во	Цена за ед., тг.	Амортизация		Сумма, тг.
				Нам, %	А Σ , тг.	
Установка	Шт.	1	450000	10	3750	3750
Весы	Шт.	1	180000	10	1500	1500
Итого:	-	-	-	-	-	5250

Фонд заработной платы работников научного коллектива рассчитывается, принимая время выполнения исследований равным 3 месяцам для старшего и младшего научных сотрудников и 1 месяц для лаборантов. Размер дополнительного фонда заработной платы принимаем в размере 10% от основной заработной платы. Результаты расчета представлены в таблице 5.9.

Расходы на командировки принимаются в размере 10% от ФЗП. Прочие прямые расходы (консультации экспертов и т.д) составляет 5 % от ФЗП. В накладные расходы включаются затраты на содержание и текущий ремонт здания, сооружений, оборудования и инвентаря, расходы по охране труда и другие. Накладные расходы составляют 150% от ФЗП.

Таблица 5.9 – Расчет ФЗП работников научного коллектива

Должность	Кол -во	тнир, мес.	Оклад тг.	ОЗП, тг.	ДЗП, тг.	ФЗП, тг.	Соц.налог
СНС	1	3	80400	241200	24120	265320	47898
МНС	1	3	69600	208800	20880	229680	42552
Лаборант	2	1	42000	84000	8400	92400	18780
Итого:	-	-	-	534000	53400	587400	109230

Суммарные затраты на работу определяются путем составления сметы затрат на основании вышеизложенных статей. Смета затрат приведена в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Статьи затрат	Сумма, тг.
Материалы	4620
Спецоборудование	5250
ОЗП	534000
ДЗП	53400
Социальный налог	109230
Прочие прямые расходы	29370
Расходы на служебные командировки	58740
Накладные расходы	881100
Итого себестоимость:	1678410

На основании текущих затрат рассчитывается договорная цена на выполнение научно-исследовательской работы. С этой целью используется нормативная рентабельность, установленная в процентах к себестоимости проведения НИР:

$$\text{Цдог} = 1,25 * \text{Знир}, \quad (5.2)$$

где

- Цдог – договорная цена;
- Знир – себестоимость выполнения НИР, тг.
- Договорная цена составит:
- $\text{Цдог} = 1,25 * 1678410 = 2098012,50$ тг.

Цены огнетушащих материалов взяты на декабрь 2018 г. Цена отходов принималась в размере 10% от фактической стоимости материала на этот период. В таблице 5.11 приведена цена отходов, стандартных материалов, и расчетная цена огнетушащей смеси.

Таблица 5.11 – Цены используемых материалов, отходов и смеси

Наименование материала	Доля в смеси %	Цена тг/т		
		Материала	Отходов	Смеси
Стандартный П-2АП	-	450000	-	-
Просроченный П-2АП	-	-	45000	-
Фосфогипс, ЭТФШ	-	4500	-	-
Фосфорные пыли	-	-	450	-
Смесь: просроченный П-2АП	150	-	45000	22725
+фосфорная пыль	150	-	450	

Небольшое предприятие, ТОО «Алматы жолдары» расходует около двухсот тысяч тенге в год на приобретение 100 огнетушителей объемом от 2 до

40 кг. Если эти тонны порошка изготавливать из разработанных смесей с учетом затрат на научно-исследовательскую работу, то ежегодная экономия составит 12% (без учета затрат на оплату рабочим за изготовление и заправку в огнетушители).

Выводы к 5 разделу:

1) Подтверждена перспектива поиска и разработки пожаро-взрывоподавляющих порошков на базе фосфорного производства.

2) Экономически выгодно применение в огнетушащих составах дисперсных пылей фосфорного производства цеха обжига, которые в основном состоят из частиц размером до 1,0 мм и не требуют затрат электроэнергии на их дополнительное измельчение.

3) Установлено, что просроченные порошки не утрачивают своей огнетушащей способности и могут применяться вновь, что позволило определенному предприятию за 10 лет сэкономить финансовых средств на сумму 2 000 000 тенге (Приложение Г - Акт испытания), а экономический эффект от возможного использования исследованных порошков на ТОО «Алматы жолдары», предполагается в размере 13,5% от прибыли.

4) Разработано два многоцелевых пожаро-взрывоподавляющих состава, подтвержденных четырьмя международными авторскими произведениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Учитывая обзор рассматриваемой литературы представлена наиболее детальная классификация пламегасителей по механизмам их действия. Оценка перспективности выбора флегматизаторов указывает на возможности нахождения новых взрывоподавляющих порошков, которые целесообразно вести среди веществ с ярко выраженными эндотермическими свойствами.

2) Необходимо учитывать необходимость и взаимозависимость огнетушащей способности порошков от величины эндотермических процессов, протекающих в них при нагреве. Предложена расчетная термодинамическая оценка огнетушащей энергоемкости порошков по величине теплового эффекта разложения вещества.

3) Обоснована методика экспериментальной оценки огнетушащей эффективности порошков по энергетическим и температурным показателям процессов, проходящих при нагреве порошка, разработанная на базе общепринятого метода дифференциально-термографического анализа.

4) Прогнозирование взрывоподавляющей способности порошков учитывается в качестве энергетических критериев эффективности начальную температуру, интенсивность и диапазон эндотермического процесса, проходящего в веществе при его нагреве.

5) Возможность использования пожаро-взрывоподавляющих свойств порошковых материалов из различных отходов промышленности.

6) Разработан композиционный материал на основе фосфогипса и электротермофосфорного шлака для создания нового порошка, позволяющего улучшить пожаротушающую способность.

7) Опознаны и рассмотрены огнетушащие свойства просроченных серийных порошков и оценены их возможности рециклинга в композиционных пламегасящих составах.

8) Теоретически определены рациональные соотношения компонентов и экспериментально исследованы пожаро-взрывоподавляющая способность полученных композиций на основе отходов производств фосфогипса и электротермофосфорного шлака.

9) Дана математическая модель затухания пламени в узких каналах для различных составов пожаротушения и взрыва. Такой вид распределения и ослабления пламени можно рассматривать для различных сред и каналов, но в данном исследовании он рассматривался для узких каналов. Влияние на реакцию сгорания возможно при снижении концентрации компонентов газовой смеси, охлаждении зоны сгорания и замедлении цепных реакций с помощью флегматизирующих или ингибирующих веществ, из которых наиболее универсальными и перспективными являются порошковые материалы. Как и в классической формулировке, используются приближения о постоянной плотности, теплоемкости и теплопроводности газа. Задача Коши для уравнения в частных производных второго порядка, описывающего распределение температуры в заданной области пространства и ее изменение во времени. Численная реализация процесса теплообмена была реализована в MATLAB, а

метод разложения был использован для расчета компонентов смещения частей огнетушащих порошков и горючих реагентов. Интерфейс с параметрами ввода / вывода был запущен и протестирован. Пакет с названием «TED в каналах» (Термоэластодинамика в каналах) позволяет повторно использовать имена классов и функций в разных пакетах.

10) Разработаны математические и компьютерные модели с использованием пакета MATLAB, позволяющие моделировать и графически визуализировать конкретные процессы – расчеты ВКПРП и НКПРП, расчеты показателей огнетушащей способности при комбинировании различных тепло-массовых физических свойств пожаро-взрывоподавляющих порошков из отходов производств.

11) Разработаны сырьевые материалы для пожаро-взрывоподавляющего состава на основе электротермофосфорного шлака и фосфогипса с использованием математического и компьютерного моделирования, которые подтверждены четырьмя международными авторскими произведениями. Составы содержат: состав № 1 - огнетушащий порошковый состав на основе просроченного порошка П-2АП (73-74,5%) + фосфогипс (27-25,5%) и состав № 2 - огнетушащий порошковый состав на основе просроченного порошка П-2АП (54-57%) + электротермофосфорный шлак (46-43%).

12) Показана экономическая целесообразность применения в огнетушащих составах тонкодисперсных фосфатных пылей.

13) Установлено, что просроченные типовые огнетушащие порошки не утрачивают своей способности и могут применяться вновь, что позволяет небольшому предприятию в течении десяти лет сэкономить финансовых средств на сумму 2 000 000 тенге, то есть минимум 10 % годовой прибыли любого предприятия.

14) Полученные данные рекомендованы для разработки огнетушащих порошковых составов с добавлением отходов промышленности - фосфогипса и электротермофосфорного шлака, с добавлением просроченных порошковых составов в каждый из сырьевой элемент.

Ввиду того, что вопросы защиты окружающей среды становятся критическими и необходимыми к рассмотрению, это приводит к необходимости применения альтернативных подручных сырьевых материалов из отходов промышленности для предупреждения чрезвычайных и аварийных ситуаций. В то же время, на предприятиях фосфорной и угледобывающей индустрии накопились миллионы тонн производственных отходов в виде электротермофосфорных шлаков, фосфогипса и внутренних вскрышных пород, позволяющие решить проблему рационального использования материальных ресурсов и экологической ситуации в промышленных регионах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Баратов А.Н., Иванов Е.Н., Корольченко А.Я. и др. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность: справ. изд. – М.: Химия, 1987. – 272 с.
- 2 Говоров В.И., Плотников В.М., Каратай Е.В. Теоретические основы горения и взрыва. - Темиртау, 2007. - 89 с.
- 3 Zhan Gao, Liliana V. Mogni, Elizabeth C. Miller, Justin G. Railsback and Scott A. Barnett. A perspective on low-temperature solid oxide fuel cells // Energy Environ. Sci. – 2016. – № 9. – P. 1602-1644, <https://doi.org/10.1039/C5EE03858H>.
- 4 Jiayan Luo, Jaemyung Kim, Jiaying Huang. Material Processing of Chemically Modified Graphene: Some Challenges and Solutions // Accounts of Chemical Research.–2013.–Vol. 46, № 10. – P. 2225-2234, DOI: 10.1021/ar300180n
- 5 Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. и др. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средств их тушения: справ. изд.: в 2 кн. – М.: Химия, 1990. – 496 с.
- 6 Ксандопуло Г.И. Химия пламени. – М.: Химия. 1980. – 256 с.
- 7 Yaoping Wang, Edward Byers, Simon Parkinson, Niko Wanders, Yoshihide Wada, Jiafu Mao and Jeffrey M. Bielicki. Water constraints on the coal-fired power plants and deployment of CO2 capture technology in Developing Asia at multiple scales // Energy Environ. Sci.–2019.–№12.–P.3164-3181, <https://doi.org/10.1039/C9EE02058F>
- 8 Albrecht Granzow. Flame retardation by phosphorus compounds // Accounts of Chemical Research.–1978.–Vol.11, №5. – P. 177-183, DOI: 10.1021/ar50125a001
- 9 Mohamed Abuhegazy, Neda Yaghoobian. Fire Dynamics in Built Environments //American Geophysical Union, Fall Meeting 2018, abstract #EP33E-2473, Bibcode: 2018AGUFMЕР33E2473A
- 10 Бухтояров Д.В., Кушук В.А. Оценка роли теплового механизма в тушении пламен порошками // Проблемы промышленной безопасности и охраны труда в металлургии: труды международной научно-практической конференции, посвященной столетию со дня рождения профессора Злобинского Б.М.. - М., 2003. - 124 с.
- 11 Горшков В.И., Замышевский Э.Д., Копылов С.Н. Влияние озонобезопасных огнетушащих хладонов на характеристики горения газопаровоздушных смесей. // Безопасность труда в промышленности. – 1997. - № 4. – С.20-21.
- 12 Краснянский М.Е. Огнетушащие и взрыволокализирующие порошки. – Донецк: Донбасс, 1990. – 110 с.
- 13 Прохорченко Н.В. Оценка пожароопасности горно-металлургических отходов и их пригодности для подавления горения и взрывов пыли угля и продуктов их переработки: дис. ...к.ф.-м.н. - Караганда, 2003. - 125 с.
- 14 ГОСТ 26952-97 Порошки огнетушащие. Общие технические требования и методы испытаний. Издательство стандартов. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – С. 2-10.
- 15 Гликин М.Э. К теории создания негорючих и трудногорючих органических материалов // Хим. промышленность. – 1982. - № 12. – С. 25-27.

16 Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые системы. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.

17 Кожухов Н.П. Порошковые пламеподавляющие составы // Химическая промышленность и промышленность по производству минеральных удобрений. НИИТЭХИМ. Серия «Техника безопасности». – 1984. - № 10. – С. 33-35.

18 J. Coreld, T. Szkred. Влияние неорганических добавок на взрывоопасность угольной пыли. //Proc. Shenyang Int. Symp. Dust Explos, Henyang. - Shenyang, 2011. - P. 528-538.

19 Собурь С.В. Огнетушители. Справочник.- М.: Спецтехника, 2001. – 80 с.

20 Кострикин Н.Т., Краснянский М.Е., Чеховский А.М., Красников А.А. Автоматическая система взрывозащиты «Горноспасатель» // Горноспасательная техника и противоаварийная защита шахт. Сб. научн. тр. / ВНИИГД. – Донецк, 1988 – С.88-91.

21 Присятнюк З.П. Огнетушащие средства и интенсивности их подачи тушения пожаров в производстве уксусной кислоты и уксусного ангидрида // Химическая промышленность. - 1990. - № 1. - С. 21.

22 Николенко А.Ф., Баданин Р.М., Бикбаев А.З., Малышев П.Г. Исследование процесса распыления огнетушащего порошка зарядами ВВ // Надежность нефтепроводов: Сб. научн. тр. – Уфа, 1982. – С. 74-79.

23 Гельфанд Ф.М., Мамаев В.И., Лигай В.А. Инертизация взрывоопасных сред порошками химических соединений // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. - М.: ЦНИИЭИуголь, 1972 -№ 11(65). - С.30-34.

24 Matsuguma K., Kunitani J., Koda V. Reagents preventing burning of explosives in coal mines // Inorganic compounds. Kore kuaky kekaucu. J. Jnd Explos Soe. Jap. - 1972. – № 33. - P. 214-222.

25 Курбатский О.М., Исавнин Н.В. Зарубежный опыт исследования огнетушащих порошков для тушения пожаров //Зарубежная пожарная техника: Информ.сб. – М.: ЦНИИЭИуголь, 1971. – № 11. – С. 36-47.

26 Баратов А.Н., Мышак Ю.А. Новые средства пожаротушения в хим. промышленности //Хим. промышленность. – 1982. – № 10. – С. 31-35.

27 Niall MacDowell, Nick Florin, Antoine Buchard, et all. An overview of CO2 capture technologies // Energy Environ. Sci.–2010.–№3. P.1645-1669, <https://doi.org/10.1039/C004106H>.

28 Thomas F. Hurst, Timothy T. Cockerill and Nicholas H. Florin. Life cycle greenhouse gas assessment of a coal-fired power station with calcium looping CO2 capture and offshore geological storage // Energy Environ. Sci. – 2012. - № 5. – P. 7132-7150, <https://doi.org/10.1039/C2EE21204H>.

29 Angel Farguell Caus, James Haley, Adam K. Kochanski, Ana Cortés Fité, Jan Mandel. Assimilation of Fire Perimeters and Satellite Detections by Minimization of the Residual in a Fire Spread Model, ICCS 2018: Computational Science – ICCS. – 2018. – P. 711-723.

30 Пат. (19)KZ (13) A4(11) 21563 Республика Казахстан, Комитет по правам интеллектуальной собственности МинЮстРК. Огнетушащий порошковый состав многоцелевого назначения / Чернышева А.А., Говоров В.И., Ибраев И.К., Лехмец В.Л.; заявитель и правообладатель РГП на ПХВ

«Кар.гос. инд.университет. № 2007/1232.1; заявл. 09.10.2007; опубл. 14.08.2009, Бюл. № 8. – 2 с.

31 Разработка порошковых составов для подавления взрывов метано-воздушных смесей в шахтах: отчет № 1924130000 / Научно-производственное объединение «Респиратор». – Донецк, 1980. – 78 с.

32 Плотников В.М., Беляев В.В. Разрушающее и поражающее действие аварийных взрывов. - Алматы, 2001. - 98 с.

33 Злобинский Б.М., Иоффе В.Г., Злобинский В.Б. Воспламеняемость и токсичность металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1972. - 264 с.

34 Wu Xu, Yong Jiang Combustion Inhibition of Aluminum-Methane_Air Flames by Fine NaCl Particles // MDPI Energies, Basel, Switzerland. – 2018. – Vol.11, № 3147. - P – 1-12.

35 Pavel J., Hrmby V. Vliv internich latek na vznestlivost hnedonhelneho prachu // Zpravodaj VUHU Most. – 1967. – № 7-8. – С. 15-32.

36 Гельфанд Ф.М., Мамаев В.И., Лигай В.А. Перспективы применения ингибиторов для предотвращения пылегазовых взрывов при ведении взрывных работ в газообильных забоях // «Научные труды Карагандинского территориального Отделения ВостНИИ». – 1971. – Вып.1. – С. 72-76.

37 Dodding R.A., Sinmons R.F., Stephens A. Extinguishing methane-air diffusion flames with powdered sodium bicarbonate // Combust and Flame. – 1970. – № 3. – P. 313-315.

38 Jensen D., Jones G., Christopher A. Potassium flame inhibition // J. Ghem. Soc. Faraday Trans. – 2010. – № 10. – P. 237-238.

39 Водяник В.И., Кожушков М.П. Подавление взрывов пыли в замкнутых объемах //Хим. промышленность. – 1978. – № 2. – С. 25-26.

40 Водяник В.И. Автоматические системы подавления взрывов в оборудовании //Безопасность труда в промышленности.– 1984. – № 5. – С.46-48.

41 Маевская В.И., Баскаков В.И., Болдин В.Н. Применение порошкообразных антипирогенов для предупреждения самовозгорания угля //Уголь. – 1986. – № 7. – С. 44-46.

42 Зельдович Я.Б., Гельфанд Б.Е. Взрывные явления. Оценка и последствия: в 2-х книгах / пер.с англ. Бейкер., Кокс П., Уэстайн П. и др. - М.: Мир. – 1986. – 319 с.

43 Денисенко В.Е., Ефимова Н.А. Критическая температура самовозгорания угля и воздействие на нее с помощью антипирогенов //Проблемы химии и технологии твердых горючих ископаемых: труды МХТИ. - М. – 1985. – Вып. 139. – С. 31-34.

44 А.с. 369272. Ингибитор воспламенения метано-воздушной смеси / Г.А. Басс; опубл. 08.11.1973, Бюл. № 10. – 1 с.

45 Долганов В.Н., Коростелев Ю.А., Кабанова З.И. и др. Изыскание антипирогенов для предупреждения самовозгорания угля на разрезах //Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело.– 1970. – № 11. – С.30-31.

46 Севриков В.В., Николаенко А.Ф., Сурков А.Г. Исследование огнетушащей эффективности порошковых ингибиторов // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. – М.: ЦНИЭИуголь,

1976. – № 6. – С.38-46.

47 Bartknecht W. Explosionsunterdruekung vor Staub-explosionen in Behaeltern-Staub //Киеipzig Fachberichte. – 1971. – № 3.- P. 112-121.

48 Говоров В.П., Прохорченко Н.В., Чернышева А.А. Эвтектические композиции как основа поиска огнетушащих порошков //Тезисы докл. Респ. эколог. конф. «Человек и природная среда». – Темиртау, 2000. – С. 137-139.

49 Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П. Гекряч Р.Ф. Краткий справочник по химии. - Киев: Паукова думка, 1974 – 992 с.

50 Горенчук В.Е., Драган Г.С., Журбенко А.К. и др. Кинетика воспламенения и горения частиц кокса, обработанного растворами калий содержащих соединений //Электрофизика горения: сб.науч.трудов. - Караганда, 1989. – С. 97-98.

51 Джигрин А.В., Горлов А.Ю., С.Н. Подображин А.С. Локализация взрывов метана и угольной пыли автоматическими системами //Безопасность труда в промышленности. – 2006. - № 8. – С.24-29.

52 Севриков В.В. Автономная автоматическая противопожарная защита промышленных сооружений. - Киев.: Вища школа, – 1979. – 80 с.

53 Руководство по эксплуатации и применению автоматических систем взрывоподавления - локализации взрывов (АСВП- ЛВ) в подземных горных выработках угольных шахт, опасных по газу и пыли / Департамент угольной промышленности Минэнерго РФ. Введено 20.11.03. – М., 2003. – 25 с.

54 Захматов В.Д. Применение взрывных огнетушащих устройств в шахтах //Уголь Украины. – 1985. - № 12. – С. 28-30.

55 Захматов В.Д., Балыка Г.А. О применении многоствольных импульсных установок для пожаротушения в шахтах//Уголь Украины.–1989.–№ 7.– С. 32-33.

56 Абдурагимов И.М. Автоматические системы подавления взрыва /ЖВХО им. Менделеева. – 1974. – Т.19, № 5. – С.600-603.

57 Фабер М. Передвижной автоматический противовзрывной заслон типа BVS // Глюкауф. - 1984. – № 21. – С. 35-38.

58 Шоль Э., Виманн В. Подавление взрывов в подземных выработках автоматическими заслонами системы BVS // Глюкауф. - 1979. – №1. – С. 38-46.

59 Шоль Э., Фабер М., Виманн В. Подавление воспламенений и вспышек метана автоматическими заслонами системы BVS, установленными на проходческих комбайнах избирательного типа//Глюкауф. -1979.- №16.- С.41-48.

60 Фон-Кенигслов В. Автоматические устройства для подавления взрывов газа и пыли // Глюкауф. - 1979. – №3. – С. 10-16.

61 Гидрофобизация огнетушащих порошков: Обзор. информ. / ВНИИПО. - 1983. – Вып.6/82. –16 с.

62 ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 1990. – 136 с.

63 Говоров В.И., Чернышева А.А., Трибунских О.С., Кривенко Т.С. Методика оценки огнетушащей эффективности порошковых отходов //Технология производства металлов и вторичных материалов: сб.науч.тр. КарМетИ. - Темиртау, 2004. – С. 166-169.

64 СНРК3.02-08-2013 Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства Строительные нормы Республики Казахстан, 2018. – 7 с.

65 Тропинов А.Г., Жартовский В.М., Баратов А.Н. Исследование процессов ингибирования углеводородных пламен методом оптической спектроскопии // Горное дело, 1988. – № 4. – 104 с.

66 Якимов В.А., Раздневский С.И., Сыромятников А.С. Справочник по живучести корабля – М.: Воениздат, 1989. – 398 с.

67 Недин В.В., Нейков О.Д., Алексеев А.Г., Кривцов В.А. Взрываемость металлических порошков. Киев: Наукова думка, 1971. – 140 с.

68 Greische G.K., Keiblin G. R. Kennzahlen zur Charakterisierung der Brand und Explosionsgefaerlichkeit for Staeben //Neue Bergsbaktechnik. – 1978. – № 6. – P. 332-337.

69 Монахов Б.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. - М.: Химия, 1972. – 416 с.

70 Kappler F., Hofman H. Einflubdroven der Bestimmand lundgrenren homohenenr yas – und Dampptgemisehe //Chemie Ingenieur Teehnik.- 1974. – 143 p.

71 Баратов А.Н. Расчетные методы оценки пожарной опасности веществ и материалов // Химическая промышленность. – 1970. - № 10. – С. 22- 26.

72 Говоров В.И., Татарчук В.В., Верховский П.И. Важный критерий //Пожарное дело. – 1980. – № 1. –37 с.

73 Алексеев А.Г., Недин В.В., Шаповал Н.Ф. Методика и результаты определения минимальной температуры воспламенения газозввесей. Предупреждение воспламенения порошков и взрывов газодисперсных смесей. – Киев: Наукова думка, 1978. – 63 с.

74 Кушук В.А., Маркин А.М., Долговидов А.В. Проблемы методического определения огнетушащей способности порошковых средств для автоматических установок // Крупные пожары: предупреждение и тушение: материалы научной конференции. – М.: ВНИИПО, 2001. – С. 180-183.

75 Розловский А.И. Научные основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. – М.: Химия, 1972. – 105 с.

76 Бабайцев И.В., Карнаух Н.Н. Безопасность производства и применения порошковых экзотермических материалов в металлургии. – М.: Металлургия, 1978. – 72 с.

77 Иванов В.П., Касатов Б.Н., Красавин Т.Н. Термический анализ минералов и горных пород. – М.: Наука, 1974. – 206 с.

78 Вертушков Г.Н., Авдонин В.Н., Таблицы для определения минералов по физическим и химическим свойствам. – М.: Недра, 1980. – 295 с.

79 Касенов Б.К., Алдабергенов М.К. Пашинкин А.С. Термодинамические методы в химии и металлургии. – Алматы: Рауан, 1994. – 256 с.

80 Андреев М.В. Технология фосфорных и комплексных удобрений / под ред. С.Д. Эвенчика, А.А. Бродского – М.: Химия, 1987. - 464 с.

81 Касымова Ж.С., Тлеуханова Г.Б. Изучение науч.-производственных принципов химической технологии экстракционной фосфорной кислоты в

лабораторных условиях. – Семей: Государственный университет имени К.Шакарима, 2015. – 22 с.

82 Алтеев Т. Влияние различных факторов на экстракцию фосфорной кислоты из агломерированного фосфатно-кремнистого сырья // Проблемы химической технологии неорганических и органических, силикатных и строительных материалов и подготовки инженерных кадров: Тр. междунар. науч.-практ. конф. - Шымкент, 2002. – Т. 1. – С. 38-40.

83 Жантасов К.Т., Айбалаева К.Д., Франгулиди Л.Х., Барлыбаев М.Р., Бержанов Д.С., Юрченко Б.Н., Жантасов М.К. Технологическое оснащение производства желтого фосфора. - Алматы: Изд-во «Эверо», 2014. – 444 с.

84 Gilles Le Flema. The Development of Phosphate Materials with High added value: a Researcher Viewpoint //Procedia Engineering 1st International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry (SYMPHOS 2011), 2012. – Vol. 46. – P. 45 – 53. doi: 10.1016/j.proeng.2012.09.444.

85 Valkova A.V., Andreeva V.A., Anufrieva A.V., Makaseeva Y.N., Bezrukova S.A., Demyanenko N.V. Phosphogypsum technology with the extraction of valuable components //Procedia Chemistry - 1st International Symposium on Inorganic Fluorides: Chemistry and Technology, ISIF. - 2014. - №11. – P. 176 – 181. doi: 10.1016/j.proche.2014.11.031.

86 Мольков А.А., Дергунов Ю.И., Сучков В.П.. Способ переработки фосфогипса //Известия Челябинского научного центра, 2006. – Вып.4(34). – С. 59-63.

87 Краткий справочник физико-химических величин / под редакцией Равделя А.А. и Пономаревой А.М. - СПб., 2002. – 240 с.

88 Пожарная опасность веществ и материалов: справочник / под редакцией Рябова И.В. – М.: Строительство, 1976. – 245 с.

89 Чернышева А.А. О возможности применения доломитовой пыли в огнетушащих составах //Тр. междунар. науч. - практ. конф. «Научно-технический прогресс в металлургии». - Темиртау, 2007. – С.365-368.

90 Дюсебаев М.К., Говоров В.И., Чернышева А.А. О применении мелкодисперсных отходов в огнетушащих составах // Новости науки Казахстана. - Алматы, 2007. – № 4. – С.49-54.

91 Говоров В.И., Чернышева А.А., Трибунских О.С., Кривенко Т.С. Исследование эксплуатационных свойств просроченных огнетушащих порошков //Тр. междунар. науч. - практ. конф., посв. 60-летию г. Темиртау «Научно-технический прогресс в металлургии». - Темиртау, 2005. – С.478-480.

92 Чернышева А.А., Толешев А.К., Лехтмец В.Л. Способ продления срока эксплуатации огнетушащих порошков // Металлург. - 2008. – № 4. – С.37-38.

93 Чернышева А.А. Долговечность и эффективность использования огнетушащих веществ на предприятиях горной промышленности //Тр. VII междунар. науч. - практ. конф. «Повышение качества образования и научных исследований» в рамках Сатпаевских чтений. – Экибастуз, 2008. – С.299-302.

94 А.с. 4803081/26, SU 1832039 А 1. Активная основа для огнетушащих порошков многоцелевого назначения, 1993. – Бюл. № 29.

95 Dr. Nadim F. Fuleihan, Sc.D., P.E. Phosphogypsum Disposal - The Pros &

Cons of Wet Versus Dry Stacking //Procedia Engineering 1st International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry (SYMPHOS 2011). - 2012. - № 46. – P. 195 – 205. doi: 10.1016/j.proeng.2012.09.465.

96 Чернышева А.А., Бекжанова М.М., Бабарыкина О.С. Огнетушащие порошковые составы //Технология производства металлов и вторичных материалов: сб. науч. тр. КарМетИ. - Темиртау, 2007.- № 1. – С. 166-169.

97 Чернышева А.А. Огнетушащие составы на основе некондиционного порошка П-2АП и отсева доломитовой пыли //Труды университета КарГТУ. - Караганда, 2008. – № 1. – С.52-54.

98 Mazilli В., Palmiro V., Saueia, C.&Nisti M.B. Radiochemical characterization of Brazilian phosphogypsum // J. Environ. Radioactiv. - 2000. - № 49. – P. 113-122.

99 Махоткин И.А., Безденежных Г.С., Красильников В.В., Махоткина Е.А. Разработка и исследование в промышленных условиях новой технологии и высокоэффективных аппаратов очистки газовых выбросов от пыли производства обжига мелкого камня известняка в условиях Казанского завода стеновых материалов //Современные проблемы специальной технической химии: Материалы докладов междунауч.-технич. и метод. конф. – Казань: КГТУ, 2007. – С. 243-246.

100 Сахаров Ю.Н. Механизм и кинетика разложения фосфатного сырья //Вестник Казан. технол. ун-та. - 2011. – № 11. – С. 18-23.

101 Павлова К. А., Махоткин И. А., Сахаров Ю. Н., Хусаинов Р. М., Бортникова Н. А. Закономерности механизма и кинетики процесса термической переработки фосфогипса в вязущие вещества//Научная сессия. -2013.– С.35-36.

102А.с. 4803081/26, SU 1832039 А 1. Активная основа для огнетушащих порошков многоцелевого назначения. - 1993, Бюл. № 29.

103А.с. 4853670/26, SU 1797923 А 1. Огнетушащий порошковый состав и способ его получения. -1993, Бюл. № 8.

104Дюсебаев М.К., Говоров В.И., Чернышева А.А. О применении мелкодисперсных отходов в огнетушащих составах // Науч. - техн.сб. «Новости науки Казахстана». - Алматы, 2007. – № 4. – С.49-54.

105 Sholl Ernst Wilhelm. Ein Verfahren zum Loschen von Schlagwetter Koelenstaud und Methan-Kohlenstaub-Explosionen //Berufsgenossenschaft, 1968. – Vol. 29. – № 4. – P. 203-219.

106 Чернышева А.А., Толешев А.К., Лехтмец В.Л. Способ продления срока эксплуатации огнетушащих порошков //Металлург. –2008. –№ 4. – С.37-38.

107Пат. № 178367 ФРГ, Е 21 F5/00. Способ подавления пыли в рудничной атмосфере / ИР. – 1974, Вып.19. – № 24.

108 Fernandez-Pello A. C. Micro-power generation using combustion: Issues and approaches // Twenty-Ninth Intern. Symp. on Combustion. - Pittsburg, 2002. - Vol. 40, №. 5. - P. 883– 899.

109 Чернышева А.А. Долговечность и эффективность использования огнетушащих веществ на предприятиях горной промышленности //Тр. VII междунауч. науч. - практ. конф. «Повышение качества образования и научных

- исследований» в рамках Сатпаевских чтений. – Экибастуз, 2008. – С.299-302.
- 110 Jones A. R., Lloyed S. A., Weinberg F. J. Combustion in heat exchangers //Proc. Roy. Soc. Lond. - 1978. – Vol. A369. – P. 97–115.
- 111 Buckmaster J. D. The effects of radiation on stretched flames //Combust. Theory Modelling. - 1997. - № 1. – P. 1–11.
- 112 Zamaschikov V.V., Minaev S.S. Limits of flame propagation in a narrow channel during gas filtration //Physics of Combustion and Explosion. – 2001. – Vol. 37. – № 1. – P. 25–31.
- 113 Zeldovich Ya. B. The theory of propagation of a quiet flame //Journal of Energy and Solids. – 1941. – Vol. 11, № 1. – P. 159–168.
- 114 Sitzki, L., Borer, K., Wussow, S. Schuster, E., Maruta, K., Ronney, P., Cohen, A., Combustion in Microscale Heat-Recirculating Burners// 38th AIAA Space Sciences & Exhibit, Reno, NV. - 2001. – Vol. 22, № 3. – P. 1087.
- 115 Lloyd S. A. and Weinberg F. J. A burner for mixtures of very low heat content NATURE. - 1974. – Vol. 251. – P. 47–49.
- 116 Пат. (19) KZ (13) A4 (11) 21189, (51) A62D 1/02 (2006.01), A62D 1/04 (2006.01) Огнетушащий порошковый состав многоцелевого назначения //2008/0097.1, 01.02.2008, 15.05.2009, Бюл. № 5.
- 117 Пат. (19) KZ (13) A4 (11) 21563, (51) A62D 1/02 (2006.01), A62D 1/04 (2006.01) Огнетушащий порошковый состав многоцелевого назначения //2007/1232.1, 09.10.2007, 14.08.2009, Бюл. № 8.
- 118 Баратов А.Н., Вогман Л.П., Азатян В.В. Ингибирование пламени метана взвесями солей //Физика горения и взрыва. – 1976. – № 1. – С. 72- 75.
- 119 Кушук В.А. Вайсман М.Н. Новые средства порошкового тушения //Безопасность труда в промышленности. – 1997. – № 4. – С. 21-22.
- 120 Пат. 1301785 ФРГ, E 21 F5/16. Способ связывания пыли в угольной промышленности // Ж Горное дело. – 1972. – 9В13ОП.
- 121 Пат. 4608 Великобритания, E 21 F5/02. Борьба с пылью и предотвращение возможности пожаров в шахтах / ИР– 1978. – Вып.81. – № 7.
- 122 Пат. 2282530 Франция, E 21 F5/12. Способ предотвращения образования пыли при закладке отработанных зон добычи угля / ИР– 1976. – Вып.36. – № 8.
- 123 Пат. 2440175 ФРГ, E 21 F5/02. Способ связывания пыли в горных выработках /ИР– 1976. – Вып.36. – № 6.
- 124 Пат. 604507 ФРГ, E 21 F5/16. Композиция для связывания пыли в угледобывающей промышленности / Открытия. Изобретения. – 1978. – № 15.
- 125 А.с. 369272 СССР E 21 F5/0. Ингибитор воспламенения метановоздушной смеси / Открытия. Изобретения – 1974. – № 5.
- 126 А.с. 4291616/31-26 СССР SU 1544451 А 1. Состав для борьбы с лесными пожарами с воздуха / 1990. – № 7.
- 127 А.с. 425867 СССР E 21 F5/16. Основа огнетушащей смеси / Открытия. Изобретения. – 1978. – № 4.
- 128 Дюсебаев М.К., Говоров В.И., Чернышева А.А. Новые огнетушащие составы //Технология производства металлов и вторичных материалов: сб. науч.тр. КГИУ. – Темиртау, 2009. – № 1. – С. 74-77.

129 Пат. 21563 Огнетушащий порошок состав / Дюсебаев М.К., Чернышева А.А., Лехмец В.Л., Ибраев И.К.: заявитель и правообладатель, Госреестр изобретений РК – Астана, 28.05.2009.

130 Мелихов А.С., Баратов А.Н., Вогман Л.П. и др. // Тезисы докладов Модель распространения фронта тления внутри мелкодисперсного газопроницаемого материала и условий тушения очага тления XXI междунауч.-практ. конф. «Актуальные проблемы пожарной безопасности». — М.: ВНИИПО, 2009. — С. 35–40.

131 Чернышева А.А. Вторая жизнь просроченных огнетушащих порошков, используемых на предприятиях горной промышленности // Тр. междунауч. - практ. конф. молодых ученых, студентов и школьников «VIII Сатпаевские чтения». – Павлодар, 2008. – С.90-94.

132 Sapargaliev B., Naukenova A., Alipova B., Javier Rodrigo Illari, Shapalov Sh. The analysis of heat and mass properties of the fire extinguishing powder in effectiveness criteria // News of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences. - 2018. - Vol. 3, № 4 (430). – P. 51-61. ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print),

133 Bayan Sapargaliyeva, Aigul Naukenova, Bakhyt Alipova, Javier Rodrigo Illari. Flame Distribution and Attenuation in Narrow Channels Using Mathematical Software // Adv. Sci. Technol. Eng. Syst. J. - 2019. – Vol. 4, Issue 3. – P. 53-57. DOI: 10.25046/aj040308.

134 Sapargaliev B., Naukenova A., Alipova B., Javier Rodrigo Illari, Shapalov Sh. The analysis of heat and mass properties of the fire extinguishing powder in effectiveness criteria // News of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences. - 2018. – Vol. 3, №. 4 (430). – P. 51-62. ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print).

135 Bayan Sapargaliyeva, Aigul Naukenova, Bakhyt Alipova, Javier Rodrigo Illari. Flame Distribution and Attenuation in Narrow Channels Using Mathematical Software // Adv. Sci. Technol. Eng. Syst. J. – 2019. – Vol. 4, Issue 3. – P. 53-57. DOI: 10.25046/aj040308.

136 А.с. ЕС-01-001884 Математическое и компьютерное моделирование затухания пламени в узких каналах / Сапаргалиева Б., Алипова Б., Наукенова А.; Берлин, Германия, опубл. 15.08.2018, – С. 3-10.

137 А.с. ЕС-01-002539 Получение пожаро-взрывоподавляющего состава на основе электротермофосфорного шлака и фосфогипса / Сапаргалиева Б.О., Кожамжарова Д.П., Молдабеков Ш.М., Жантасов К.Т., Наукенова; Берлин, Германия, опубл. 04.11.2019, – С. 3-21.

138 А.с. ЕС-01-002540 Расчет концентрационных пределов распространения пламени взвешенных пылей при воздействии определенных огнетушащих порошков / Сапаргалиева Б.О., Наукенова А.С., Алипова Б.Н., Шапалов Ш.К.; Берлин, Германия, опубл. 04.11.2019, – С. 3-35.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕАКЦИИ

1 Исследуемые реакции

2 Методика расчета

По закону Гесса: Тепловой эффект химической реакции зависит только от природы начальных и конечных продуктов и не зависит от числа промежуточных реакций перехода от одного состояния к другому.

Следствие 1 этого закона: Тепловой эффект химической реакции равен разности между суммой теплот образования конечных продуктов и суммой теплот образования исходных веществ с учетом коэффициентов при формулах этих веществ в уравнении реакции.

Следствие 2. По закону Лавуазье- Лапласа тепловой эффект разложения химического соединения равен и противоположен по закону тепловому эффекту его образования.

Разложение аммофоса.

Значения энергий связей, которые могли бы быть положены в основу расчета теплот образования широкого круга соединений, получают как средние величины, вычисленные из опытных термодинамических данных для большого числа соединений данного ряда.

На основании термодинамических данных по теплотам образования рассчитаны энергии связи между атомами, которые составили, соответственно: 23,29; 142, 92; 162, 37; 324, 75 по которым была рассчитана величина энтальпии соединений

Теплоты (энергии) диссоциации на атомы равны суммам энергий всех связей в молекуле.

Как следует из расчетов реакция разложения аммофоса, имеющего в составе дигидрофосфат аммония и гидрофосфат аммония, идет с поглощением тепла (эндотермическая).

Разложение фосфогипса:

Для каждого конкретного вещества брались по справочным табличным данным.

Рассмотрим реакции разложения фосфогипса, которые также являются эндотермическими:

Реакции разложения фосфогипса предлагаемого в качестве огнетушащего

порошка, также является эндотермической.

При реакции разложения карбонатов выделяется газ, который направляет реакцию горения метана справа налево, т.е. он является ингибитором (принцип Ле-Шателье).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



INTEROCO

INTERNATIONAL
ONLINE
COPYRIGHT
OFFICE



EUROPEAN
DEPOSITORY
Germany, Berlin



The Berne Convention
for the Protection
of Literary and
Artistic Works

Certificate OF COPYRIGHT

Original



Sign of INTEROCO

№ **EC-01-001629**

Авторское произведение
Методика определения эндотермических свойств порошковых материалов
методом дифференциально-термографического анализа (ДТА)

The author's work
A method for determining the endothermic properties of powder materials
by differential thermography (DTG)

H. PILDUS - Register of Copyright

H. Pildus

In witness whereof the seal of this
Copyright Office is affixed hereto on

March 28, 2018



The owner of "INTEROCO - International Online Copyright Office"
is "West-East-Connect" Business Consortium, Düsseldorf Str. 39,
Berlin, 10707, Federal Republic of Germany

ПРИЛОЖЕНИЕ В



INTERNATIONAL
ONLINE
COPYRIGHT
OFFICE

INTEROCO



EUROPEAN
DEPOSITORY
Germany, Berlin



The Berne Convention
for the Protection
of Literary and
Artistic Works

Certificate OF COPYRIGHT

Original



Sign of INTEROCO

№ **EC-01-001884**

Авторское произведение

Математическое и компьютерное моделирование затухания пламени в узких каналах

The author's work

Mathematical and computer modeling of flame attenuation in narrow channels

H. PILDUS - Register of Copyright

H. Pildus

In witness whereof the seal of this
Copyright Office is affixed hereto on

August 15, 2018



The owner of "INTEROCO - International Online Copyright Office"
is "West-East-Connect" Business Consortium, Düsseldorf Str. 39,
Berlin, 10707, Federal Republic of Germany

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



Директор ИРИМС
д-р профессор Сатаев М.И.
« 2019 г.



«Утверждаю»
И.о. директора ТОО «Алматы жолдары»
Манапов Р.Т.
« 2019 г.

АКТ

испытаний при разработке пожаро-взрывоподавляющих порошковых составов на основе электротермофосфорного шлака, фосфогипса и просроченных порошковых составов.

Мы, нижеподписавшиеся, от ТОО «Алматы жолдары», начальник участка Усембаев Ж.М. и мастер участка Балтабаев М.К. с одной стороны и от РГП на ПХВ Южно-Казахстанского государственного университета им.М.Ауэзова к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Наукенова А.С., PhD докторант Сапарғалиева Б.О., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что со 02 октября по 24 ноября 2017 г. и с 03 сентября по 31 октября 2018 г. проведены испытания на полномасштабных моделях опытных пожарных участков, созданные из отходов производств проб цементного, кирпичного, асфальто-бетонного заводов, а также заводов фосфорного производства для поиска наилучших компонентов для пожаро-взрывоподавляющего состава. и стандартных просроченных огнетушащих порошков, с учетом нормативно-технической документации. В сентябре-октябре 2018 г. повторно использовали отходы фосфорного производства – электротермофосфорного шлака, отобранного из заскладированного в отвалах на территории Таразского металлургического завода и гранулированного фосфорного шлака – фосфогипса Ново-Джамбульского фосфорного завода Жамбылского филиала ТОО «Казфосфат».

ТОО «Алматы жолдары» имеет собственную производственную базу в Алматинской области г. Талғар, а также в поселке Чунджа Уйгурского района Алматинской области. Кроме этого, южнее поселка Чунджа на участке «Карадала» имеется собственный асфальто-бетонный завод и дробильно-сортировочная установка, а также карьер, где выпускаются и добываются материалы для осуществления производственных работ компании.

Дробильно-сортировочную установку (ДСУ) используют для измельчения камней и получения щебня различной фракции: 2-5 мм, 5-10 мм, 10-20 мм, 20-40 мм. При выпуске данной продукции мелкие пылевидные частицы не используются в производстве и накапливаются отдельно. Полученный после дробления щебень разной фракции используют для выпуска асфальта на собственном асфальто-бетонном заводе. На асфальто-бетонном заводе также оставшуюся пыль и мелкие частицы собирает дымосос-пылеуловитель.

В период испытаний на опытном участке произведен отбор для исследования исходных материалов и конечной продукции проб заводов цементного, кирпичного, асфальто-бетонного, а также фосфорного производства для поиска оптимальных компонентов для пожаро-взрывоподавляющего состава.

Отобрано по пять проб каждого из вида отходов, проведены их усреднение и сушка до постоянной влажности при 50 градусах Цельсия в сушильном шкафу. В таблице 1 представлены результаты по определению химического состава мелкодисперсных пылевидных отходов на примере отходов фосфорного производства, а в таблице 2 приведен их гранулометрический состав.

Таблица 1 - Химический состав исследуемой сырьевой среды, %

Компоненты, мм	Электротермофосфорный шлак	фосфогипс
SiO ₂	40	13,33
CaO	44,5	26,59
Al ₂ O ₃	3,96	0,45
MgO	2,65	-
Fe ₂ O ₃	0,33	0,80
Na ₂ O	-	0,12
K ₂ O	-	0,10
P ₂ O ₅	0,89	1,15
п.п.п.	0,39	16,4

Исследования гранулометрического состава шлака отходов фосфорного производства проводился с помощью ситового и микроскопического анализов. Ситовой анализ огнетушащих порошков проводили на двух сетках: № 02 (200 мкм) и № 005 (50 мкм). Значительная часть частиц порошка имеет размер менее 50 мкм. Аналогичная картина наблюдалась и у фосфогипса при проведении фракционного ситового анализа по стандартной методике (РОТАП); у электротермофосфорного шлака преобладание фракции менее 50 мкм не обнаружено. Микроскопический анализ исследуемых проб выполнен на растровом электронном микроскопе JEOL с возможностью энергодисперсного анализа.

Таблица 2 - Гранулометрический состав исследуемой сырьевой среды, %

Дисперсность, мм	Фосфогипс	Электротермофосфорный шлак
> 2,5	-	19,7
1,6-2,5	-	13,5
1,0-1,6	0,8	12,4
0,63-1,0	2,9	8,6
0,1-0,63	18,2	32,7
0,63-0,1	4,8	13,5
0,05-0,0063	41,3	15,6
< 0,05	52,1	6,2

По результатам проведенного исследования, было выявлено сохранение огнетушащей способности просроченного порошка марки П-2АП и возможность его применения в качестве огнетушащего средства.

Согласно ТУ 113-08-597-86, основным компонентом просроченного порошка марки П-2АП является аммофос, массовая доля которого свыше 90%. Добавками в составе данного порошка служат: порошок шамотно-каолиновый Al₂O₃ • SiO₂ • H₂O с примесями окиси железа и титана, и аэросил АМ-1-300 или АМ-1-175 (массовая доля в порошках до 2,5%).

Для производства фосфогипсовых и электротермофосфорных шлаковых пылей используется сырье предприятий фосфорного производства РК, который по химическому и гранулометрическому составам должен соответствовать ТУ-650-РК-05774781-01-97, ТУ-92-РК-00186789-42-96 и ТУ-650-РК-38550134-01-99.

Также, согласно научным экспериментам, элементный и микроскопический анализ просроченного порошка и пылевидных отходов цеха. На графиках спектрального анализа видно, что в отдельных частицах порошка П-2АП содержание различных элементов неодинаковое. Микроскопические исследования показали, что пылевидные отходы цеха обжига не нуждаются в дополнительном измельчении.

Составы готовят путем механического смешивания компонентов до их равномерного распределения в смеси; при этом имеющиеся в просроченном порошке комочки разбиваются.

Для экспериментальной проверки показателей разработанных составов были приготовлены огнетушащие смеси с различным содержанием компонентов (таблицы 3-6).

Согласно стандарту и техническим условиям, основными показателями качества порошков являются их огнетушащая способность и текучесть. Подготовленные пробы подвергали сушке, истиранию и отсеву. Фракционный состав проверяли с помощью новейшего растрового микроскопа. Для опытов использовалась фракция менее 0,24-0,28 кг/сек.

Таблица 3 – Экспериментальные показатели предлагаемых порошков с фосфогипсом

Показатели	П-2АП стандартный	П-2АП просроченный	Соотношение: П-2АП пр.: фосфогипс						
			70:30	71:29	72:28	73:27	74:26	75:25	76:24
			1	2	3	4	5	6	7
Огнетушащая способность, кг/м ³	0,35	0,43-0,45	0,78	0,67	0,50	0,45	0,45	0,46	0,62
Доля состава, требующая дополнит. измельчения, %	0	80	20	15	10	5	5	10	18

Таблица 4 – Экспериментальные показатели предлагаемых порошков с электротермофосфорным шлаком (ЭТФШ)

Показатели	П-2АП стандартный	П-2АП просроченный	Соотношение: П-2АП пр.: ЭТФШ						
			50:49	52:47	54:46	56:44	57:43	58:42	60:40
			1	2	3	4	5	6	7
Огнетушащая способность, кг/м ³	0,35	0,43-0,45	0,77	0,65	0,47	0,45	0,45	0,48	0,50
Доля состава, требующая дополнит. измельчения, %	0	80	50	30	10	5	5	10	20

Таблица 5 – Экспериментальные показатели предлагаемых порошков с фосфогипсом с использованием модели MATLAB

Показатели	П-2АП стандартный	П-2АП просроченный	Соотношение: П-2АП пр.: фосфогипс						
			73,1:25,5	73,3:25,8	73,8:26,1	74,1:26,5	74,3:26,8	74,5:27,1	74,8:27,3
			1	2	3	4	5	6	7
Огнетушащая способность, кг/м ³	0,35	0,43-0,45	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,45	0,47
Доля состава, требующая дополнит. измельчения, %	0	80	7	6	6	5	5	5	7

Таблица 6 – Экспериментальные показатели предлагаемых порошков с ЭТФШ с использованием модели MATLAB

Показатели	П-2АП стандартный	П-2АП просроченный	Соотношение: П-2АП пр.: ЭТФШ						
			53:47	54:46	55:44	56:44	57:43	58:42	59:41
			1	2	3	4	5	6	7
Огнетушательная способность, кг/м ³	0,35	0,43-0,45	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,47
Доля состава, требующая доп. измельчения, %	0	80	6	5	5	5	5	5	7

В процессе испытаний подтверждено, что целесообразным с технической и экономической точек зрения является применение в огнетушительных составах фосфогипса и электротермофосфорного шлака. Наиболее экономичным, с нашей точки зрения, может быть использование тонкодисперсных пылей цехов обжига. Эти пылевидные отходы содержат большое количество оксидов и карбонатных соединений кальция и магния, обладающих гигроскопическими и связующими свойствами, что позволяет эффективно использовать их в качестве веществ, замедляющих процессы взрыва и горения материалов, в частности, для осланцевания горных выработок, приготовления эмульсий и паст для связывания оседающей угольной пыли, антипирогенов, огнетушительных порошковых составов для предотвращения пожаров и подавления взрывов пыли и газов.

Данные пыли в основном состоят из частиц размером до 1,0 мм, т.е. не требуют затрат электроэнергии на их дополнительное измельчение. Пылевидные фракции улавливаются пылегазоочистными устройствами и скапливаются в бункерах-накопителях. По результатам проведенного исследования, нами было выявлено сохранение огнетушительной способности просроченного порошка марки П-2АП и возможность его применения в качестве огнетушащего средства.

Основываясь на дальнейших исследованиях, мы предлагаем огнетушительные порошковые составы на основе просроченного порошка П-2АП и отходов шлака фосфорного производства, находящегося:

- 1) в отвалохранилищах ДПО-Химпром и Ново-Джамбульский фосфорный завод - электротермофосфорный шлак;
- 2) хранилищах фосфогипса ТОО «Казфосфат».

Эти составы могут быть использованы для тушения пожаров тлеющих материалов, легко воспламеняющихся жидкостей и газов. Изготовление предлагаемых составов возможно из отходов недефицитного отечественного сырья.

Анализируя результаты испытаний сырьевых материалов цементного, кирпичного, асфальто-бетонного заводов, а также заводов фосфорного производства, наиболее экономичным, практичным и эффективным для пожаро-взрывоподавляющего состава являются составы на основе электротермофосфорного шлака и фосфогипса. Составы содержат: состав № 1 - огнетушительный порошок на основе просроченного порошка П-2АП (73-74,5%) + фосфогипс (27-25,5%) и состав № 2 - огнетушительный порошок на основе просроченного порошка П-2АП (54-57%) + электротермофосфорный шлак (46-43%).

По результатам экспериментальных исследований можно определить следующие выводы:

- способ, технология приготовления и пожаро-взрывоподавляющие свойства порошка

определяются величиной поглощенной энергии в процессах разложения и испарения вещества, интенсивностью и шириной диапазона охлаждения зоны пламени;

- приемлемая оценка энергоемкости порошка достигается теоретическим методом расчета по тепловым эффектам процессов тления и диссоциации порошка;
- результаты исследований структурообразования в процессе разработки смесей на основе фосфорных отходов достигается добавкой просроченных серийных порошков, сохранивших свою огнетушащую способность в объеме 54-74,5%; при этом существенно снижается стоимость и увеличивается температурный диапазон действия порошка;
- компьютерно-математические и экспериментально-опытные модели расчета процесса смешивания порошков в различных процентных соотношениях, моделирования распространения и затухания пламени в узких каналах при определенных допущениях схожи;
- эколого-экономические расчеты снижения расхода природных ресурсов на изготовление новых пожаро-взрывоподавляющих порошковых составов, с применением отходов фосфорной промышленности.

Мы, нижеподписавшиеся, от ТОО «Алматы жолдары», начальник участка Усембаев Ж.М. и мастер участка Балтабаев М.К., настоящим Актом испытаний принимаем и подтверждаем проведенные испытания вышеуказанных пожаро-взрывоподавляющих порошков и признаем результат удовлетворительным.

От ЮКГУ им.М.Ауэзова

к.т.н, доцент



Наукенова А.С.

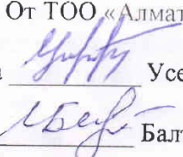
PhD докторант



Сапаргалиева Б.О.

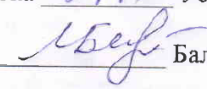
От ТОО «Алматы-жолдары»

Начальник участка



Усембаев Ж.М.

Мастер участка



Балтабаев М.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

РЕЦЕНЗИЯ-РЕКОМЕНДАЦИЯ

на диссертационную работу на соискание ученой степени доктора PhD по специальности 6D073100 – Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды соискателя Сапаргалиевой Баян Оралхановны на тему: «Исследование процесса получения пожаро – взрывоподавляющих порошковых составов на основе промышленных отходов»

Детально изучив и проанализировав диссертационную работу PhD докторанта Сапаргалиевой Баян Оралхановны, содержащей вопросы создания модифицированных пожаро-взрывоподавляющих порошковых составов с применением техногенных отходов различных производств. Их применение делает возможным повторное использование некондиционных огнетушащих составов возможно в качестве веществ, замедляющих процессы взрыва и горения материалов, руководство Отдела по чрезвычайным ситуациям Тюлькубасского района Департамента по Чрезвычайным Ситуациям Туркестанской Области Комитета по Чрезвычайным Ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан, в лице подполковника Азимбаева Бактыбека Кебешулы подтверждает:

1. Актуальность представленной на защиту диссертационной работы без сомнений, так как чрезвычайные ситуации на местах пожара не только национального, но и международного значения связаны с человеческими травмами и жертвами. Поэтому, изыскание путей по снижению чрезвычайных ситуаций и безопасности жизнедеятельности людей является актуальной проблемой;

2. Полученные данные соответствуют паспорту классификации «Безопасность жизнедеятельности и охрана окружающей среды» по отраслям и направлению исследований «Безопасность в чрезвычайных ситуациях»;

3. Работа PhD докторанта Сапаргалиевой Баян Оралхановны содержит сведения, относящие к снижению чрезвычайных ситуаций на участках пожара, комплексное и рациональное использование вторичных материально-сырьевых ресурсов и отходов производств должно занимать определенное место в сырьевом балансе промышленности и предупреждении чрезвычайных ситуаций.

4. Применение результатов диссертационной работы PhD докторанта Сапаргалиевой Баян Оралхановны, а именно составов и несложные технологии изготовления новых пожаро-взрывоподавляющих порошков из отходов фосфорного производства и просроченных огнетушащих порошков позволяет снизить стоимость и увеличивает температурный диапазон действия пожаро-взрывоподавляющего порошка.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа PhD докторанта Сапаргалиевой Баян Оралхановны является работой прикладного характера со значительным эколого-экономическим эффектом, вносящий вклад в развитие науки.

От лица работодателя рекомендуем методы исследования и результаты диссертационной работы для внедрения в учебный процесс по дисциплинам пожарной безопасности и безопасности жизнедеятельности, специальности «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» в Южно-Казахстанском государственном университете имени М. Ауэзова. Диссертационная работа Сапаргалиевой Б.О. может быть представлена на защиту в диссертационный совет Южно-Казахстанского государственного университета имени М.Ауэзова по специальности 6D073100 – Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды.

**Подполковник Отдела
по чрезвычайным ситуациям
Тюлькубасского района
ДЧС Туркестанской Области
Комитета по Чрезвычайным
Ситуациям МВД РК**



Азимбаев Б.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Составлено:
Проректор по НР и И
Сулейменов У.С.
«_____» _____ 2019г.

Ф.7-07-14
Утверждаю:
Проректор по У и УМР
Байболов К.С.
«_____» _____ 2019г.

АКТ

внедрения НИР «Исследования по разработке и созданию инновационных технологий термохимического обогащения и получения промышленно и экологически безопасных минеральных удобрений и солей из природного сырья и техногенных отходов различных производств» Б-16-04-03 в учебный процесс, Этап – 5 (Разработка технологического регламента и технических условий на промышленно и экологически безопасной продукции обогащения и целевые продукции неорганических веществ (фосфорные кислоты, минеральные удобрения и пестициды).

Настоящий акт составлен по итогам НИР, выполненной на кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» в 2019 году.

Настоящим актом подтверждается, что в результате НИР приведены сведения о проектных нормах, где на технических осмотрах проводится проверка следующих эксплуатационных параметров порошка:

- внешний вид;
- наличие комков;
- сыпучесть при пересыпании рукой;
- возможность разрушения комков до пылевидного состояния при их падении с высоты 20см;
- содержание влаги и дисперсность.

В результате исследований, мы пришли к выводу, что существует большое количество стандартных и общепризнанных методов экспериментального определения пламегасящих свойств порошковых составов. В опытах использовались пробы огнетушащих порошков фракции 0-1 мм, предварительно высушенные при 50° С в шкафу до постоянной влажности.

Исследования по двум разным методикам на дериватографе и установке методом ДТА имеют хорошую сходимость.

Результаты исследований опубликованы в Международном депозитарии авторских произведений № ЕС-01-001629 от 28.03.2018 г. (г.Берлин, Германия). Название темы: «Методика определения эндотермических свойств порошковых материалов методом дифференциально-термографического анализа (ДТА)»


выполненные к.т.н., доцентом Науковой А.С., к.т.н., соискателем на степень доктора PhD Сапаргалиевой Б.О.

под руководством к.т.н., доцента Науковой А.С.


внедрены в учебный процесс по ОП: Организация безопасности при чрезвычайных ситуациях, специальность: 5В073100 «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», модуль «Обеспечение безопасности стратегических объектов РК», дисциплина «Основы промышленной токсикологии»

в лекционные занятия по теме: «Методика и установки определения эндотермических свойств порошковых материалов методом дифференциально-термографического анализа (ДТА)».


Научный руководитель темы
 Наукенова А.С.

Директор ДАВ
 Омашева Г.Ш.

Начальник Отдела технических наук
НИУ

 Серкебаев М.К.

И.о.директора НИУ

 Серкебаев М.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж



АКТ

внедрения НИР «Исследования по разработке и созданию инновационных технологий термохимического обогащения и получения промышленно и экологически безопасных минеральных удобрений и солей из природного сырья и техногенных отходов различных производств» Б-16-04-03 в учебный процесс, Этап – 5 (Разработка технологического регламента и технических условий на промышленно и экологически безопасной продукции обогащения и целевые продукты неорганических веществ (фосфорные кислоты, минеральные удобрения и пестициды).

Настоящий акт составлен по итогам НИР, выполненной на кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» в 2019 году.

Настоящим актом подтверждается, что в результате НИР приведены сведения об использовании различных численно-аналитических программных средствах, которые помогают моделировать процессы создания апробации полученных смесей, в частности, такие программные продукты, как МАТЛАБ. Установлено, что упомянутый метод включает в себя несколько новых аспектов: он позволяет проводить анализ возможных компромиссов между потенциальными воздействиями и энергоэффективностью; независимо моделировать некоторые параметры, которые влияют на повторное использование продукта; метод применим даже на ранних этапах процесса модернизации, когда некоторые технические характеристики, возможно, еще не были определены.

Воздействие на окружающую среду этапов жизненного цикла продукта используется в качестве входных параметров для оценки. Результаты исследований опубликованы в Международном депозитарии авторских произведений № ЕС-01-001884 от 15.08.2018 г. (г.Берлин, Германия). Название темы: «Математическое и компьютерное моделирование затухания пламени в узких каналах»

выполненные к.т.н., доцентом Наукуновой А.С., к.т.н., соискателем на степень доктора PhD Сапаргалиевой Б.О.

под руководством к.т.н., доцента Наукуновой А.С.

внедрены в учебный процесс по ОП: Организация безопасности при чрезвычайных ситуациях, специальность: 5В073100 «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», модуль «Технические науки», дисциплина «Математическое моделирование»

в лекционные и практические занятия по теме: «Математическое и компьютерное моделирование затухания пламени в узких каналах».

Научный руководитель темы
Наукунова А.С.

Начальник Отдела технических наук НИУ
Серкебаев М.К.

Директор ДАВ
Омашева Г.Ш.

И.о. директора НИУ
Серкебаев М.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ И



АКТ

внедрения НИР «Исследования по разработке и созданию инновационных технологий термохимического обогащения и получения промышленно и экологически безопасных минеральных удобрений и солей из природного сырья и техногенных отходов различных производств» Б-16-04-03 в учебный процесс, Этап – 5 (Разработка технологического регламента и технических условий на промышленно и экологически безопасной продукции обогащения и целевые продукты неорганических веществ (фосфорные кислоты, минеральные удобрения и пестициды).

Настоящий акт составлен по итогам НИР, выполненной на кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» в 2019 году.

Настоящим актом подтверждается, что в результате НИР приведены сведения о комплексной задаче по разработке состава огнетушащих порошков, которая решается с помощью оптимально выбранного качественного и математически рассчитанного количественного состава компонентов, изготавливаемых из отходов тонкодисперсных пылей и некондиционного огнетушащего порошка на основе аммофоса.

Результаты исследований опубликованы в Международном депозитарии авторских произведений № ЕС-01-002539 от 04.11.2019 г. (г.Берлин, Германия). Название темы: «Получение пожаро-взрывоподавляющего состава на основе электротермофосфорного шлака и фосфогипса»

выполненные к.т.н., доцентом Науковой А.С., к.т.н., соискателем на степень доктора PhD Сапаргалиевой Б.О.

под руководством к.т.н., доцента Науковой А.С.

внедрены в учебный процесс по ОП: Организация безопасности при чрезвычайных ситуациях, специальность: 5В073100 «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», модуль «Пожаротехническое вооружение и повышение устойчивости объекта», дисциплина «Спасательная техника и пожаротехническое вооружение»

в лекционные и практические занятия по теме: «Получение пожаро-взрывоподавляющего состава на основе электротермофосфорного шлака и фосфогипса».

Научный руководитель темы
Наукова А.С.

Директор ДАВ
Омашева Г.Ш.

Начальник Отдела технических наук НИУ
Серкебаев М.К.

И.о.директора НИУ
Серкебаев М.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ К



АКТ

внедрения НИР «Исследования по разработке и созданию инновационных технологий термохимического обогащения и получения промышленно и экологически безопасных минеральных удобрений и солей из природного сырья и техногенных отходов различных производств» Б-16-04-03 в учебный процесс, Этап – 5 (Разработка технологического регламента и технических условий на промышленно и экологически безопасной продукции обогащения и целевые продукты неорганических веществ (фосфорные кислоты, минеральные удобрения и пестициды).

Настоящий акт составлен по итогам НИР, выполненной на кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» в 2019 году.

Настоящим актом подтверждается, что в результате НИР приведены сведения о комплексной задаче по разработке состава огнетушащих порошков, которая решается с помощью оптимально выбранного качественного и математически рассчитанного количественного состава компонентов, изготавливаемых из отходов тонкодисперсных пылей и некондиционного огнетушащего порошка на основе аммофоса.

Результаты исследований опубликованы в Международном депозитарии авторских произведений № ЕС-01-002539 от 04.11.2019 г. (г.Берлин, Германия). Название темы: «Получение пожаро-взрывоподавляющего состава на основе электротермофосфорного шлака и фосфогипса»

выполненные к.т.н., доцентом Наукиной А.С., к.т.н., соискателем на степень доктора PhD Сапаргалиевой Б.О.

под руководством к.т.н., доцента Наукиной А.С.

внедрены в учебный процесс по ОП: Организация безопасности при чрезвычайных ситуациях, специальность: 5В073100 «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», модуль «Пожарная безопасность и промышленная токсикология», дисциплина «Тушение пожаров на различных объектах»

в лекционные и практические занятия по теме: Получение пожаро-взрывоподавляющего состава на основе электротермофосфорного шлака и фосфогипса».

Научный руководитель темы
Наукинова А.С.

Директор ДАВ
Омашева Г.Ш.

Начальник Отдела технических наук НИУ
Серкебаев М.К.

И.о.директора НИУ
Серкебаев М.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ Л



АКТ

внедрения НИР «Исследования по разработке и созданию инновационных технологий термохимического обогащения и получения промышленно и экологически безопасных минеральных удобрений и солей из природного сырья и техногенных отходов различных производств» Б-16-04-03 в учебный процесс, Этап – 5 (Разработка технологического регламента и технических условий на промышленно и экологически безопасной продукции обогащения и целевые продукции неорганических веществ (фосфорные кислоты, минеральные удобрения и пестициды).

Настоящий акт составлен по итогам НИР, выполненной на кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» в 2019 году.

Настоящим актом подтверждается, что в результате НИР приведены сведения о значении пределов концентрации, которые зависят от формы и направления распространения пламени в сосуде, в котором изучается горение. Если поджигание производится у верхнего конца вертикальной трубы, то распространение пламени возможно в более узком интервале концентраций, чем при поджигании у нижнего конца. Такая особенность объясняется возникновением конвективных потоков, поднимающих нагретые продукты сгорания и тем самым облегчающих распространение пламени вверх для предельных составов.

Результаты исследований опубликованы в Международном депозитарии авторских произведений № ЕС-01-002540 от 04.11.2019 г. (г.Берлин, Германия). Название темы: «Расчет концентрационных пределов распространения пламени аэрозвешенных пылей при воздействии определенных огнетушащих порошков»

выполненные к.т.н., доцентом Науковой А.С., PhD доктором, ст. преподавателем Шапаловым Ш.К., соискателем на степень доктора PhD Сапаргалиевой Б.О.

под руководством к.т.н., доцента Науковой А.С.

внедрены в учебный процесс по ОП: Организация безопасности при чрезвычайных ситуациях, специальность: 5В073100 «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», модуль «Пожаротехническое вооружение и повышение устойчивости объекта», дисциплина «Спасательная техника и пожаротехническое вооружение»

в лекционные и практические занятия по теме: «Расчет концентрационных пределов распространения пламени аэрозвешенных пылей при воздействии определенных огнетушащих порошков».

Научный руководитель темы
Наукова А.С.

Начальник Отдела технических наук НИУ
Серкебаев М.К.

Директор ДАВ
Омашева Г.Ш.

И.о. директора НИУ
Серкебаев М.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ М



АКТ

внедрения НИР «Исследования по разработке и созданию инновационных технологий термохимического обогащения и получения промышленно и экологически безопасных минеральных удобрений и солей из природного сырья и техногенных отходов различных производств» Б-16-04-03 в учебный процесс. Этап – 5 (Разработка технологического регламента и технических условий на промышленно и экологически безопасной продукции обогащения и целевые продукты неорганических веществ (фосфорные кислоты, минеральные удобрения и пестициды).

Настоящий акт составлен по итогам НИР, выполненной на кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» в 2019 году.

Настоящим актом подтверждается, что в результате НИР приведены сведения о значении пределов концентрации, которые зависят от формы и направления распространения пламени в сосуде, в котором изучается горение. Если поджигание производится у верхнего конца вертикальной трубы, то распространение пламени возможно в более узком интервале концентраций, чем при поджигании у нижнего конца. Такая особенность объясняется возникновением конвективных потоков, поднимающих нагретые продукты сгорания и тем самым облегчающих распространение пламени вверх для предельных составов.

Результаты исследований опубликованы в Международном депозитарии авторских произведений № ЕС-01-002540 от 04.11.2019 г. (г.Берлин, Германия). Название темы: «Расчет концентрационных пределов распространения пламени взвешенных пылей при воздействии определенных огнетушащих порошков»

выполненные к.т.н., доцентом Науковой А.С., PhD доктором, ст. преподавателем Шапаловым Ш.К., соискателем на степень доктора PhD Сапаргалиевой Б.О.

под руководством к.т.н., доцента Науковой А.С.

внедрены в учебный процесс по ОП: Организация безопасности при чрезвычайных ситуациях, специальность: 5В073100 «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», модуль «Пожарная безопасность и промышленная токсикология», дисциплина «Тушение пожаров на различных объектах»

в лекционные и практические занятия по теме: «Расчет концентрационных пределов распространения пламени взвешенных пылей при воздействии определенных огнетушащих порошков».

Научный руководитель темы
Наукова А.С.

Директор ДАВ
Омашева Г.Ш.

Начальник Отдела технических наук НИУ
Серкебаев М.К.

И.о. директора НИУ
Серкебаев М.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ Н



ПРИЛОЖЕНИЕ П

