

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности
(наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность
(код и наименование направления подготовки)

Управление пожарной безопасностью
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Исследования инновационных технологий пожаротушения на основе
флегматизации горючей смеси и разработка рекомендаций по их применению.

Обучающийся

Т.С. Беленова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент А.В. Щипанов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.э.н., доцент Т.Ю Фрезе

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Содержание

Введение.....	3
Термины и определения	8
Перечень сокращений и обозначений.....	9
1 Анализ технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси	10
1.1 Нормативно-правовое обеспечение технологий пожаротушения на основе флегматизации пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси.....	10
1.2 Применяемые технологии пожаротушения в организации	30
2 Исследование и внедрение инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси и разработка рекомендаций по их применению	42
2.1 Исследование инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси	42
2.2 Разработка программы внедрения инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси и разработка рекомендаций по их применению	54
3 Опытно-экспериментальная апробация программы инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси	57
3.1 Процедура программы внедрения инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси	57
3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации.....	73
Заключение	84
Список используемой литературы и используемых источников.....	86

Введение

В свете постоянного увеличения количества пожаров и взрывов, предотвращение подобных происшествий становится все более актуальной проблемой.

Разнообразие горючих материалов, обладающих высокой степенью опасности, требует новых подходов к обеспечению безопасности. Существующие газовые системы пожаротушения и флегматизации, применяемые на промышленных объектах, пока не обеспечивают должного уровня защиты от взрывов и пожаров.

Флегментация – это очень эффективный способ тушения пожаров. Использование специальных флегматических веществ в современной жизни всё шире набирает обороты в применении..

Флегмент при взаимодействии с огнем выделяет газообразную воду и прекращает горение. Этот метод не только эффективен, но и безопасен, поскольку флегматические вещества нетоксичны и не оставляют следов после применения. Их также можно легко транспортировать и хранить, что делает их пригодными для использования в самых разных ситуациях.

На мировом форуме в Варшаве была актуальной проблема уменьшения выбросов углерода в атмосферу, вызванных изменениями на планете. Исследования продемонстрировали, что при сгорании аэрозольных огнетушителей происходит значительно меньшее выделение углекислого газа, что сокращает время ликвидации пожара, исключая его развитие и выброс вредных веществ в атмосферу. Применение аэрозольных смесей открывает новые возможности для улучшения средств тушения пожаров, обеспечивая их экономическую эффективность. Дальнейшее изучение взаимодействия компонентов аэрозольных смесей на процессы тушения позволит раскрыть особенности их влияния на горючие материалы в закрытых пространствах.

Разработка систем флегматизации на базе газоаэрозольных компонентов защищает производственные объекты от возгораний категорий А, В и С. Данная проблема требует современных инновационных решений. Эффективная противопожарная безопасность промышленных комплексов остается приоритетным вектором технических изысканий.

Стремительное расширение химических, нефтехимических и иных индустриальных предприятий, внедрение роботизированных линий увеличивают риски воспламенений и детонаций. Ежегодная статистика демонстрирует колоссальный экономический ущерб, а также гибель людей при техногенных катастрофах. Предотвращение подобных инцидентов превратилось в стратегическую государственную миссию, нацеленную на сохранение жизней граждан и материальных ценностей. Но к счастью, с развитием технологий появляются новые инновационные методы пожаротушения. Одним из таких современных методов является флегматический подход.

Актуальность данной работы состоит в том, чтобы ознакомиться с исследованиями инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси разработка рекомендаций по их применению.

В свете постоянного увеличения количества пожаров и взрывов, предотвращение подобных происшествий становится все более актуальной проблемой. Разнообразие горючих материалов, обладающих высокой степенью опасности, требует новых подходов к обеспечению безопасности.

Новизна работы заключается в разработке предложений по внедрению технологий в современных условиях. Также рассматривается возможность повышения эффективности обеспечения пожарной безопасности на промышленных объектах, в том числе на опасных производственных объектах, тем самым, будет разрабатываться перспективное решение, результатом от внедрения которого станет сокращения роста негативных показателей, связанных с возгораниями.

Объектом исследования являются инновации в области химической защиты, применение в противопожарной обработке зданий и сооружений так же и в ликвидации возгораний к кратчайшие сроки и минимальным ущербом это неотъемлемая часть работы по повышению промышленной безопасности и защите жизни людей.

Предметом исследования являются внедрение систем на основе флегментизации газоаэрозольных смесей для жизнедеятельности людей с возможностью возникновения пожаров. Для обеспечения противопожарной безопасности объектов классов А, В и С.

Цель исследования заключается в создании оптимальных вариантов систем на основе флегментированных газоаэрозольных смесей что особым образом обеспечения противопожарную безопасность объектов с пожарной нагрузкой классов А, В и С.

Гипотеза исследования состоит в том, что внедрение соответствующих технологии в сфере пожаротушения и технологии для спасения людей, приведет к сокращению количества гибели и травм среди населения и пожарных, если:

- осуществится внедрение автоматических систем пожаротушения, таких как спринклерные системы, системы водяного тумана и газовые системы пожаротушения, которые обеспечат своевременную локализацию пожара до прибытия специальных служб;
- современные системы эвакуации включают в себя улучшенные маршруты эвакуации, современное независимое от внутренних систем электроснабжения освещение и указатели, а также системы управления эвакуацией;
- будут использованы современные системы оповещения, такие как голосовые системы оповещения и мобильные приложения, которые могут быстро информировать людей о необходимости эвакуации;

– интеграция всех систем пожаротушения и спасения людей в единую систему управления, которая позволяет координировать действия всех участников пожара.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проведём исследование горючих газов и паров органических веществ галоидуглеводородами при горении в окислительных средах с повышенным содержанием кислорода;
- изучим основные характеристики горения смесей водорода с различными разбавителями в воздухе и кислороде;
- исследуем концентрацию пределов воспламенения органических горючих веществ в различных окислительных средах, содержащих закись азота;

Методическая основа исследования выбрана из нормативно-правовых актов, учебных пособий и методических указаний, а именно труды Мингачева И.Р., Псарева С.А., Гурина А.А., Ахматкулова А.Х., Куликова А.П., Константинова М.А., Ахмедова М.Х., Минченко А.В., Бедило М.В., Бутузова С.Ю., Рыженко А.А., Гвоздева Е.В., Есина В. М., Калмыкова С. П., Панова М. В., Сидорука В. И., Токарева В. Н., Заворотного А. Г., Фирсова А. В., Калайдова А. Н., Членова А.Н., Буцынской Т.А., Коноваленко, П. Н., Чагиной Л. В. и др.

Методы исследования базируются на анализе методической литературы и научных исследований, синтезе, сравнение, прогнозирование, практике подразделений 6 ПСО ФПС ГПС «ГУ МЧС России по Кемеровской области – Кузбасса» г. Прокопьевск.

Научная новизна заключается в:

- разработке новизны флегматизирующих агентов;
- оптимизации всего процесса флегматизации;
- исследовании влияния на свойства горючих смесей;
- разработки рекомендаций по применению готовых смесей;

- оценки в повышении экономической эффективности.

Практическая значимость исследования заключается в совершенствовании способов флегматизации для предотвращения пожаров, взрывов, катастроф. Наилучшим способом решения этой задачи - грамотное и своевременное применение новейших разработок.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

- актуальными статистическими и практическими данными.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в достоверности и обоснованности результатов исследования, обеспечиваемые актуальными статистическими и практическими данными действий подразделений 6 ПСО ФПС ГПС «ГУ МЧС России по Кемеровской области – Кузбасса» г. Прокопьевск, а также:

- На протяжении всего рабочего стажа - непосредственно оперативной службе велись наблюдения и делались заключения;
- обработке статистических данных, ведение сравнительного анализа, выполненных лично автором;
- личное участие в опытных пробах;
- подготовка публикаций для выполнения работ.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течении всего исследования. Основные положения опубликовывались в научном журнале «Актуальные научные исследования», статья «Исследования инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси».

Структура магистерской диссертации состоит из введения, 3 глав (разделов), заключения, содержит 13 рисунков, 5 таблицы, список использованной литературы (24 источника), 0 приложений. Основной текст работы изложен на 90 страницах.

Термины и определения

В настоящей работе используются следующие термины и определения:

Аэрозольные средства пожаротушения – смеси мелкодисперсных твердых частиц солей калия и газов (CO_2 , N_2 , H_2O).

Группы пожаров – пожары на открытом пространстве и в ограждениях.
Искры из горящей зоны – частицы горящего материала и капли расплавленных веществ.

Нахлест – самый простой способ тушения перебежного низового пожара.

Огнетушащие порошки – порошки для тушения твердых, жидких и газообразных горючих веществ, и электроустановок, находящихся под напряжением.

Пожар – внерегламентный процесс уничтожения или повреждения огнем имущества, во время которого возникают факторы, опасные для живых существ и окружающей среды. Противопожарные барьеры – для борьбы с пожарами создают как препятствие для распространения фронта горения.

Тепловое излучение при пожаре – при пожарах на открытой среде температурный режим пламени описывают по его тепловому излучению, непосредственно влияющему на личный состав пожарно-спасательных подразделений, пожарно-спасательную технику, технологическое оборудование и горючие материалы, находящиеся в зоне теплового воздействия.

Перечень сокращений и обозначений

АГПС – аэрозольно-газо-порошковая смесь;

АОС – аэрозолеобразующий состав;

ОП – огнетушащий порошок;

ВР – огнетушащее вещество;

ГВА – генератор огнетушащего аэрозоля;

ГВС – газовое огнетушащее вещество;

ГВРР – газовое огнетушащее вещество – разбавитель;

МР – мобильная робототехника;

ОФП – опасные факторы пожара;

СППС – стехиометрическая гептано-воздушная смесь;

ТВС – тернарная огнетушащая смесь;

ХНО – химически опасный объект.

1 Анализ технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси

1.1 Нормативно-правовое обеспечение технологий пожаротушения на основе флегматизации пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси

Федеральное законодательство всесторонне регламентирует сферу противопожарной охраны. Конституция РФ определяет базовые принципы защиты населения от возгораний и техногенных катастроф [2]. ФЗ №69 устанавливает правила и нормы безопасности на госуровне [1]. Региональные власти принимают дополнительные нормативные документы, адаптируя общие требования к местным условиям. Муниципалитеты издаются собственные постановления и распоряжения, направленные на предотвращение пожаров. Технические регламенты содержат подробные инструкции по обеспечению противопожарной охраны объектов.

Закон №184 регулирует требования к защите от пожаров, включая процессы строительства, эксплуатации, хранения и утилизации продукции. [5]. Основы пожарной безопасности утверждены указом Президента РФ.

В России действует комплексная система противопожарной защиты. Правительство РФ разработало и внедрило программу обеспечения безопасности от возгораний до 2030 года [3]. Постановление №1479 регламентирует нормы и требования для всех работающих граждан.

МЧС России издало приказ №806. Документ устанавливает регламент подготовки специалистов и периодичность проведения инструктажей по предотвращению пожаров [4].

ФЗ №100 определяет юридические аспекты работы добровольных пожарных бригад. Нормативный акт координирует взаимодействие волонтерских объединений с госструктурами [11].

Надзор за соблюдением правил безопасности регулируется постановлением №290 [12]. Приказ МЧС №539 фиксирует список зданий и сооружений для монтажа автоматических систем пожаротушения. Документ содержит свод требований к монтажу оборудования и эксплуатации защитных комплексов [13].

Законодательные акты формируют единую систему профилактики и борьбы с возгораниями на территории государства. Нормативная база охватывает все направления противопожарной деятельности.

МЧС России утвердило приказы №382, № 582 регламентирующие работу и установку систем противопожарной защиты, автоматизацию систем противопожарной защиты, пожарную сигнализацию и требования пожарной безопасности к объектам хранения нефти. Приказ МЧС РФ №382 регламентирует методы расчета пожарных рисков объектов различного назначения.

Охрана от возгораний на объектах горюче-смазочных материалов – первостепенная задача администрации этих предприятий. Руководители таких комплексов отвечают за безопасность согласно статье 38 ФЗ-69. Нефтепродукты относятся к легковоспламеняющимся веществам, поэтому требуют особого контроля при складировании и транспортировке.

Нормативный документ СП 123.13330.2012 регулирует правила эксплуатации подземных резервуаров для хранения углеводородного сырья и продуктов нефтепереработки. Законодательная база противопожарной защиты данных объектов постоянно совершенствуется с учетом современных требований.

В Российской Федерации обеспечение безопасности основывается на многочисленных нормативных актах, включая законы, распоряжения, правила, инструкции и другие документы. В данном разделе представлена схема и основные нормативные документы, связанные с темой бакалаврской работы.

Одним из преимуществ метода флегментации является его способность тушить пламя в самых труднодоступных местах, таких как углы и щели. Это делает его идеальным для использования на производственных предприятиях и в крупных промышленных зданиях, где способность быстро и эффективно тушить пожар имеет решающее значение.

В целом флегментный метод является уникальным и эффективным методом тушения пожаров, который может быть использован в различных отраслях промышленности. Данный метод позволяет существенно снизить потери и человеческие жертвы от пожаров и взрывов при условии их правильного использования и подготовки персонала. Разумеется, разработка и исследование таких методов является неотъемлемой частью работы по повышению промышленной безопасности и защите жизни людей.

Процесс изготовления битума на нефтеперерабатывающих предприятиях демонстрирует результативность применения флегматизации для защиты от возгораний и взрывов. При изготовлении битума происходит взаимодействие тяжелых нефтяных фракций с воздухом в специальных установках как циклических, так и непрерывных. Высокотемпературный режим создает опасность формирования горючих концентраций паров углеводородов, превышающих допустимые пороговые значения. Безопасность производственного цикла обеспечивают за счет лимитирования объема O_2 в газовой смеси. Данный эффект достигается введением инертных газов в воздухопроводы и свободное пространство агрегатов битумного производства.

Современная наука выделяет две теории процессов горения – радикальную и тепловую. Горение развивается по сложному механизму, открытому советским ученым Н.Н. Семеновым на основе эксперимента его коллеги Ю.Б. Харитона.

Исследователи доказали формирование цепных реакций при горении за счет появления активных частиц – радикалов. Однако до сих пор остается неясной корреляция между образованием радикалов и воздействием

ингибирующих и флегматизирующих огнетушащих составов. Эти вещества напрямую определяют интенсивность появления радикалов и динамику воспламенения.

При возгорании газообразных веществ, легковогораемых жидкостей и твердых материалов процесс может протекать в гомогенной или гетерогенной среде. Зависит от агрегатного состояния компонентов горючей смеси. Ликвидация гомогенного пламенного возгорания требует создания условий для остановки формирования радикалов.

Генерация радикалов представляет собой высокоэнергетический процесс, связанный с разрушением химических связей в молекулах. Следовательно, для эффективного пожаротушения необходимо понимать механизмы и особенности разрыва химических связей при пожаре [2].

Предотвращение пожаров и взрывов требует особого внимания из-за постоянного увеличения пожарной нагрузки и выбросов в атмосферу. При сгорании АОС происходит минимальный выброс углекислого газа, обеспечивающий максимальный огнетушащий и флегматизирующий результат в газоаэрозольной композиции. Внедрение газоаэрозольных смесей увеличит эффективность подобных средств при сохранении экологической безопасности тушащего компонента [1].

Современная противопожарная защита требует изучения механизмов взаимодействия элементов газоаэрозольных смесей при флегматизации горючих систем в изолированных пространствах. Данное исследование формирует теоретическую базу для разработки инновационных флегматизационных комплексов на основе газоаэрозольных композиций. Подобные системы обеспечивают безопасность различных объектов от возгораний типа А, В и С.

Разработка эффективных методов противопожарной безопасности диктует необходимость поиска новых технических решений.

Безопасность от взрывов достигается путем уменьшения концентрации горючих веществ ниже минимального порогового значения. Для понимания

механизма целесообразно проанализировать основы флегматизации взрывоопасных составов.

Снижение взрывоопасности смесей происходит за счет специальных добавок, понижающих температурный режим горения. Тепловые флегматизаторы подразделяются на инертные составляющие – H_2O , CO_2 , N_2 , а также дополнительные горючие компоненты, замедляющие процесс горения многокомпонентных смесей.

Тепловой эффект частично поглощается инертными добавками без протекания химических реакций.

Органические флегматизаторы снижают температуру горения и увеличивают теплоемкость благодаря эндотермическим превращениям при высоких температурах. Данное свойство позволяет применять их в меньших концентрациях по сравнению с инертными компонентами.

Избыточное количество горючего материала может выполнять функцию активного флегматизатора.

Максимальный гасящий эффект достигается при использовании ингибиторов, существенно сужающих диапазон распространения пламени. Принцип флегматизации основан на прерывании цепной реакции окисления. Активные центры реакции вступают во взаимодействие с ингибиторами вместо окисляемых веществ. Введение ингибитора уменьшает количество активных центров. Галоиды вступают в реакцию с атомарным водородом – основным участником цепного процесса окисления.

Предохранительные устройства содержат химически активные флегматизаторы (ингибиторы). При аварийной ситуации ингибиторы попадают во взрывоопасную область или зону возгорания, трансформируя среду в негорючую. Пламегасящие средства на базе галоидов и галопроизводных замещают атом водорода на атомы галогенов [5].

Минимальный расход огнетушащего вещества определяет эффективность методов пожаротушения. Согласно теоретическим исследованиям, для ликвидации пожара необходимо уменьшить температуру

пламени в очаге возгорания до 1000°C . Данный показатель эквивалентен абсорбции половины теплоты, генерируемой при горении за единицу времени.

Анализ способов понижения температуры в зоне возгорания выявил схожие принципы действия ОП и АОС с механизмом пожаротушения мелкодисперсной водой.

Особенность порошковых составов заключается в дополнительном эффекте – создании огнепреградительного барьера. При распылении ОП образует надёжную защитную шапку над поверхностью горячей жидкости, блокируя развитие пожара.

Доказанный факт, того что при тушении пламени различными веществами (жидкими хладонами, распыленной водой и порошком) ,независимо от принятой модели процесса тушения, во всех случаях требуется интенсивная подача огнетушащего вещества.

Анализируя механизм подавления пламени дисперсными составами, специалисты сравнивают тепловыделение от горящих паров с энергозатратами на фазовые трансформации ОТВ. По традиционной теории, огнетушащий агент (распыленная вода) абсорбирует до 50% теплового потока при горении, вызывая прекращение реакции.

Проведенные расчеты теплового баланса для ОП, а затем и диспергированной воды поставили под сомнение данную гипотезу. Тепловой поток от пламени существенно превышает теплопоглощающую способность этих веществ. Расчеты показали недостаточность количества ОП или мелкораспыленной воды для абсорбции половины энергии пламени.

Рассмотрим пример тушения пламени гептана (низшая теплота сгорания $40\ 000$ кДж/кг, интенсивность выгорания $0,04$ кг/(м-с)) распыленной водой с интенсивностью подачи $0,1$ кг/(м²-с). При стопроцентном испарении воды с удельной теплотой парообразования

2300 кДж/кг поглощается лишь 1/6 часть энергии, генерируемой при окислении паров гептана в воздушной среде [4].

Проанализированы на основе конкретного фактического материала, раскрыты основные документы и рекомендации. Представлены варианты проектирования промышленных зданий, категории пожаровзрывоопасности объекта, а также характеристики систем пожарной сигнализации промышленных объектов [11].

Рассмотрены основные причины пожаров и проблемы обеспечения пожарной безопасности на производственных объектах. На основании выявленных проблем предложены направления реализации снижения количества пожаров [10].

Обосновывает необходимость проведения профилактических мероприятий по своевременному предупреждению граждан об опасности возникновения пожаров в современном мире. Данные противопожарные мероприятия готовят и проводят сотрудники МЧС России. В данной статье рассматриваются возможные пути повышения эффективности противопожарной профилактики [12].

Проведен детальный анализ нормативной документации для соблюдения пожарной безопасности при установке, сервисном обслуживании и восстановлении противопожарного оборудования в архитектурных объектах.

Изучены главные аспекты проекта ГОСТ Р «Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре». Разработаны инструкции по проектным работам, монтажу, техническому надзору и ремонтным операциям, а также методики тестирования функциональности оборудования. Проанализирована перспективная результативность внедрения регламентов данного национального стандарта [13].

Современные реалии диктуют необходимость рационального применения разнообразных негорючих стройматериалов с декоративным покрытием для внутренней и наружной отделки зданий. Ограничения по эксплуатации таких материалов обусловлены строгими требованиями противопожарной защиты.

Лабораторные испытания продемонстрировали целесообразность модернизации методологии определения степени горючести материалов с защитными покрытиями для расширения сферы их использования [6].

Патентный поиск позволяет выявить существующие технологии и решения, которые могут быть использованы для повышения безопасности и эффективности пожаротушения в данной области.

В таблице 1 приведены результаты патентного поиска, включающие описание ключевых патентов и их основных характеристик. Эти результаты могут быть использованы для разработки новых решений и улучшения существующих технологий в области пожарной безопасности.

Таблица 1 – Результаты патентного поиска

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Номер патента	Заявитель (патентообладатель), страна. Номер заявки, дата приоритета, конвенциональный приоритет, дата публикации	Название изобретения (полезной модели, образца)	Сведения о действии охранного документа или причина его аннулирования (только для анализа патентной чистоты)
Средства пожаротушения на производстве	RU 2 684 743 C1 МПК А62С 3/06 (2006.01) СПК А62С 3/065 (2019.02)	Авторы: Горбань Юрий Иванович (RU), Горбань Михаил Юрьевич (RU), Абдурагимов Иосиф Микаэлевич (RU), Абдурагимов Александр Иосифович (RU), Абдурагимова Татьяна Иосифовна (RU), Чащина Елена Павловна (RU) Патентообладатель(и): ООО "ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ПОЖАРНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ "ЭФЭР" (RU)	Способ тушения пожаров на крупных резервуарах с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями	Состояние делопроизводства: Формальная экспертиза завершена
Жизненный цикл, изделия	RU 2 754 440 C1 МПК А62С 37/08 (2006.01) СПК А62С	Автор(ы): Куприн Геннадий Николаевич (RU), Колыхалов Дмитрий Геннадьевич (RU), Оленин Петр Валерьевич (RU), Морозов Дмитрий Николаевич (RU), Ахлынов Денис Олегович (RU) Патентообладатель(и):	Быстродействующая автоматическая пожаротушающая система	Статус: действует (последнее изменение статуса: 17.11.2016) Пошлина: учтена за 5 год с 05.12.2016 по 04.12.2017
	37/08 (2021.08)	Общество с ограниченной ответственностью НПО «Современные пожарные технологии» (RU)		

Продолжение таблицы 1

Средства безопасной эксплуатации зданий и сооружений	RU 125709 U1	Сысоев Олег Евгеньевич (RU) Квачан Елена Евгеньевна (RU) Марьин Борис Николаевич (RU) Шпорт Вячеслав Иванович (RU) Кузнецов Егор Александрович (RU) Биленко Сергей Владимирович (RU)	Система комплексной безопасности эксплуатации конструкций зданий и сооружений	Статус: действует. Дата начала отчета срока действия патента: 2012.07.13
Средства пожаротушения на производстве	RU2603573C1	Шпаковский Виктор Григорьевич Казанков Вячеслав Владимирович Ковалев Георгий Юрьевич	Огнетушитель порошковый пиротехнический самосрабатывающий	2016-11-27— Публикация 2015-06-08— Подача
Область видеонаблюдения и распознавания объектов	RU2268497C2	Кан Илья Александрович Лунин Константин Вячеславович Малистов Алексей Сергеевич Петричкович Ярослав Ярославович Солохин Антон Александрович Сомиков Василий Петрович Хамухин Анатолий Владимирович	Система и способ автоматизированного видеонаблюдения и распознавания объектов и ситуаций	2006-01-20— Публикация 2003-06-23— Подача
Системам тревожной сигнализации и защиты охраняемых объектов недвижимости от вторжения посторонних лиц	RU 2 251 154 C1	Низдрань С.Я. Харченко Г.А. Шептовецкий А.Ю. Яцык М.В.	Система охранно-пожарной сигнализации с видеоконтролем доступа	2005-04-27— Публикация 2004-08-11— Подача

Развитие промышленного сектора, особенно химического и нефтехимического производства, модернизация технологических процессов требуют усиленного внимания к вопросам пожарной защиты. Материальный ущерб и количество пострадавших от возгораний и детонаций увеличиваются с каждым годом. Данная проблема приобрела масштаб государственной важности.

Защита от взрывов базируется на двух фундаментальных подходах. Первый – предотвращает формирование взрывоопасной среды и устраняет источники воспламенения. Второй – минимизирует последствия детонации или блокирует ее распространение.

Реализация первого подхода основывается на глубоком анализе пожароопасных характеристик материалов и веществ, используемых на производстве. По результатам исследований происходит классификация объектов согласно действующим нормативам РФ. Второй метод предполагает внедрение специализированного оборудования и инновационных технологий для подавления взрывов.

Концентрационные пределы воспламенения играют весомую роль в определении взрывоопасности материалов. НКПВ служит основой для категорирования производственных объектов по степени пожаровзрывоопасности согласно СНиЛ П-90.81 и ПУЭ. При проектировании технологического оборудования специалисты применяют верхние и нижние пределы воспламенения для вычисления безопасных концентраций паров и газов. Данные параметры также необходимы при расчете допустимых значений взрывобезопасных концентраций летучих веществ в рабочих зонах, где могут присутствовать источники воспламенения. Современная наука располагает обширной базой данных по пределам воспламенения для большинства органических соединений. Ученые разработали точные методики расчета граничных показателей воспламеняемости как для отдельных веществ, так и для различных смесей с инертными компонентами.

Современное производство сталкивается с проблемой недостаточной изученности границ воспламенения многих пожаровзрывоопасных смесей. Особенно актуален этот вопрос для углеводорода в тех средах где избыток кислорода.

Промышленность активно применяет процессы окисления жидкофазного углеводорода чистым кислородом для производстве оксипродуктов. Во время производства образуются взрывоопасные смеси горючих веществ с кислородом. Разработка безопасных технологических схем требует поиска баланса: снижение концентрации кислорода повышает безопасность, но замедляет производственный цикл.

Флегматизация парогазовых смесей позволяет уменьшить их пожаровзрывоопасность. Галоидуглеводороды выступают самыми результативными флегматизаторами при горении органических веществ в воздушной среде. Однако исследования по флегматизации парогазовых смесей в условиях повышенного содержания кислорода пока малочисленны.

Водород считается одним из самых многообещающих энергетических ресурсов с неограниченными запасами. Однако масштабное внедрение этого элемента в промышленность тормозится необходимостью обеспечить безопасность при его добыче, перевозке и утилизации. Первостепенной задачей выступает определение допустимых границ воспламенения в составах типа водород-кислород-инертный компонент.

Исследователи уделяют особое внимание воздействию замедлителей горения на предельное давление при детонации смесей. Актуальность данных работ обусловлена практическим применением результатов в сфере безопасности.

Азотная кислота выполняет функцию окислителя и нитрующего реагента углеводородов в органической промышленности. Побочными продуктами производства становятся оксиды азота, преимущественно N_2O . Парогазовые смеси содержат оксиды и избыток углеводородов с оксидами азота- эта взрывоопасная составляющая требует тщательного изучения

пределов возгорания. Повышенное внимание во избежании взрыва Подобные исследования помогают глубже разобраться в особенностях химической кинетики процессов горения веществ органического происхождения при взаимодействии с N_2O .

Совершенствование методов флегматизации – приоритетное направление обеспечения взрывобезопасности в химической промышленности. Разработка инновационных ингибиторов горения и определение рациональных параметров их внедрения позволит существенно повысить уровень защиты производственных объектов.

Метод флегматизации успешно применяют при изготовлении битума на НПЗ. Процедура окисления тяжелых нефтяных фракций воздушным кислородом проходит в установках двух типов – непрерывного и периодического действия. При высокотемпературной обработке сырья концентрация паров нефтепродуктов может превысить минимальный порог воспламенения. В таких ситуациях безопасность производства обеспечивают путем снижения концентрации кислорода в парогазовом пространстве. Данный эффект достигают введением инертных газов в воздушные магистрали и паровую зону технологических аппаратов битумной установки.

Механизмы флегматизации взрывоопасных смесей базируются на методе снижения концентрации горючего вещества до значений ниже предельно допустимых. Данный подход широко применяется в промышленной безопасности.

При анализе процессов флегматизации необходимо разделить тепловые флегматизаторы на две основные категории. К первой относятся инертные компоненты, поглощающие часть тепловой энергии при горении без химических изменений – происходит лишь накопление физического тепла. Вторую категорию составляют сложные горючие добавки, замедляющие процесс горения обогащенных смесей.

Технология флегматизации позволяет эффективно предотвращать взрывы газоздушных смесей путем введения специальных компонентов.

При этом происходит модификация кинетики реакции горения и снижение температуры пламени. Данный метод зарекомендовал себя как надежный способ обеспечения пожаровзрывобезопасности на производственных объектах.

Инертные флегматизаторы поглощают избыточное тепло реакции, не вступая в химическое взаимодействие с компонентами горючей смеси. Это обуславливает их универсальность применения в системах противопожарной защиты.

Органические горючие флегматизаторы и распадающиеся эндотермические соединения демонстрируют комплексный механизм воздействия в пламенах насыщенных взрывчатых смесей. Данные вещества не проявляют специальных химических эффектов на кинетику реакций в пламени – их основная функция заключается в снижении температуры горения. При этом эффективность подобных добавок существенно превышает результативность инертных компонентов.

Высокая флегматизирующая способность обусловлена не только увеличенной теплоемкостью – параметром, растущим пропорционально усложнению молекулярной структуры. Главное преимущество данных веществ связано с их склонностью к эндотермическим трансформациям при экстремальных температурах. Благодаря этому свойству комплексные соединения, подверженные распаду в пламени, способны подавлять горение при концентрациях, значительно ниже требуемых для инертных добавок.

Избыточное горючее выступает наиболее действенным флегматизатором многих технологических процессов. Его применение упрощает производственные операции за счет отсутствия необходимости внедрения дополнительных веществ в реакционную среду.

Концентрация разрушающегося горючего вещества в насыщенной топливной смеси выступает основным фактором при установлении границ, где распространяется пламя.

Химическое подавление горения достигается внесением специальных добавок. Вещества-ингибиторы демонстрируют высокую эффективность даже при малых дозировках – около 1%. Такие составы способны значительно сократить диапазон воспламенения по сравнению с избытком топлива. Данный эффект подтвержден экспериментами с воздушными смесями, содержащими углеводороды, водород и монооксид углерода. Особую результативность показали галогенсодержащие соединения (бромхлорметан, бромметан, тетрахлорметан и молекулярный хлор).

Химически активные флегматизаторы воздействуют на горение путем разрыва реакционных цепей в ходе окисления топлива. Окисляющиеся компоненты конкурируют с ингибиторами за взаимодействие с активными центрами цепных процессов. Молекулы замедлителя или продукты его распада вступают в энергичную реакцию с активными промежуточными веществами благодаря повышенному химическому сродству к ним. В ходе этого образуются стабильные соединения, останавливающие развитие реакционных цепей. Введение замедлителей существенно уменьшает концентрацию реакционных центров. Например, галоиды и их производные интенсивно взаимодействуют с атомарным водородом – участником большей части цепных окислительных процессов.

Химически активные флегматизаторы находят применение преимущественно в защитных устройствах. При возникновении аварийных ситуаций данные вещества оперативно подаются в значительных объемах в область возгорания либо во взрывоопасную зону, трансформируя ее в инертную среду. По такому принципу функционируют разнообразные галоидсодержащие пламегасящие составы.

Эффект тушения огня галоидами усиливается благодаря замене атома водорода на галоген в последовательности $F \leq Cl \ll Br \geq I$.

Процесс подавления возгорания происходит за счет регенеративного ингибирования - восстановления начального состава или формирования промежуточных элементов, блокирующих активные очаги цепной реакции.

При этом новые компоненты активно связывают радикалы, препятствуя распространению пламени.

Общий пример :

– $\text{H}\alpha + \text{x} \rightarrow \text{Hx} + \alpha$, где: x – атом галогена;

– $\text{H}\alpha$ – водородосодержащее вещество.

механизм действия ингибиторов состоит в том, что радикалы H^+ , OH^- или O^{-2} , реагируя с ингибитором (его производным) исчезают и заменяются малоактивными атомами.

Например при использовании в реакции горения водорода простейшего ингибитора HBr ингибирование происходит по схеме:

– $\text{H} + \text{HBr} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Br}$;

– $\text{OH} + \text{HBr} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{Br}$;

– $\text{O} + \text{HBr} = \text{OH} + \text{Br}$.

Реакция регенерирования ингибитора:

– $\text{Br} + \text{H} + \text{M} = \text{HBr} + \text{M}$.

При работе с легковоспламеняющимися жидкостями и горючими газами возникает риск формирования взрывоопасных паровоздушных смесей. Данная угроза существует на всех этапах от добычи до применения ГГ и ЛВЖ.

Взрывоопасная атмосфера образуется при соединении различных веществ с окислителями. К таким веществам относятся газы, пары и пыль, а к окислителям – воздух, кислород, озон, хлор и окислы азота. Особую опасность представляют вещества с высокой склонностью к взрывному превращению – ацетилен, озон и гидразин.

Основные причины взрывов связаны с человеческим фактором и техническими неисправностями. Среди них нарушение регламента эксплуатации оборудования, утечки через неплотности соединений, избыточное давление в системах, перегрев агрегатов, недостаточный контроль технологических процессов, механические повреждения деталей.

В результате данных нарушений происходит замедление распространения пламени и сужение диапазона воспламенения горючих смесей. Это приводит к накоплению взрывоопасных концентраций и возможности детонации при появлении источника зажигания.

Инициаторами взрывного процесса выступают разнообразные источники (пламя, накалинные предметы, электрические искры, экзотермические реакции, механическое воздействие, детонационные импульсы и различные виды излучения).

Безопасность оценивают по нескольким параметрам (максимальные показатели давления и температуры, динамика роста компрессии, интенсивность ударной волны, разрушительная мощность взрывоопасных веществ).

В момент детонации потенциал вещества трансформируется в кинетическую энергию раскаленных газов. При расширении они создают мощное движение, сжатие и нагрев окружающей среды. Некоторый объем тепловой энергии сохраняется в расширившихся газах.

Масштаб разрушений напрямую зависит от объема высвобожденной энергии. Степень повреждений в эпицентре определяется концентрацией энергии на единицу пространства. Данные характеристики коррелируют со скоростью выделения энергии взрывоопасной системой, формирующей ударную волну.

В следственной практике выделяют два основных типа взрывов – химические и физические.

Химические взрывы сопровождаются превращением компонентов с интенсивным горением и масштабным тепловыделением в малый временной интервал. Эти процессы формируют значительные волны давления от эпицентра.

Физические взрывы происходят без химических трансформаций материалов и веществ.

Большинство непреднамеренных взрывных инцидентов возникает из-за воспламенения. Подобные ситуации часто фиксируются при операциях с ВВ на этапах производства, складирования и перевозки. Опасные события регистрируются в следующих случаях:

- при манипуляциях с взрывоопасными субстанциями на предприятиях химического и нефтехимического сектора;
- при утечках метана в многоквартирных зданиях;
- при работе с летучими либо сжиженными горючими материалами на всех стадиях – от изготовления до складирования;
- при очистке емкостей из-под жидкого горючего;
- при обработке пылеобразующих систем, а также при эксплуатации самовоспламеняющихся твердых и жидких компонентов.

Безопасная эксплуатация водородной энергетики требует внедрения современных теплофизических разработок. Специалисты создали инновационную трехмерную математическую модель, позволяющую рассчитать прогрев ограждающих конструкций при возгорании и распределении водорода внутри помещений.

Результаты численного моделирования помогли выявить главные особенности газодинамических процессов и теплообмена в условиях неравномерных концентрационных полей. Исследователи определили математическую зависимость между предельной высотой локальной взрывоопасной области над точкой поступления водорода и параметрами его массовой скорости натекания с учетом габаритов помещения.

Разработанная методика дает возможность проектировать эффективные системы эвакуации водорода из закрытых пространств. Инженеры предложили способы минимизации или полного устранения локальных взрывоопасных и пожароопасных зон. Новые технические решения обеспечивают раннюю диагностику аварийных ситуаций, их оперативную ликвидацию, защиту персонала и материальных ценностей при работе с водородом.

Численные эксперименты подтвердили реальность создания комплексной системы оперативного выявления утечек и возгораний водорода в замкнутых пространствах с помощью датчиков давления. Специалисты разработали методические указания по подбору оптимальных параметров и локаций для монтажа разнотипных детекторов системы противопожарной защиты помещений [6].

Эксперты составили новые инструкции и дополнили действующие регламенты безопасной эксплуатации водородных установок. Методология их совершенствования учитывает специфические условия каждого объекта.

Исследования показали, что основные характеристики процесса горения водорода при нормальном и повышенном давлении зависят от ускоренной аккумуляции тепла [7, 9, 23]. Горение водорода протекает по разветвленно-цепному механизму, определяющему особенности этого процесса при различных значениях давления [14, 20]. Научные изыскания охватили механизмы саморазогрева, формирования цепного горения и цепно-теплового взрыва.

Представлен анализ исследований пожароопасных характеристик водорода при нестандартных температурных режимах (отличных от 20°C) и давлении, не соответствующем атмосферному.

Основные векторы изучения пожарной безопасности водорода охватывают несколько аспектов. Первый – воздействие разнообразных флегматизирующих добавок и замедлителей реакции на взрывоопасные параметры водородных смесей, определяющих пределы распространения пламени и точку самовоспламенения. Второй – зависимость условий горения водородсодержащих композиций от температурного фактора и давления. Третий – особенности окислительных процессов при взаимодействии водорода с различными окислителями. Четвертый – специфика газодинамических и тепломассообменных явлений при возгорании водорода в замкнутых пространствах.

Указывается на недостаточную проработку ряда направлений, требующих дополнительных исследований для повышения уровня безопасности технологических процессов с применением водорода.

В процессе снижения температуры горения при добавлении в горючую систему инертных компонентов происходит замедление нормальной скорости пламени. Данные вещества не вступают в основную реакцию пламени, выполняя роль флегматизаторов.

По механизму действия тепловые флегматизаторы разделяются на две категории. Первая группа представлена инертными соединениями – CO_2 , H_2O , N_2 . В определенных системах такими веществами могут выступать HCl и CO . Их влияние на процесс горения обусловлено исключительно увеличением запаса физического тепла в зоне пламени без химических трансформаций.

Характерная особенность данных соединений заключается в отсутствии химического взаимодействия с компонентами реакции. Инертные вещества поглощают часть тепловой энергии, снижая общую температуру в зоне горения. Это приводит к замедлению распространения пламени и уменьшению интенсивности процесса.

Тепловые флегматизаторы второго типа представляют собой комплексные соединения, не принимающие участия в основном химическом процессе. Данные вещества снижают температуру горения благодаря эндотермическому распаду. Их разложение происходит при существенно более низких температурах в сравнении с простыми инертными компонентами.

В роли таких флегматизаторов выступают многокомпонентные горючие присадки к смесям с дефицитом окислителя. Эти добавки демонстрируют значительно большую эффективность замедления горения по сравнению с инертными продуктами. Подобный эффект достигается не только за счет увеличенной теплоемкости, но и высокотемпературных эндотермических трансформаций.

Показательным примером служит замедление взрывного распада ацетилена. При добавлении водорода, азота или оксида углерода в концентрациях, сопоставимых с содержанием ацетилена, наблюдается значительное увеличение критического давления $P_{кр}$. При этом введение всего 8,4% бутана приводит к двукратному росту данного параметра.

В технологических процессах самым действенным и практичным флегматизатором зарекомендовало себя дополнительное горючее вещество. Оценка минимально допустимой концентрации лишнего горючего базируется на подсчете общего кислородного баланса, при учете пропорций содержания окислителей и горючих компонентов согласно принципу унификации.

Стремление к ускорению множества технологических операций окисления требует повышения концентрации кислорода в обрабатываемой смеси. Однако данный процесс ограничивает рост взрывоопасности параллельно с увеличением кислорода. Специалисты выдвигали гипотезы о возможном росте содержания кислорода при его уравнивании аналогичным подъемом уровня пассивного флегматизатора – преимущественно водяного пара. Последний имеет особое преимущество: он легко устраняется путем конденсации на дальнейших этапах производственного цикла.

1.2 Применяемые технологии пожаротушения в организации

Ведущие инженеры и ученые со всего мира постоянно, на протяжении длительного времени работают над разработкой новых технологий пожаротушения. Они стремятся создать не только уникальные, но и современные методы тушения, наиболее эффективные и быстрые в зависимости от степени горения и распространения пожара на объектах. Новые технологии представляют собой различные вещества и компоненты,

входящие в их состав, применяемые с разной методикой и подходами к тушению пожаров на основе технических модификаций и разработок.

Каждая система работает по уникальному принципу, имеет свои технические характеристики и использует разные виды активных веществ.

Особый интерес представляет обзор новейших технологий пожаротушения. Эти технологии представляют собой настоящий прорыв в борьбе с пожарами и характеризуются высочайшей эффективностью и скоростью. Благодаря таким разработкам пожарные и спасатели смогут выполнять свою работу более эффективно и безопасно [9]. Теперь в их распоряжении уникальное и современное техническое оборудование, которое помогает им быстро, при минимальных затратах времени, локализовать и ликвидировать пожар на любой стадии горения, что дает максимальное уменьшение травматизации и летального исхода среди гражданского населения и участников пожара.

Инновационные решения в области ликвидации возгораний дают улучшенную защиту объекту, на котором они используются, а также эффективно показывают себя на решающем направлении при любом чрезвычайном случае. Они представляют собой последовательные исследования и разработки, которые обеспечивают эффективность и скорость в сложных ситуациях. В будущем, с развитием технологий, мы можем ожидать еще более уникальных и передовых решений противопожарной защиты. Тяжелые последствия пожаров, уносят жизни не только гражданского населения, но и жизни бойцов пожарных подразделений, тем самым говоря нам о необходимости принятия дополнительных мер по обеспечению безопасности населения и сохранности жилых объектов.

Для борьбы с пожарами важно обращаться к современным технологиям и средствам пожаротушения. Существуют различные типы огнетушителей:

порошковые, пенные, газовые и масляные. Каждый из них имеет свои преимущества и применяется в зависимости от типа пожара и его местоположения.

Одним из новых технологических достижений в области пожаротушения является автоматическая система пожаротушения. Эти системы могут быть установлены в различных зданиях: от жилых домов до крупных промышленных зданий. Они обнаруживают возгорание и автоматически активируют огнетушители для его тушения. Это позволяет ускорить процесс тушения и минимизировать риск граждан и утраты имущества.

Но несмотря на все технологические достижения, важно проводить превентивные мероприятия с населением в области пожарной безопасности. Проводить учения по ликвидации пожара подручными средствами, правильности эвакуации. И самое важное грамотно избегать случаи возгорания.

В заключение можно сказать, что развитие технологий и инновационных подходов к тушению пожаров является ключевым фактором борьбы с пожарами и минимизации их последствий. Помимо технических решений, важно также уделять внимание профилактическим мерам, просвещению населения и соблюдению правил пожарной безопасности. Это единственный способ обеспечить безопасность и спасти жизни и имущество.

Внедрение новейших разработок в области пожаротушения играет решающую роль в снижении количества жертв и материального ущерба, причиняемого пожарами.

Среди многих направлений развития пожаротушения выделяются исследования новых средств пожаротушения, способных эффективно бороться с различными видами пожаров. Кроме того, ученые также работают над разработкой новых средств пожаротушения и методов повышения

эффективности тушения пожаров. Это позволит тушить пожары быстрее и безопаснее, спасая жизни и имущество.

С развитием электронных технологий системы пожаротушения стали невероятно разнообразными и уникальными. Каждая технология имеет свои принципы работы, технические характеристики и тип действующего вещества. Современная эпоха характеризуется широким применением различных методов и технологий тушения. Однако при выборе технологии необходимо учитывать ее безопасность для человека.

Изучая различные методы тушения, мы можем выделить группу методов, которые могут быть опасны для человека. Хотя эти методы могут быть эффективны при тушении пожаров, они также могут представлять потенциальную угрозу жизни и здоровью спасателей или людей, находящихся вблизи места пожара. Поэтому важно уделять должное внимание безопасности и выбирать технологии пожаротушения, не представляющие опасности для людей.

В целом, развитие пожаротушения продолжает развиваться, появляется все больше и больше уникальных методов, позволяющих тушить пожары более эффективно и безопасно.

Существует несколько видов огнетушителей, которые включают в себя разнообразные принципы действия для ликвидации горения:

- При использовании в помещении газовые огнетушители с открытым горением, будет снижена концентрация кислорода, который необходим для горения, что в дальнейшем приводит к уменьшению или полной остановке химической реакции горения;
- порошковые огнетушители используют порошкообразное действующее вещество, которое при попадании на пламя сбивает температуру горения и после чего образует изолирующий слой на

поверхности горючего материала, препятствуя доступу кислорода и разделяя пламя на мелкие очаги, что приводит к его угасанию.

Специальный газ и порошок таким образом обеспечивают эффективный способ тушения пожаров и обеспечения безопасности в помещениях. Основным преимуществом этих методов является их способность быстро и эффективно контролировать пожар, предотвращать его распространение и потенциально спасать жизни и имущество. Важно помнить, что применение специальных газовых или порошковых огнетушителей должно осуществляться обученным персоналом с соблюдением всех перечисленных инструкций и мер безопасности. Кроме того, регулярное техническое обслуживание и осмотр оборудования необходимы для его надежной работы.

Также существует еще несколько методов тушения пожаров, которые являются эффективными и безопасными для человека:

- пенотушение, где специальная пена создает барьер, предотвращающий доступ кислорода к горючим материалам, что препятствует горению;
- водяное охлаждение, охлаждает горящие материалы, снижая температуру горения и ликвидирует очаг возгорания;
- тушение с воздуха основывается на принципе специальных оросительных каналов, через которые подается воздух, а после вода, что создает оптимальные условия для быстрого и эффективного тушения пожара;
- системы паводка, где используют воду в качестве активного агента.

Таким образом, существует несколько уникальных методов тушения пожара, каждый из которых имеет свои преимущества и способы применения в зависимости от характеристик пожара.

Еще одна из новейших разработок инженеров заключается в модификации аэрозольных систем пожаротушения, которые используются в различных типах помещений, включая промышленные объекты, склады, офисные здания, транспортные средства и другие объекты, где требуется надежная защита от пожаров.

Аэрозоль действует на нескольких уровнях:

- химическое подавление с пламенем, прерывая цепную реакцию горения;
- физическое подавление снижая температуру ниже точки воспламенения;
- изоляция, при которой создается аэрозольное облако и барьер, препятствующий доступу кислорода к горючим материалам.

Кроме того, следует отметить, что системы аэрозольного пожаротушения имеют ряд преимуществ перед другими методами пожаротушения. Для тушения пожара не требуется большого количества воды или химикатов, что делает их более экологически чистыми и экономически эффективными. Кроме того, аэрозольный туман способен проникать в труднодоступные места, что позволяет эффективно тушить пожары даже в самых ветхих условиях.

Современные системы аэрозольного пожаротушения также оснащены функциями самодиагностики и системами управления, позволяющими осуществлять постоянный контроль и поддержание идеальных условий для эффективного тушения пожара. Благодаря использованию передовых технологий и материалов системы аэрозольного пожаротушения становятся все более компактными, простыми в установке и обслуживании. Благодаря этому их можно успешно использовать в самых разных объектах и помещениях, включая дома, офисы, склады и производственные цеха.

Поэтому системы аэрозольного пожаротушения являются уникальным и эффективным способом тушения пожаров, обеспечивающим высокую огнезащиту по доступной цене. Их надежность, эффективность и безопасность делают их идеальным выбором для охраны помещений и защиты ценных активов.

«Огнетушащая смесь, образующая аэрозоль, за счет самовозгорания создает уникальный огнетушащий аэрозоль. Этот аэрозоль содержит различные мелкие частицы, а также частицы щелочных и редкоземельных металлов, N_2 , CO_2 и H_2O . Современные средства тушения пожаров аэрозолями основаны на использовании генераторов аэрозолей, которые можно разделить на два типа: механические и термомеханические. Но особенно эффективны при пожаротушении термомеханические генераторы, способные генерировать конденсат и механические аэрозоли» – так трактуют в своей работе Agafonov, V. V., Kopylov, N. P. Ustanovki [14].

Применение данных компонентов в системах пожаротушения существенно повышает эффективность тушения пожаров и снижает риск возникновения новых пожаров. Аэрозольные вещества, выделяющиеся при горении огнетушащего вещества, способны эффективно тушить пожар и проникать в труднодоступные места, где другие традиционные методы тушения могут быть затруднены.

Кроме того, генераторы аэрозолей очень портативны и могут использоваться в различных ситуациях, включая тушение пожаров на пожарных машинах, в жилых и коммерческих зданиях, а также на производственных предприятиях. Это делает их незаменимыми инструментами в борьбе с пожарами различного размера и характера.

Таким образом, аэрозольные средства и аэрозольные генераторы представляют собой уникальный и эффективный подход к пожаротушению, обеспечивая быстрое и безопасное тушение огня и защиту от последующих

возгораний. Их использование приобретает все большую популярность в сфере пожарной безопасности и считается одной из наиболее передовых технологий в области пожаротушения.

Одной из передовых систем тушения пожара являются автоматические системы пожаротушения и роботизированные комплексы встроенных в конструкцию здания, работая удаленно, при возникновении возгорания, чувствительные датчики дыма, мгновенно предупреждают персонал объекта, подают сигнал диспетчеру экстренных служб и осуществляют автоматическое тушение, ликвидируя очаг возгорания и предотвращая материальный ущерб. Это инновационное решение, обеспечивающее безопасность и защиту от пожара.

В сфере пожарной безопасности существует множество уникальных автоматических устройств пожаротушения. Эти системы представляют собой сложное взаимодействие различных элементов, включая баки с огнетушащим веществом, блоки управления, трубы и различные спринклеры. Главной особенностью этих систем является то, что они автоматически активируются при срабатывании пожарного датчика. Например, сразу после получения сигнала система может начать засыпку места пожара негорючим порошком для предотвращения доступа кислорода [20].

Несмотря на то, что данные системы пожаротушения являются дорогостоящими как в установке, так и в обслуживании, они находят свое широкое применение. Это могут быть промышленные предприятия, складские комплексы или объекты с особо ценными материалами и оборудованием.

В тоже время автоматические огнетушители обладают непревзойденной надежностью и скоростью реагирования на пожар. Благодаря интеграции современных технологий и систем управления эти устройства моментально реагируют на изменения окружающей среды и

обеспечивают своевременное тушение пламени. Даже в случае непредвиденных событий или сбоев в работе классических систем пожаротушения автоматическое пожаротушение способно эффективно справиться с угрозой.

В заключение следует отметить, что автоматические системы пожаротушения хоть и более дорогие, но являются необходимым средством предотвращения и тушения пожаров на территориях, где возможность утраты или повреждения превышает стоимость такой системы. Их надежность и оперативность делают их популярными на промышленных объектах и в других местах, где важны безопасность и защита активов.

Современный огнетушащий хладагент Novec1230 – прорывная инновационная разработка в сфере пожарной безопасности. Это ГВС отличает максимально оперативное подавление возгораний всех видов. Уникальные химические свойства состава гарантируют полную безопасность для персонала и материальных ценностей при его распылении. Экологичность данного средства подтверждена отсутствием вредных испарений и полной деградацией без остатка. Применение хладагента обеспечивает стремительную локализацию очага при нулевом воздействии на защищаемые объекты и атмосферу. Novec1230 расширяет технические возможности современных систем пожаротушения благодаря высокой результативности и экологической нейтральности.

«Уникальными свойствами хладагента Novec1230 являются его способность быстро тушить пожар, безвредность для людей и отсутствие повреждения мебели, документации и электроники» – так говорили в своих трудах Agafonov, V. V., Kopylov, N. P. Ustanovki [15].

Такое вещество не содержит хлора, поэтому является более безопасной альтернативой устаревшему фреону 114. Благодаря своим уникальным

свойствам Noves 1230 может эффективно тушить пожары классов А, В и Е, предоставляя дополнительное время для эвакуации и спасения.

Системы пожаротушения Noves1230 на основе хладагента стали базовым стандартом пожарной безопасности, будь то офисные здания, склады или промышленные объекты. Они не только обеспечивают надежную защиту от пожара, но и учитывают специфику каждого конкретного случая и обеспечивают высокий уровень безопасности для всех присутствующих.

Эффективность борьбы с лесными пожарами растет с каждым годом благодаря новым методам и средствам, применение которых приносит впечатляющие результаты. Авиация занимает в этом списке особое место. Раньше для тушения пламени использовалась вода, но с появлением специальных полимерных клеящих добавок все изменилось. Эти превосходные вещества почти вдвое увеличили эффективность тушения пожара.

Теперь, благодаря использованию пленкообразующего геля, самолету требуется меньший объем воды для тушения пожара на гораздо большей площади – до 80% большей. После распыления геля на огонь образуется толстая пленка, не позволяющая кислороду проникать к тлеющему углероду и дымовым газам, что предотвращает возможность повторного возгорания. Поэтому новые полимерные клеевые добавки поистине уникальны и хорошо зарекомендовали себя при борьбе с лесными пожарами [22].

Жидкость, используемая для борьбы с распространением огня на полях, позволяет действовать быстрее и эффективнее, чем использование трактора для создания борозды. Сбросить ленту можно в несколько раз быстрее, чем выполнить задачу машинами. Интересно, что даже сухая трава, покрытая липким раствором полимера, способна выдерживать огонь в течение нескольких часов, не причиняя вреда почве.

Применение в тушении электрооборудования, когда горящие провода становятся источником угрозы пожара, спасательные команды вынуждены действовать быстро и решительно. Классические методы тушения огня, такие как отключение электроэнергии перед началом тушения, могут оказаться неэффективными в критических ситуациях. В таких случаях, с использованием специальных огнетушителей, содержащих огнетушащий порошок или углекислоту, пожарные специалисты могут быстро и эффективно устранить угрозу.

Это необходимо, так как любая задержка может привести к серьезным последствиям, включая распространение огня и увеличение материальных потерь. Обученные и опытные пожарные команды, оснащенные современным оборудованием, способны успешно справиться с такими ситуациями и минимизировать риск возникновения пожара под напряжением.

Вывод по первому разделу: анализ технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси показал, что этот метод является эффективным способом снижения воспламеняемости и риска пожаров.

Флегматизация включает добавление инертных веществ к горючим смесям, что значительно уменьшает их способность к горению. Исследования показали, что использование современных флегматизирующих агентов, таких как наноматериалы и полимеры, позволяет достичь высокой эффективности и безопасности. Автоматизация процесса добавления флегматизирующих агентов обеспечивает точность и повторяемость, что является важным для промышленного применения.

Нормативно-правовое обеспечение технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси играет ключевую роль в их успешном внедрении и применении. Существующие нормативные документы и

стандарты регламентируют использование флегматизирующих агентов, обеспечивая их безопасность и эффективность.

Однако, несмотря на наличие нормативной базы, существует необходимость в дальнейшем развитии и актуализации стандартов, учитывая современные достижения науки и техники.

Анализ применяемых технологий пожаротушения в организации показал, что существует широкий спектр решений направленных на обеспечение пожарной безопасности - особенно высокий уровень защиты показала установка автоматических систем пожаротушения, таких как спринклерные системы, системы водяного тумана и газовые системы пожаротушения, позволяет быстро и эффективно локализовать, и потушить огонь. Ещё одним важным инновационным методом защиты являются современные системы обнаружения пожара, включая тепловые и дымовые датчики, обеспечивают раннее обнаружение пожара и активацию систем тушения.

Регулярное обучение и тренинги персонала, а также проведение упражнений по эвакуации, позволяют повысить уровень подготовки и готовности к действиям в случае пожара.

Внедрение инновационных технологий, таких как флегматизация горючей смеси, может значительно повысить эффективность пожаротушения и снизить риск для людей и окружающей среды.

В целом, организация должна стремиться к комплексному подходу в обеспечении пожарной безопасности, включающему использование современных технологий, регулярное обучение персонала и соблюдение нормативных требований.

Это позволит создать надежную систему защиты от пожаров и минимизировать возможные убытки и риски.

2 Исследование и внедрение инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси и разработка рекомендаций по их применению

2.1 Исследование инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси

Пожары – одно из самых страшных и разрушительных стихийных бедствий. Ежегодно они уносят сотни тысяч жертв и наносят огромный ущерб, не говоря уже о психологическом воздействии на выживших. Поэтому постоянное совершенствование и развитие технологий пожаротушения является важной задачей современности.

Одной из современных и инновационных технологий в области пожаротушения является жесткий подход к тушению пожаров. Этот метод основан на тщательном изучении процессов горения и разделении горючей смеси на отдельные сегменты для более эффективного контроля и тушения пламени. Главным преимуществом такого подхода является то, что он уменьшает количество используемого огнетушащего вещества и в тоже время сводит к минимуму риск вторичного пожара.

В последние годы проведено множество исследований по теме флегментации горючей смеси и ее применимости на практике. Ученые и инженеры разработали новые методы и технологии, позволяющие контролировать и контролировать процессы горения с учетом особенностей каждого отдельного случая. Однако, несмотря на значительные достижения в этой области, предстоит еще многое сделать для полной реализации этого подхода.

Одним из основных направлений исследований является определение оптимальных параметров флегментации для различных видов горючих смесей. Ведь каждая горючая смесь имеет свои уникальные свойства, что требует индивидуального подхода при разработке способов пожаротушения.

Некоторые легковоспламеняющиеся смеси можно более эффективно тушить флегмацией, тогда как другие могут оставаться более эффективными при использовании традиционных методов пожаротушения.

Еще одной важной целью исследований является разработка специализированного оборудования для тушения слизи. Поскольку такой подход к тушению пожаров отличается от традиционных методов, для его реализации необходимы новые средства и оборудование. Инженеры работают над созданием компактных и удобных устройств, способных эффективно контролировать и тушить горючие смеси в условиях пожара. Сюда могут входить специальные насадки, датчики и системы автоматического управления [16].

Одной из областей, где флегментация горючих смесей может быть использована с наибольшей пользой, является нефтегазовая промышленность. Работа на нефтяных и газовых платформах чрезвычайно опасна, а пожары на таких объектах могут привести к катастрофическим последствиям. Внедрение противопожарного подхода к тушению пожаров на нефтяных и газовых платформах может помочь предотвратить не только пожары, но и взрывы в случае утечки газа.

Проведение исследований по флегментации горючих смесей и разработка соответствующих рекомендаций имеют большое значение для обеспечения безопасности населения и сохранности имущества. К счастью, ученые и инженеры всего мира активно работают над этой проблемой и продолжают разрабатывать новые методы и технологии. В результате мы можем быть уверены, что дальнейшее тушение будет более эффективным и безопасным благодаря флегментации горючих смесей [21].

Возникает необходимость разработки новых уникальных противопожарных аэрозольных составов. Замена типовых компонентов, используемых в большинстве существующих составов, может привести к более эффективному и безопасному тушению пожара.

Изучение и использование альтернативных окислителей представляет собой одну из возможных стратегий создания уникальных аэрозолеобразующих составов. В современных системах пожаротушения применяют окислительные элементы – KNO_3 , KClO_4 , KClO_3 . Лаборатории активно ищут новые решения, способные заменить привычные компоненты более результативными аналогами.

Научные исследования демонстрируют перспективность модернизации формул горючих материалов и адгезивов. Инновационные разработки позволяют отказаться от классических эпоксидов, фенолформальдегидных полимеров и эластомеров в пользу передовых составов. Такой подход существенно увеличивает эффективность борьбы с возгораниями.

Примененный подход отличается комплексностью и учитывает современные требования к безопасности и экологичности компонентов. Модифицированные рецептуры обеспечивают стабильность характеристик и надежность при тушении пожаров различной сложности.

Но не только окислители и горючие играют важную роль в аэрозолеобразующих составах. Введение других компонентов, например, газификаторов, также может существенно повлиять на эффективность тушения. Например, использование углерода, дициандиамида и дифениламина в качестве пенообразователей может улучшить образование аэрозольной струи и распределение огнетушащего вещества при пожаре.

Поэтому разработка уникальных аэрозолеобразующих композиций является актуальной задачей, требующей исследования и разработки новых, более эффективных и безопасных компонентов. Использование альтернативных окислителей, топлива и газификаторов может привести к инновационным решениям пожаротушения.

При сгорании аэрозолеобразующих составов протекают сложные химические реакции с участием различных добавок. К ним относятся гуанидин, мина, мочевины и полимерные органические соединения. Данные компоненты регулируют интенсивность пламени и скорость процесса

горения. Продукты термического разложения АОС представляют собой многокомпонентную смесь. В состав которой входят: газообразные термодетергенты, диоксид углерода, азот, пары воды. Образуются химические ингибиторы в виде солей: карбонат калия, гидрокарбонат калия, хлорид калия, гидрокарбонат аммония, гидроксид калия, нитрит калия. Эти вещества эффективно подавляют распространение пламени за счет физико-химических механизмов воздействия. Этот состав позволяет эффективно тушить пожар и быстро тушить пожары. Химические ингибиторы, содержащиеся в аэрозолях, играют важную роль в процессе остановки горения и предотвращения распространения пламени. Кроме того, они специально разработаны для использования в аэрозольных конструкциях и обладают множеством полезных свойств. Например, они могут быть стабильны при высоких температурах и эффективно работать даже при низких концентрациях. В результате огнетушащие аэрозоли становятся важным средством борьбы с пожарами и обеспечивают безопасность в различных сферах жизни.

При сгорании АОС образуется смесь диспергированных веществ – конденсированные частицы размером от 1 до 5 микрон. Химический состав газо-аэрозольной фазы напрямую зависит от молекулярной формулы исходного топлива и конфигурации ГВА. Производители указывают в паспорте изделия полный перечень компонентов, выделяемых генератором во время работы, согласно требованиям нормативной документации [18].

В газовой фазе образования продуктов горения огнетушащего аэрозоля размером 10 мкм преобладают азот и диоксид углерода. Это говорит о том, что такие газоаэрозоли имеют наибольшую огнетушащую эффективность. Действительно, частицы, образующиеся при сгорании таких аэрозолей, имеют минимальные размеры: меньше 1 мкм – 52%, от 1 до 2 мкм – 24%, от 2 до 5 мкм – 16%, больше 5 мкм – 8%. Также следует обратить внимание на АОС ПТ-4 и ПТ-50, чьи частицы составляют: меньше 1 мкм – 60%, от 1 до 2 мкм – 22%, от 2 до 5 мкм – 10%, больше 5 мкм – 8%. На основе этих данных

можно сделать вывод о том, что частицы с меньшим размером обеспечивают более эффективное тушение пожара.

Таким образом, газоаэрозоль с мельчайшими частицами благодаря своему равномерному распределению во всем защищаемом объеме, является длительным средством тушения огня.

Эффективность объемного аэрозольного пожаротушения обусловлена несколькими механизмами. Высокодисперсные твердые частицы аэрозоля (K_2CO_3 , KCl , KOH , $KHCO_3$) подавляют химические реакции в пламени. АОС охлаждает зону возгорания - разбавляет горючую среду диоксидом углерода, азотом и парами воды.

Благодаря уникальному составу – карбонатам, хлоридам, гидрокарбонатам, гидроксидам и инертным газам происходит формирование аэрозоля это непосредственно при тушении возгорания усиливает его огнетушащие свойства

Данный комплекс компонентов позволяет оперативно локализовать и устранить очаг пламени.

Особую роль в образовании аэрозоля играет взаимосвязь частиц в зоне горения. Исследование данного процесса требует детального анализа молекулярных эффектов. К примеру, свежая активная поверхность элементов способствует рекомбинации радикалов пламени, существенно влияя на морфологию и компонентный состав аэрозольного облака.

Аэрозольно-дисперсные частицы демонстрируют уникальное свойство длительного существования в воздушной среде. Газоаэрозольная система способна сохранять активность до 40 – 50 минут благодаря непрерывной трансформации внутренней организации. При горении АОС происходит интенсивное образование взвеси – один грамм вещества генерирует 0,3 – 0,5 литра смеси. Во время взаимодействия мельчайших частиц формируется динамичная структура с изменяющимися физико-химическими параметрами. Продолжительное витание аэрозоля в пламени обусловлено

высокой степенью измельчения компонентов и их постоянным перераспределением в объеме.

Таким образом, изучение структуры и динамики аэрозоля в пламени является важной задачей, которая требует учета различных факторов, влияющих на его образование и развитие. Обширные исследования в этой области позволят получить более полное представление о процессах, происходящих в пламени и их влиянии на состав и свойства аэрозоля.

Содержание физических и химических элементов в атмосфере подвержено колебаниям со временем. Уже на момент возникновения аэрозольной системы, состоящей из ультрадисперсных частиц калиевых солей, происходят интересные и сложные процессы, в которых выделяются структуры, включающие в себя воду и CO_2 .

Более того, эти ультрадисперсные частицы обладают уникальными свойствами, которые позволяют им формировать структуры, сохраняя при этом сбалансированное содержание воды и CO_2 . Это позволяет им играть важную роль в климатических процессах и влиять на состояние атмосферы.

Помимо этого, важно учитывать, что содержание солей калия и других элементов в атмосфере может изменяться со временем под влиянием различных факторов, таких как природные и антропогенные процессы. Эти изменения могут влиять на то, как формируются и взаимодействуют структуры в атмосфере и, в конечном счете, на климатические условия на планете [17].

Изучение и понимание формирования и взаимодействия структур с содержанием воды и CO_2 в аэрозольной системе является важным направлением в научных исследованиях в области климатологии. Это дает возможность лучше понять и прогнозировать климатические изменения и разработать меры для их смягчения.

Комбинирование ингибиторов с флегматизаторами создает мощный огнетушащий эффект. АОС, образующийся при горении составов с добавками дициандиамида и дифенилметана, демонстрирует превосходные

показатели тушения пламени. Высокая результативность обусловлена особым механизмом воздействия на очаг возгорания. При снижении уровня O_2 либо росте концентраций CO_2 , H_2O , N_2 огнетушащие характеристики газоаэрозольных смесей значительно улучшаются.

Для формирования ОАС и ГАОС применяются специальные пропорции огнетушащих и огненных компонентов. Исследования [17] подтверждают – низкая концентрация инертных газов минимизирует вероятность самовоспламенения. Данный факт позволяет существенно сократить расход огнетушащей массы при сохранении эффективности тушения.

При тушении пожаров газовая фаза оказывает незначительное воздействие на процесс прекращения горения, а механизм понижения концентрации кислорода практически не работает.

Для поддержания процесса горения требуется минимальное количество O_2 . Газовые компоненты CO_2 и H_2O способны усилить эффективность аэрозолей за счет увеличения объема продуктов горения. Согласно исследованиям [24], повышенная влажность существенно улучшает огнетушащие характеристики солей Na и K. При возгорании АОС формируется оксид калия K_2O , вступающий в химическое взаимодействие с углекислым газом либо водой.

Существует несколько вариантов получения K_2CO_3 : с образованием K_2CO_4 , или KOH, или одновременно с CO_2 и H_2O с образованием $KHCO_3$. Когда объем газовой фазы и аэрозоля уменьшается, это приводит к тому, что концентрация твердой фазы в единице объема аэрозоля возрастает.

При наличии в аэрозоле взвешенного состояния, он может обеспечить поддержание огнетушащей концентрации.

Периодически на защиту приходится затрачивать достаточно длительное время.

Количество времени. В результате, в системе газоаэрозольного тушения объемным способом используются преимущества огнетушащего действия порошков и газовых средств.

С помощью флегматизации и способа поглощения, аэрозоль может стать транспортёром CO_2 и H_2O .

Эти газы могут попасть в зону возгорания, а также непосредственно на место тушения. Эти газы будут сжигаться в течение определенного периода времени.

Флегматизационный газ, используемый для создания безопасной концентрации взрывоопасных веществ, может составлять до 0,5 литра на грамм. Однако для достижения флегматизационной концентрации от 25 до 50 литров, этого объема газа будет недостаточно. При концентрации флегматизирующего газа в 50 г/м^3 , его объем составит лишь 0,9% по отношению к общему объему газовой смеси.

Это количество совершенно недостаточно, чтобы обеспечить флегматизацию только углекислого газа (CO_2) минимальные флегматизационные концентрации для CO_2 , N_2 и водяного пара составляют от 26 до 55%. Данные факты указывают на то, что эффективность флегматизации будет определяться не только концентрацией газов, но и их совокупным действием.

Флегматизация легковоспламеняющихся систем с помощью активных компонентов требует детального анализа. Исследования механизмов подавления пламени сосредоточены на изучении ингибиторных свойств и теплопоглощающих характеристик веществ. АОС демонстрируют неодинаковую результативность при различных показателях газообразования.

Экспериментальное определение эффективности флегматизации позволяет выявить особенности взаимодействия газовой фазы и аэрозольных компонентов. Комплексный подход к изучению данного феномена открывает перспективы создания инновационных методов пожаротушения.

Лабораторные испытания помогают установить оптимальные параметры применения огнетушащих составов. Анализ полученных данных способствует совершенствованию технологий борьбы с возгораниями. Практическое значение результатов исследований заключается в разработке эффективных способов подавления пламени с учетом специфики горючих материалов.

Определение критериев безопасности и надежности систем пожаротушения базируется на фундаментальном понимании процессов флегматизации. Теоретическое обоснование и практическая проверка гипотез обеспечивают развитие этого научного направления. Полученные результаты данных экспериментов будут полезны не только для науки, но и для практического применения, например, в разработке новых тушащих систем для пожаротушения.

В ходе опыта, проводимого по следующей методике, было использовано гексан C_6H_{14} в качестве горючего вещества. Навеску АОС помещали в цилиндр объемом 0,5 л и воздействовали огнём, после чего добавляли необходимое количество газа и соответствующую порцию гексана. Все смешивалось и затем воспламенялось.

Исследование показало, что, как показано на рисунке 1, время взрыва составляет 0,25 секунды. Концентрация гексана в смеси является стехиометрической, а концентрация аэрозоля составляет 30 граммов на кубический метр. Кроме того, концентрация CO_2 в результате взрыва составляет 7 процентов.

На рисунке 1 показан один из интересных аспектов эксперимента, который заключается в рассмотрении распространения пламени при использовании газоаэрозоля для флегматизации стехиометрической гексановоздушной смеси. Такие данные помогают нам лучше понять и применить их на практике, как происходит взрыв, его распространение и какие факторы влияют на его характеристики.

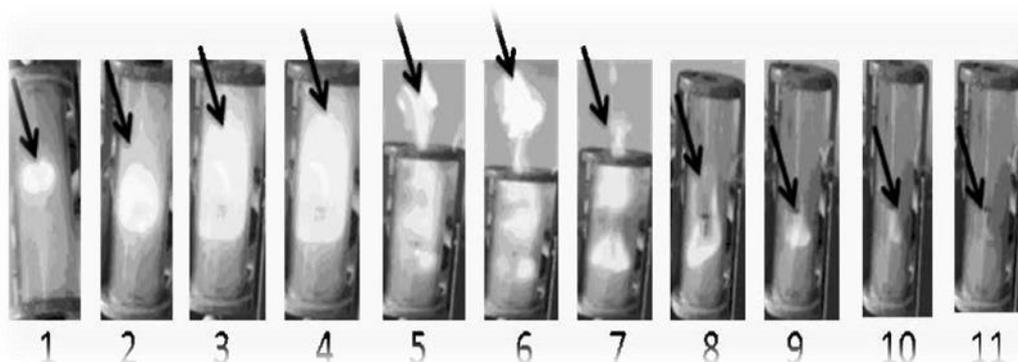


Рисунок 1 – Распространение пламени при флегматизации стехиометрической гексановоздушной смеси газоаэрозолем

Инновационное решение в пожаротушении – уменьшение размера частиц порошковых составов. Данный метод демонстрирует высокую результативность при локализации возгораний. Однако хранение измельченных ОП сопряжено с рядом сложностей, а их применение требует специализированного оборудования для транспортировки.

Альтернативой выступают твердые ВР, которые при сгорании образуют комбинацию из инертных газов и мельчайших аэрозолей.

Balaniuk, V. M., Shcherbina, O. M., Grimaliuk, B. T., Kit описывают в исследовании [18] состав огнетушащей композиции: «25–86% галогеновых соединений с термическим разложением (гексахлорбензол, гексабромбензол, перхлорпентациклодекан, дибромтолуол), 15–45% хлоратных окислителей и перхлоратов К или Na, до 50% нитрата и перхлората аммония либо нитрата калия/натрия, плюс эпоксидные смолы, полиэферы, полиуретаны в качестве связующих компонентов».

В составе смесевое твердого ракетного топлива, содержащего окислитель и связующий компонент, галоген присутствует в виде однородной дисперсии. Горение сформированного заряда приводит к образованию газоаэрозольной смеси с мощным огнегасящим эффектом. Технология свободного литья позволяет создавать композицию с превосходными физико-механическими параметрами шихты.

Основной минус данной рецептуры – применение галогенсодержащих элементов, при сгорании выделяющих агрессивные и токсичные продукты. Дополнительным недостатком служит нестабильность галогенных компонентов во время длительного хранения.

На основании вышеизложенного возникает необходимость создания инновационного огнетушащего состава. Он должен обеспечивать результативное подавление и флегматизацию паро-газо-воздушных горючих смесей при минимальной токсичности продуктов сгорания и низкой коррозионной активности.

«Для достижения поставленной цели предлагается использовать состав неорганических солей кислородных кислот хлора или азота в количестве 50,0–76,0 мас. %, оксалат натрия в количестве от 2,70 до 15,0 мас. %, эпоксидная смола в количестве 9,68–22,22 мас. %, малеиновый ангидрид в количестве от 3,50 до 9,22 мас. %, дибутилфталат в количестве от 2,33 до 11,98 мас. % и тиокол в количестве от 0,19 до 5,56 мас. %.» – так определяет Balaniuk, V. M., Grymaniuk, G. T., Kyt, J. V., Levus, J. S сущность этого понятия [17].

Перхлорат калия применяют как основной окислитель, дополнительно используют перхлорат аммония или нитрат калия. Горение состава генерирует инертные газы и мельчайшие аэрозольные частицы соединений щелочных металлов, обеспечивающие подавление и тушение возгорания.

В замкнутых пространствах высокодисперсный аэрозоль создает устойчивую защитную среду, блокирующую вероятность повторных загораний на длительный период.

Добавки хромита меди, оксида железа, ферроцена или диацетилферроцена регулируют интенсивность процесса горения. Лецитин оптимизирует производственный цикл. Продукты термического разложения демонстрируют минимальную коррозионную агрессивность и безопасность для человека.

Связующий компонент позволяет наносить состав распылением и гарантирует надежные физико-механические характеристики. Измерения прочности материала в МПа показывают стабильные результаты.

При производстве высокодисперсного аэрозоля в основу закладывают перхлорат аммония и нитрат калия. Качественную композицию создают путем добавления смеси перхлората калия, перхлората аммония или нитрата калия и оксалата натрия. Связующие компоненты подбирают с учетом прочности на сжатие. Модуль упругости при сжатии составляет E_{sz} 900–1750 [24].

Все ингредиенты композиции необходимо соблюдать в строгих пропорциях. При снижении концентрации твердых наполнителей ниже допустимого значения продукты горения выделяют горючие газы. Данный фактор делает невозможным применение флегматизирующих составов внутри помещений.

Технологический процесс начинается с внесения эпоксидной смолы, дибутилфталата и тиокола. Компоненты перемешивают 10–15 минут при температурном режиме 313–333 К. На следующем этапе вносят малеиновый ангидрид и продолжают перемешивание еще 10–15 минут. Дополнительные элементы добавляют поэтапно. После каждого внесения массу вакуумируют и размешивают при температуре 313–333 К. Длительность полного цикла перемешивания достигает 90–120 минут.

Процесс производства начинается с перемешивания исходных компонентов. Композицию заливают в специальную форму и выдерживают в диапазоне от 48 до 240 часов при температурном режиме 313–333 К до полного затвердевания. После этого механически обрабатывают извлеченные ступицы. Каталитические добавки смешивают параллельно с наполнителями. Лецитин добавляют к эпоксидной смоле и пластификаторам для оптимизации процесса обработки состава.

Balaniuk V.M [19] описывает технологические особенности изготовления патронов разнообразной конфигурации. Масса изделий

варьируется от нескольких граммов до десятков килограммов. Производственный процесс позволяет создавать канальные, многоканальные, щелевые и сферические формы с различным соотношением длины к диаметру. Эксперименты по оценке эффективности флегматизирующих составов проводились на лабораторной установке (объем – 3 м³, диаметр – 0,09 м, высота – 0,47 м) согласно патенту. Результаты представлены в таблице.

2.2 Разработка программы внедрения инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси и разработка рекомендаций по их применению

Газообразные и аэрозольные составы существенно усиливают эффективность пожаротушения. Комбинация флегматизаторов с аэрозолем уменьшает минимальную концентрацию тушащего вещества на 40%. Над слоем ОП формируется газовая прослойка с максимальным содержанием компонентов для тушения, подавляющая диффузное горение и флегматизирующая горючие материалы. Эксплуатационные характеристики систем противопожарной безопасности напрямую зависят от качества применяемых порошковых составов [2].

Основные механизмы воздействия на очаг возгорания: подавление распространения пламени, снижение температуры, образование защитного барьера. При нагреве до точки пиролиза твердого топлива материал расплавляется, создавая термостойкую пленку на поверхности. Данный процесс блокирует химические реакции горения.

Большинство экспертов считают, что высокая результативность порошковых смесей обусловлена их физико-химическими свойствами.

В производстве аэрозолепорошковых огнетушителей определяющим фактором служит химическое взаимодействие порошка с пламенем. Научные эксперименты подтверждают ингибирующие свойства неорганических и

органических солей щелочных металлов. Специальная литература описывает механизм химического пожаротушения данными веществами, благодаря которому они эффективны в составе АОС.

Лабораторные исследования различных солей – карбонатов, оксалатов, формиатов, ацетатов, тартратов, алофанатов – демонстрируют градацию ингибирующей активности:

$\text{LiF} > \text{LiCl} > \text{NaF} > \text{KF} > \text{NaCl} > \text{KJ} > \text{NaJ} > \text{NaBr} > \text{KCl} > \text{K}_2\text{CO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaSO}_4 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaCO}_3$.

При тушении твердых горючих материалов важна теплопоглощающая способность ОП – она обеспечивает охлаждение и блокировку поверхности от кислорода воздуха.

Специалисты в области химии установили высокую результативность фосфатных соединений и формиата аммония при охлаждении фазовых химических реакций. Лабораторные испытания определили зависимость теплового воздействия ОП от химического разложения компонентов в период снижения температуры.

Анализ показал малую долю теплоемкости – лишь 11,6–18,1% в совокупном энергобалансе. При этом экспериментальные данные свидетельствуют о необходимости учета всех факторов при выборе химических веществ для охлаждающих систем.

Вывод по второму разделу: исследование инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси показало, что этот метод является перспективным и эффективным способом снижения воспламеняемости и риска пожаров.

Флегматизация включает добавление инертных веществ к горючим смесям, что значительно уменьшает их способность к горению. Исследования показали, что использование современных флегматизирующих агентов, таких как наноматериалы и полимеры, позволяет достичь высокой эффективности и безопасности.

Автоматизация процесса добавления флегматизирующих агентов обеспечивает точность и повторяемость, что является важным для промышленного применения.

Разработка программы внедрения инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси включает несколько ключевых этапов, таких как детальный анализ текущих технологий и процессов, используемых в организации и разработка плана внедрения, включающий выбор подходящих флегматизирующих агентов, а также установку необходимого оборудования и обучение персонала.

Рекомендации по применению технологий флегматизации включают:

- определение наиболее подходящих инертных веществ для конкретных горючих смесей, используемых в организации;
- внедрение автоматизированных систем для добавления флегматизирующих агентов, обеспечивающих точность и повторяемость процесса;
- проведение регулярных тренингов и обучения персонала по использованию новых технологий и мерам безопасности;
- оценка экономической эффективности и анализ затрат на внедрение технологий флегматизации и потенциального снижения убытков от пожаров.

Таким образом, программа внедрения и рекомендации по применению технологий флегматизации позволяют значительно повысить уровень пожарной безопасности в организации, минимизировать риски и обеспечить надежную защиту от пожаров.

3 Опытнo-экспериментальная апробация программы инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси

3.1 Процедура программы внедрения инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси

Исследования применения флегматизирующих газов в составе средств пожаротушения демонстрируют существенное усиление подавляющего эффекта при добавлении минимальных доз азота в аэрозольный состав. Комбинированное действие аэрозоля с азотом значительно повышает результативность подавления пламени и флегматизации в пожаре..

Опытным путем установлены основные параметры, которые определяют качество тушения при использовании различных ВР.

Анализ ТВС определил перспективность изучения компонентного состава:

- твердофазный огнетушащий аэрозоль (комплекс неорганических солей калия – K_2O , $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$, $KHCO_3$, KOH , KCl , KNO_2);
- ОП на основе фосфатов аммония;
- ГВРР – азот и/или углекислый газ.

Современные разработки в области комбинирования порошковых составов с аэрозольными компонентами открывают новые возможности пожаротушения. Эксперименты указывают на необходимость определения рациональных пропорций и механизмов синергии данных веществ. Специалисты анализируют ингибирующие свойства ОП и различных модификаций АОС для создания результативных огнетушащих композиций. Лабораторные исследования фокусируются на изучении параметров и химических свойств составляющих АГПС, влияющих на подавление пламени. Ученые стремятся получить максимальную эффективность при минимальном расходе тушащих агентов за счет усиления взаимодействия

между компонентами смеси. Экспериментальные данные помогают совершенствовать технологии пожаротушения и разрабатывать инновационные средства борьбы с возгораниями.

Важность применения тернарных смесей огнетушащих веществ для обеспечения безопасности в замкнутых и полужамкнутых пространствах вытекает из результатов осмотра, где подняты вопросы воздействия компонентов газоаэрозольно–порошковых составов на способность углеводородных сред к флегматизации.

Эти смеси, такие как огнетушащий аэрозоль, огнетушащий порошок ABC и газовое огнетушащее вещество–разбавитель, выполняют ряд функций, таких как ингибирование, теплопоглощение, разжижение и изолирование. Эффективность антипожарной защиты обеспечивается чередованием этих процессов в ходе применения средств тернарной флегматизации.

Для обеспечения безопасности от пожаров различных классов А, В, С, F и E важно изучить процесс флегматизации газо-аэрозольно-порошковых смесей в замкнутом (полужамкнутом) пространстве объекта противопожарной защиты. Эффективность этого процесса, выявление его особенностей являются ключевыми шагами для создания систем пожаротушения и флегматизации.

Системы широко используются для обеспечения безопасности объектов, подверженных риску возникновения пожаров классов А, В, С и E, а также для разработки систем обнаружения пожаров на основе пожароопасных средств.

Удаление мокроты и тушение пожаров – две важные задачи, с которыми сталкиваются спасатели каждый день. Одни специалисты занимаются предотвращением пожаров, другие же – устранением последствий. Важно помнить, что эти процессы требуют не только профессионализма, но и быстрой реакции на любую ситуацию.

В исследовании эффективности смесей огнетушащих веществ рассматривается необычный метод экспериментального определения. В целях уменьшения пламени, возникающего при сгорании АУС, проводится сжигание в камерах или цилиндрах.

В исследовании С.С. Даниловой предложена конструкция с использованием металлического цилиндра (высота – 30 мм, диаметр – 40 мм) с оснащением специальной сеткой. Такая сетка выполняет двойную функцию: подавляет пламя и охлаждает зону горения [2].

Методика определения результативности тушения состоит из нескольких этапов. Первоначально в камере происходит сгорание АУС, после добавляется рассчитанный объем ГВРР. На завершающем этапе компоненты перемешиваются, а через специальное отверстие вводится гептановая горелка для фиксации параметров.

Экспериментальный стенд, изображенный на рисунке 2, демонстрирует комплексное воздействие различных факторов на подавление возгорания. Установка позволяет создавать единую огнетушащую композицию из всех составляющих для получения точных результатов их совместного действия.

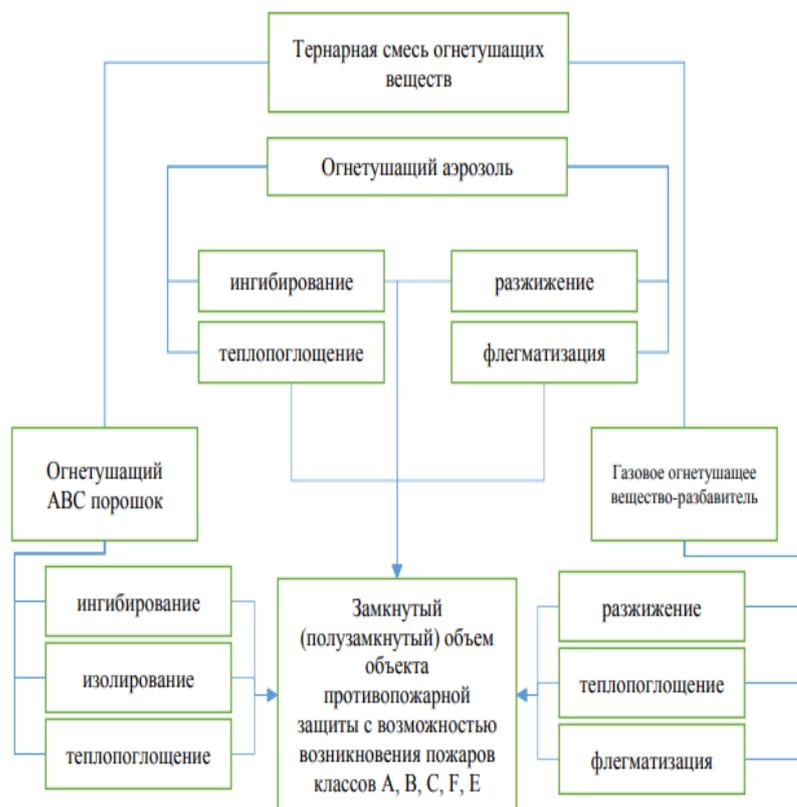


Рисунок 2 – Комбинированное влияние факторов на процессы прекращения горения

В современной научной литературе не найдены проработанные методологические алгоритмы определения необходимых параметров аэрозольного пожаротушения. Существующие технологии измерения минимальной взрывоопасной концентрации применяются лишь к порошковым и газовым составам – веществам с принципиально иным механизмом подавления горения. Однако специалисты адаптировали методику для расчета концентрационных показателей тернарных огнетушащих систем, состоящих из аэрозоля, порошка и газа-разбавителя [3]. Данное решение позволяет эффективно оценивать комбинированные средства пожаротушения нового поколения.

Предложенный автором метод камеры определения МВК является инновационным и эффективным.

Смешивать воздух с топливом и подавать его через горелку может быть неэффективным способом для пожароустойчивости аэрозольных средств.

Аэрозольные средства содержат в себе твердые частицы солей калия, газы CO_2 , N_2 и H_2O . Мы предлагаем использовать методики, разработанные для газовых средств пожаротушения, с некоторыми изменениями, чтобы определить пожароустойчивость аэрозоля. Проведенный анализ методик показал, что некоторые из них не подходят для таких целей.

При борьбе с возгоранием огнетушащий аэрозоль распределяется в помещении и взаимодействует с пламенем по всей площади. Данный механизм отличается от реального воздействия АОС на очаг пожара. Исследователи отмечают многовекторное влияние аэрозольного состава на процесс горения. Подобный эффект проявляется исключительно при прямом контакте АОС с языками пламени, однако существующие методики не позволяют достичь такого результата.

Альтернативный метод предполагает контакт огнетушащего аэрозоля с источником возгорания в изолированной среде. Такие условия не соответствуют реальной обстановке при ликвидации пожара с помощью АОС. Согласно регламенту, процедура горения активированных углеродных структур требует принудительной вентиляции для равномерного распределения и охлаждения аэрозоля в камере [1].

Применение данной методики искажает итоги тушения из-за отсутствия аналогичных процессов в реальных условиях. Принудительное перемешивание способствует агломерации частиц АОС, противореча базовым принципам порошкового пожаротушения, описанным в научной литературе [2].

С увеличением размера порошковых частиц уменьшается их способность тушить огонь, что является результатом. Важно отметить, что для проведения экспериментов с использованием объемной камеры в 170 литров необходимо значительное количество огнетушащего вещества. Это приводит к высоким затратам на проведение испытаний [4, 11].

Методические указания ВНИИПО предоставляют комплекс инструментов для анализа результативности и характеристик порошковых

компонентов при пожаротушении. Современные технологии позволяют усовершенствовать измерения концентраций огнетушащих составов. Инновационная методика дает возможность определить действенность ОП и композиций флегматизаторов.

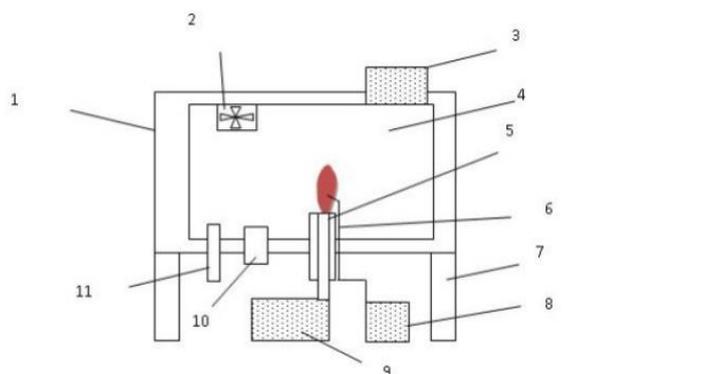
Лабораторные испытания газопорошковых комплексов в специализированной камере потребовали серии опытов с АГПС различной композиции. Анализировалась корреляция между результативностью подавления горения и пропорциями инертных газов в аэрозольной фракции, а также долей порошкового компонента. Дисперсность частиц распределялась следующим образом: аэрозольная составляющая – 20 мкм, порошковая – 100 мкм. В экспериментах применялись легковоспламеняющиеся материалы.

Определение эффективности флегматизации огнетушащей смеси проводили с применением специального тигля. В нем размещали н-гептан, а термопару подключали к регулятору-преобразователю РТ-0102. Далее сигнал поступал в РП-8 – программу цифрового измерения снижения температуры. Данный метод позволяет изучать взаимодействие всех элементов ТВС синхронно. Исследования проводили в металлической камере объемом 175 л [10]. В ней анализировали результативность подавления и флегматизации комбинацией аэрозоля, ГВС и ОП.

Контроль возгорания осуществляли при помощи термопары: 10-граммовой зажигательной смеси из алюминиевого порошка и нитрата калия, которую выталкивал идитол.

Металлическая фольга из алюминия удерживала смесь непосредственно над отраженной пламенной поверхностью горючих материалов и огня класса А. Мониторинг показал что длительность процесса горения смеси варьировалась в диапазоне 35–39 с.

Рисунок 3 демонстрирует термоустойчивое основание из металла со смотровым окном повышенной жаростойкости.



1 – корпус камеры; 2 – вентилятор; 3 – отверстие для продувки камеры; 4 – смотровое окно; 5 – гептановая горелка; 6 – термопара хромель-алюмелевая; 7 – стойки; 8 – регулятор-преобразователь РТ-0102; 9 – подогреваемый резервуар с гептаном; 10 – источник зажигания АУС; 11 – труба подачи газового огнетушащего вещества – разбавителя

Рисунок 3 – Экспериментальная установка для определения огнетушащей эффективности смесей огнетушащих веществ

Определение эффективности тушения ТВС проводят в несколько этапов. В камеру засыпают ОП, после поджигают АОС аэрозольным способом. Газопорошковую смесь подают в камеру синхронно с воспламенением горючего состава. Эксперимент выполняют при температуре 2000°С на деревянной поверхности либо над н-гептаном.

Наблюдение за признаками возгорания древесины длится 40 минут с момента заполнения емкости АГПС. Аналогичным методом изучают флегматизирующие характеристики трехкомпонентной смеси.

Экспериментальная установка представляет стеклянный резервуар емкостью 0,5 л. Внутри находится высоковольтный воспламенитель. Цилиндрическую конструкцию герметично закрывают сверху и снизу. В верхней части размещена пробка с отверстием, в нижней – источник поджига. К корпусу прикреплен каркас с вертикальными стойками и газоподводящая магистраль. АУС активируют посредством спиральной системы розжига.

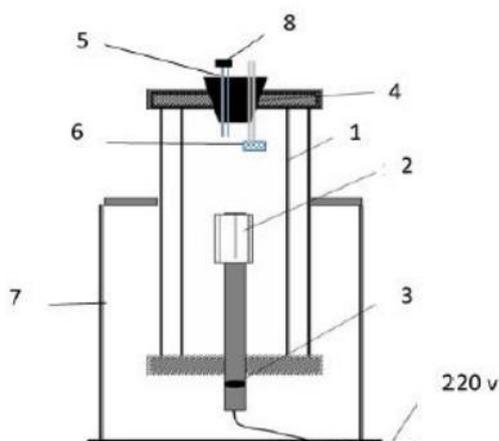
При выполнении эксперимента инженеры нагрели цилиндрическую емкость до температуры 50°С. На следующем этапе внесли рассчитанный

объем н-гептана – данное количество позволило получить концентрацию, максимально приближенную к стехиометрической. Специалисты произвели сжигание аэрозольно-углеродной суспензии внутри цилиндра, добавили расчетный объем N_2 . Полученную композицию тщательно перемешали и инициировали горение под давлением.

Лаборанты фиксировали разные варианты протекания реакции: «взрыв», «отказ», «замедленное». Дозирование газообразных компонентов осуществлялось поршневым дозатором на 100 мл. Воспламенение смеси происходило с помощью электрической спирали.

На фоне пурпурного заката рассыпается звездное небо, искрящееся сверкающими огнями. Пламя страсти разгорается в темноте, разливаясь струями яркого света. В этой бурной симфонии пылающего красноречия уходит и забывается таинственное «горение».

На рисунке 4 показан экспериментальный аппарат, который является основой для проведения исследования влияния добавления азота в огнетушащий аэрозоль.



1 – стеклянный корпус цилиндра; 2 – электро-зажигатель; 3 – кнопка электровоспламенителя; 4 – резиновая пробка; 5 – газовая труба; 6 – спиральный зажигатель АУС; 7 – вертикальные стойки, 8 – пробка для газовой трубки

Рисунок 4 – Экспериментальная установка для определения флегматизированной концентрации газоаэрозольной смеси

Полученная по установленной рецептуре газоаэрозольная смесь проверяется на эффективность при помощи экспериментальной установки. В начале подают газ, создавая тернарную смесь, через 10 секунд зажигают зажигательную смесь на поверхности древесины или над поверхностью н-гептана. После заполнения смесью фиксируют признаки горения, основываясь на убывании или на росте температуры.

Во время проведения эксперимента мы установили, что происходит замедленное горение гептона в атмосферной смеси, включающей оптимальные пропорции аэрозоля и азота. Эксперимент фиксировали на камеру Nikonl J4. В процессе исследования газоанализатор Protégé отслеживал уровень концентрации легковоспламеняющихся газов, паров, O₂ и CO в цилиндре.

Аналитические исследования подтвердили, что комбинация огнетушащих веществ усиливает эффективность пожаротушения и понижает риск возгорания в сравнении с отдельным применением компонентов. ТВС объединяет три механизма подавления пламени – охлаждение, подавление химической реакции и снижение концентрации окислителя. Такой комплексный подход обеспечивает усиливающий эффект при ликвидации возгорания.

Лабораторные испытания проводились по методике определения предельной концентрации комбинированных тернарных систем, при которой горючая среда теряет способность к воспламенению и взрыву. Этот метод проводится с помощью камеры объемом 175 литров, где происходит испытание на горючую среду источника зажигания из воздушного гексана или древесины. Также разработана методика для определения способности газовых горючих сред к флегматизации в лабораторных условиях.

Применение мембранных воздуходелительных систем позволяет избежать необходимости постоянного запаса инертного газа при флегматизации. За счет фильтрования атмосферного воздуха достигается создание инертной среды (азота). С целью снижения затрат следует

минимизировать объем требуемого инертного газа при сохранении безопасности от пожаров и взрывов.

Для обеспечения безопасности необходимо поддерживать уровень кислорода в защищаемом пространстве ниже опасной отметки. Однако, проведение измерений содержания кислорода в различных участках резервуара, даже на дне, является технически сложной задачей.

В центре внимания оказалось изучение флегматизации емкостей горизонтального типа. Специалисты стремились выявить особенности распределения азотно-кислородной смеси при минимальном продувании объема. До этого момента подобные исследования касались только вертикальных баков, однако данный метод эффективен и для резервуаров АЗС [12, 13].

При создании экспериментального комплекса применили способ приближенного моделирования с учетом законов подобия. В основу легли научные труды В.П. Назарова по вентилированию и инертизации резервуаров, содержащих остаточные нефтепродукты.

Лабораторный стенд состоит из трех основных элементов: опытного бака на 0,05 м – аналога РГЦ-25, оборудования для инертного газоснабжения и измерительных приборов, фиксирующих уровень O_2 в разных зонах.

Для использования газообразного азота к подаче резервуар требует предварительного нагрева до заданной температуры это максимально приблизит его характеристики к параметрам азота мембранного разделения. В лабораторных испытаниях применялся азот с минимальной концентрацией примеси кислорода как альтернатива продукту мембранной сепарации.

Измерительный комплекс представляет современную метрологическую систему для оперативного мониторинга, фиксации и обработки информации газоанализаторов. Компьютер выступает центральным элементом данной установки.

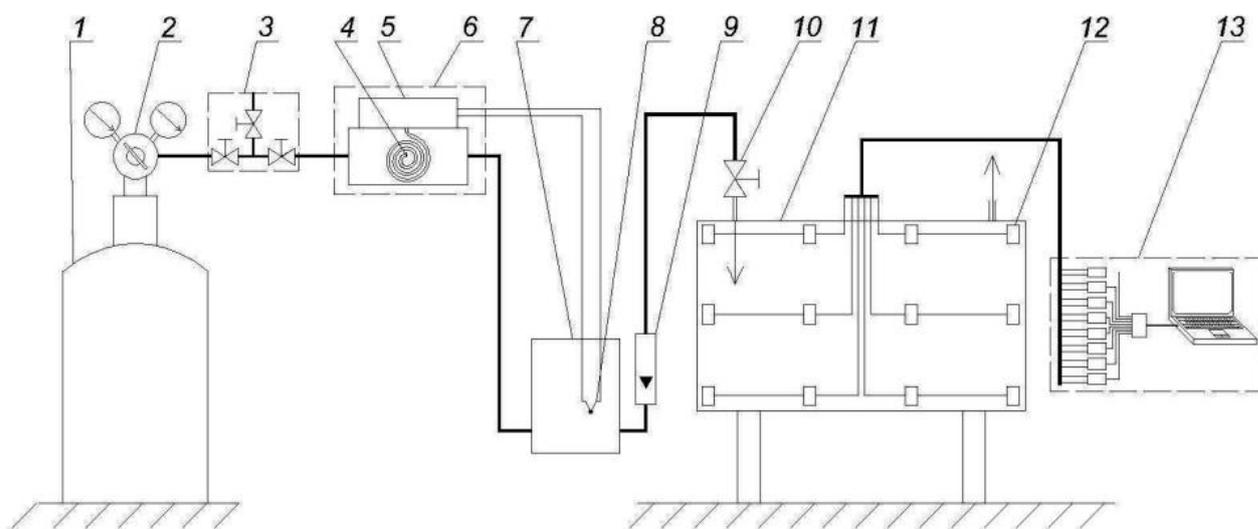
Экспериментальный резервуар оснащен модулями сбора данных по интерфейсу USB 2.0, преусилителями ZET 410 и преобразователями

ZET 210. Все устройства интегрированы в единую систему с ПК для последующей интерпретации результатов газового анализа.

Экспериментальный резервуар наполнен инертным газом через отверстие, которое создаёт параллельную струю, направленную вертикально вниз от боковой стенки.

Для оценки содержания кислорода использовались специальные преобразователи, покрывающие диапазон от 0% до 21%. Полученный объём исследовательских данных оказался колоссальным, что гарантирует успешное проведение экспериментов.

На рисунке 5 и 6 изображены схемы лабораторной и экспериментальной установки датчиков концентраций кислорода.



- 1 – ёмкость со сжатым азотом; 2 – газовый редуктор; 3 – вентили точной подстройки; 4 – нагревательный элемент; 5 – блок автоматической регулировки температуры; 6 – канальный воздушнонагреватель; 7 – контрольная емкость; 8 – термопара; 9 – ротаметр; 10 – шаровый кран; 11 – экспериментальный резервуар; 12 – датчики концентрации кислорода; 13 – контрольно-измерительный комплекс

Рисунок 5 – Схема лабораторной установки

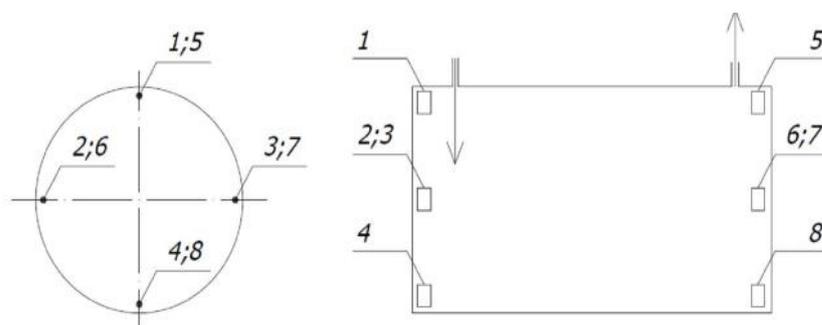


Рисунок 6 – Схема размещения датчиков в объёме экспериментального резервуара

На основе систематического измерения концентраций получили значительный объем данных – свыше 600 тысяч экспериментальных показателей. Мониторинг с интервалом в 0,4 секунды помог исключить случайные флуктуации в составе газовой смеси. Динамику изменений содержания O_2 в зонах ёмкости демонстрируют полученные диаграммы.

Для оптимизации визуального представления информации на рисунках (зафиксированных в отдельных измерениях) 7–12 произвели объединение идентичных параметров,

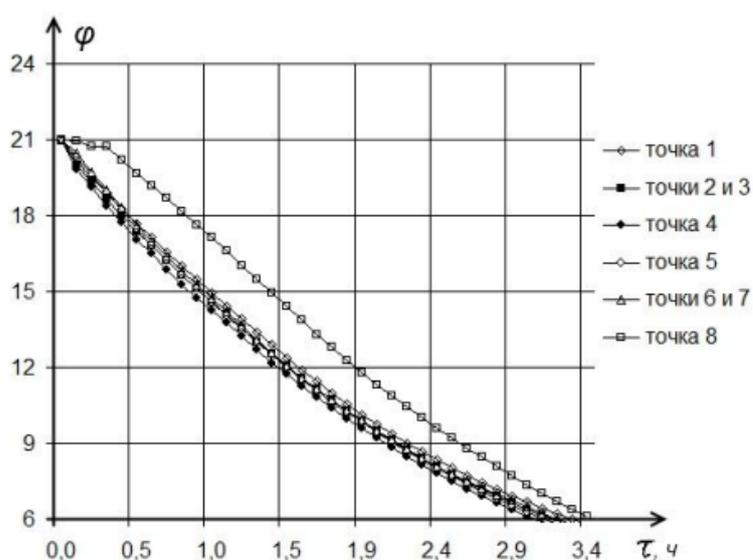


Рисунок 7 – Динамика концентраций кислорода в различных точках резервуара в ходе флегматизации с кратностью продувки 0,4 1/ч

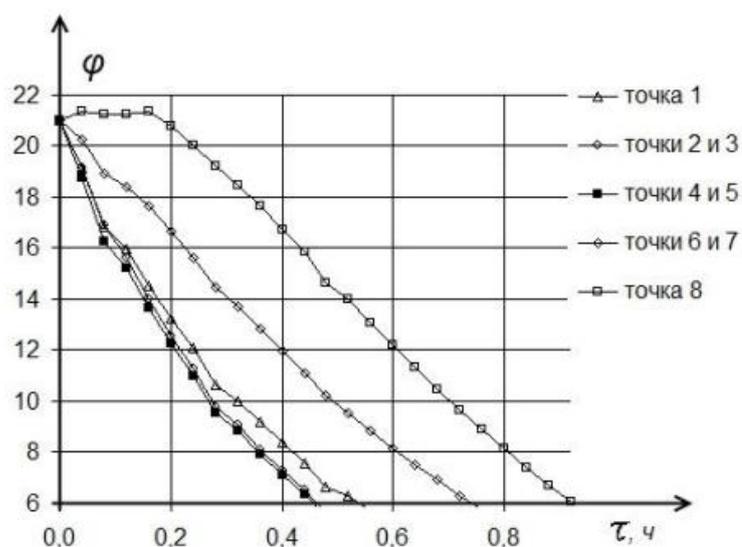


Рисунок 8 – Динамика концентраций кислорода в различных точках резервуара в ходе флегматизации с кратностью продувки 2,6 1/ч

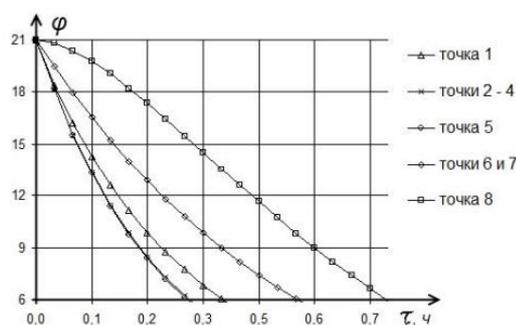


Рисунок 9 – Динамика концентраций кислорода в различных точках резервуара в ходе флегматизации с кратностью продувки 3,4 1/ч

Для математического анализа определим величину относительной концентрации для каждой точки в каждый момент времени. При этом величина относительной концентрации будет определяться формулой:

$$\varphi_{\text{отн}} = \frac{\varphi_i}{\varphi_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где φ_i – концентрация кислорода в i -й точке в любой момент времени, % об.;

$\varphi_{\text{ср}}$ – среднеобъёмная концентрация кислорода в защищаемом резервуаре в соответствующий момент времени, % об.

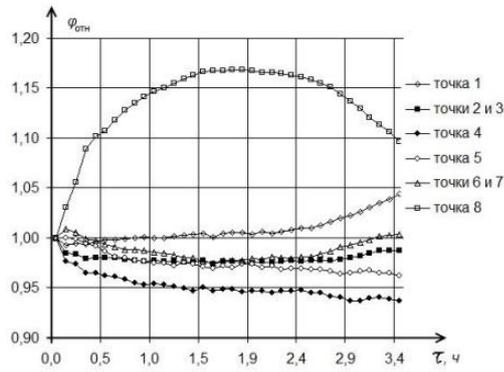


Рисунок 10 – Изменения относительных концентраций в ходе флегматизации с кратностью продувки 0,4 1/ч

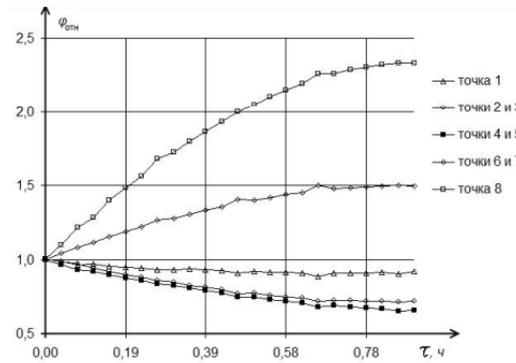


Рисунок 11 – Изменения относительных концентраций в ходе флегматизации с кратностью продувки 2,6 1/ч

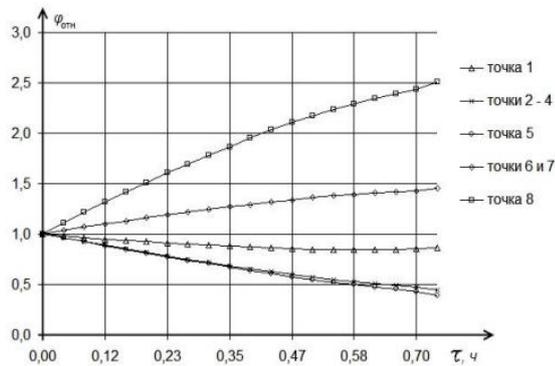


Рисунок 12 – Изменения концентраций в ходе флегматизации с кратностью продувки 3,4 1/ч

Исследования показывают, что предположение о том, что полном и мгновенном смешивании инертного газа не соответствует реальности. Графическое изображение параметра $\varphi_{\text{отн}}$ от времени отражено на рисунке 9.

Примерно за первые два часа продувки концентрация кислорода при кратности 0,4 1/ч достигает безопасного уровня. Это означает, что при использовании меньшего расхода инертного газа возможно достичь равномерного распределения концентраций, что является более целесообразным в сравнении с кратностями 2,6 1/ч и 3,4 1/ч.

На рисунке 13 показаны различия между концентрациями в разных точках достигает пика, но при бесконечности времени параметр $\varphi_{\text{отн}}$ стремится к 1. Подобная характеристика распределения концентраций была замечена при разных частотах продувки, включая 2,6 1/ч и 3,4 1/ч.

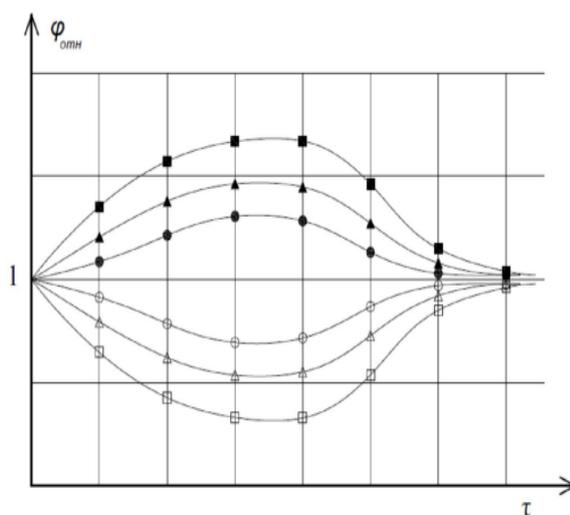


Рисунок 13 – Общий вид изменений относительных концентраций в ходе флегматизации

Экспериментальные данные опровергают гипотезу о медленном и частичном смешивании поступающего инертного газа. График общей зависимости параметра $\varphi_{\text{отн}}$ от времени, представленный на рисунке 8, демонстрирует максимальное расхождение концентраций в разных точках на начальном этапе. При увеличении временного интервала параметр $\varphi_{\text{отн}}$

приближается к единице. Данную закономерность распределения концентраций подтверждают замеры при разной интенсивности подачи газа: 2,6 и 3,4 раза за час.

При низкой кратности продувки (0,4 1/ч) распределение безопасных концентраций кислорода должно быть более однородным по сравнению с показателями 2,6 1/ч и 3,4 1/ч. Замедленная подача инертного газа обеспечивает его равномерное распространение в пространстве.

В таблице 2 показано, что время флегматизации в экспериментах определялось на основе достижения безопасных значений среднеобъемной концентрации (τ_{ϕ}) и максимальной концентрации в общем объеме резервуара ($\tau_{\text{общ}}$).

Таблица 2 – Сравнение экспериментальных данных

Кратность продувки, 1/ч	Экспериментальные данные		Математическая модель		Относительная погрешность, %	
	τ_{ϕ}	$\tau_{\text{общ}}$	τ_{ϕ}	$\tau_{\text{общ}}$	τ_{ϕ}	$\tau_{\text{общ}}$
0,4	3,212	3,4	3,132	3,132	2,49	7,89
2,6	0,6	0,897	0,482	0,482	13,96	46,28
3,4	0,439	0,74	0,368	0,368	16,04	50,21

Математическая модель нуждается в доработке из-за неточности при расчетах времени флегматизации полного объема защищаемого резервуара. Главная проблема заключается в неравномерной дистрибуции концентраций. Данные таблицы 4 демонстрируют существенное расхождение между теоретическими и практическими показателями – вычисления опираются лишь на усредненные параметры, игнорируя фактическое распределение веществ. Эмпирические исследования опровергают гипотезу о равномерной концентрации компонентов в пространстве резервуара.

Для обеспечения безопасности в резервуарах необходимо разработать новые методы управления концентрацией кислорода и уменьшить риск возгораний и взрывов. Это можно добиться путем оптимизации времени

флегматизации в зависимости от продувки резервуара, без необходимости постоянного мониторинга концентрации кислорода.

3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации

Идентификация рисков осуществляется путем сбора сведений о процессе.

Противопожарная защита на предприятиях химической промышленности должна осуществляться комплексно и должна быть направлена на все источники пожарных рисков.

В таблице 5 показан план мероприятий по повышению пожарной безопасности производства аммиака цеха №7 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» представлен в таблице 3.

Таблица 3 – План мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

Мероприятие 1	Ответственный 2	Сроки выполнения 3	Примечание 4
Обучение работников ПБ	Инженер по ОТ	В соответствии с программой профилактики	Выполнено
Финансовое обеспечение по ПБ	Главный бухгалтер	Ежедневно	Выполнено
Подготовка и разработка документов и их ведение	Специалист по ОТ и ПБ	По мере необходимости	Выполнено
Поддержание противопожарного режима	Специалист по ПБ	Постоянно	Выполнено

В таблице 4 рассчитаем математические ожидания потерь при возникновении пожара на предприятие.

Таблица 4 – Исходные данные

Наименование показателя	Ед. измер.	Усл. обоз.	Значение показателя	
			1	2
Площадь объекта	м ²	F	569	
Стоимость поврежденного технологического оборудования и оборотных фондов	Руб/м ²	Ст	18000	
Стоимость поврежденных частей здания	руб/м ²	Ск	36000	
Вероятность возникновения пожара	1/м ² в год	J	0,000045	
Площадь пожара на время тушения первичными средствами	м ²	F _{пож}	159,0	
Площадь пожара при тушении средствами автоматического пожаротушения	м ²	F' _{пож}	69,0	
Площадь пожара при отказе всех средств пожаротушения	м ²	F'' _{пож}	569	
Вероятность тушения пожара первичными средствами	–	p1	0,79	
Вероятность тушения пожара привозными средствами	–	p2	0,85	
Вероятность тушения средствами автоматического пожаротушения	–	p3	0,86	
Время свободного горения	мин	Всвг	15	
Коэффициент, учитывающий степень уничтожения объекта тушения пожара привозными средствами	–	–	0,52	
Коэффициент, учитывающий косвенные потери	–	к	1,3	
Линейная скорость распространения горения по поверхности	м/мин	вл	1	
Стоимость автоматических устройств тушения пожара	Руб.	К	0	100000
Норма текущего ремонта	%	Нт.р.	0%	0,2%
Норма амортизационных отчислений	%	На	0%	10%
Численность работников обслуживающего персонала	чел.	Ч	1000	–

Продолжение таблицы 4

Заработная плата 1 работника	руб/мес	ЗПЛ	20000	–
Суммарный годовой расход огнетушащего вещества	т	W	0	15
Оптовая цена огнетушащего вещества	Руб./т	Ц	0	250
Коэффициент транспортно-заготовительно-складских расходов	–	ктзср	0	0,6
Норма дисконта	–	НД	0	0,1
Период реализации мероприятия	лет	T	0	6

«Рассчитаем годовые материальные потери от пожара при наличие первичных средств пожаротушения $M(P_1)$:

$$M_{(П1)} = M_{(П1)} + M_{(П2)} + M_{(П3)}; \quad (2)$$

$$133152,5+69711,8+19066,5= 221930,8.$$

где $M(P_1)$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных первичными средствами пожаротушения;
 $M(P_2)$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных привозными средствами пожаротушения;
 $M(P_3)$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров при отказе всех средств пожаротушения» [6].

«Математическое ожидание годовых от пожаров, потушенных первичными средствами пожаротушения» [6]:

$$M_{П1} = J \cdot F \cdot C_T \cdot F_{\text{пож}} \cdot (1 + k) \cdot p_1, \quad (3)$$

$$0,000045 \cdot 569 \cdot 18000 \cdot 159 \cdot (1+1,3) \cdot 0,79=133152,5.$$

где J – вероятность возникновения пожара, $1/м^2$ в год;

F – площадь объекта, $м^2$;

C_T – стоимость поврежденного технологического оборудования и оборотных фондов, руб./ $м^2$;

$F_{\text{пож}}$ – площадь пожара на время тушения первичными средствами,
 м^2 ;

p_1 – вероятность тушения пожара первичными средствами;

k – коэффициент, учитывающий косвенные потери.

«Математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных привозными средствами пожаротушения:

$$M_{\text{П2}} = J \cdot F \cdot (C_T \cdot F'_{\text{пож}} + C_k) \cdot 0,52 \cdot (1 + k) \cdot (1 - p_1) \cdot p_2, \quad (4)$$

$$0,000045 \cdot 569 \cdot (18000 \cdot 706,5 + 36000) \cdot 0,52 \cdot (1 + 1,3) \cdot (1 - 0,79) \cdot 0,85 = 69711,8.$$

где p_2 – вероятность тушения пожара привозными средствами;

0,52 – коэффициент, учитывающий степень уничтожения объекта тушения пожара привозными средствами;

C_k – стоимость поврежденных частей здания, руб./ м^2 ;

$F'_{\text{пож}}$ – площадь пожара за время тушения привозными средствами»
[6].

«Математическое ожидание годовых потерь от пожаров при отказе всех средств пожаротушения:

$$M_{\text{П3}} = J \cdot F \cdot (C_T \cdot F'_{\text{пож}} + C_k) \cdot (1 + k) \cdot [1 - p_1 - (1 - p_1) \cdot p_2], \quad (5)$$

$$0,000045 \cdot 569 \cdot (18000 \cdot 569 + 36000) \cdot (1 + 1,3) \cdot [1 - 0,79 - (1 - 0,79) \cdot 0,85] = 69711,8.$$

где $F'_{\text{пож}}$ – площадь пожара при отказе всех средств пожаротушения,
 м^2 ; [6].

Площадь пожара за время тушения привозными средствами [6],

$$F'_{\text{пож}} = \pi \cdot (v_{\text{л}} \cdot B_{\text{свг}})^2, \quad (6)$$

$$3,14 \cdot (1 \cdot 15)^2 = 706,5.$$

где $v_{\text{л}}$ – линейная скорость распространения горения по поверхности,
м/мин;
 $V_{\text{свг}}$ – время свободного горения, мин.

«Рассчитать годовые материальные потери от пожара при оборудовании объекта средствами автоматического пожаротушения $M(\text{П2})$ [6]:

$$M_{\text{П2}} = M_{\text{П1}} + M_{\text{П2}} + M_{\text{П3}} + M_{\text{П4}}, \quad (6)$$
$$133152,5 + 13209,7 + 9759,7 + 2669,3 = 158791,2.$$

где $M_{\text{П1}}$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных первичными средствами пожаротушения;
 $M_{\text{П2}}$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных установками автоматического пожаротушения;
 $M_{\text{П3}}$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных привозными средствами пожаротушения;
 $M_{\text{П4}}$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров при отказе всех средств пожаротушения.

«Математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных установками автоматического пожаротушения [6]:

$$M_{\text{П2}} = J \cdot F \cdot C_T \cdot F'_{\text{пож}} \cdot (1 + k) \cdot (1 - p_1) \cdot p_3, \quad (7)$$
$$0,000045 \cdot 569 \cdot 18000 \cdot 69 \cdot (1 + 1,3) \cdot (1 - 0,79) \cdot 0,86 = 13209,7.$$

где $F'_{\text{пож}}$ – площадь пожара при тушении средствами автоматического пожаротушения, м^2 ;
 p_3 – вероятность тушения средствами автоматического пожаротушения»

«Математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных привозными средствами пожаротушения» [6].

$$M_{ПЗ} = J \cdot F \cdot (C_T \cdot F'_{\text{пож}} + C_k) \cdot 0,52 \cdot (1 + k) \cdot [1 - p_1 - (1 - p_1) \cdot p_3] \cdot p_2, \quad (8)$$

$$0,000045 \cdot 569 \cdot (18000 \cdot 706,5 + 36000) \cdot 0,52 \cdot (1 + 1,3) \cdot [1 - 0,79 - (1 - 0,79) \cdot 0,86] \cdot 0,85 = 9759,7.$$

где J – коэффициент, связанный с частотой или вероятностью события;

F – частота события или фактор, связанный с частотой;

C_T – стоимость или ущерб, связанный с техническими аспектами;

F_{пож} – фактор, связанный с пожаром или пожарной безопасностью;

C_k – дополнительные затраты или ущерб, связанные с другими факторами;

0,52 – постоянный коэффициент, который может быть связан с нормативными требованиями или стандартами;

K – коэффициент, который может учитывать дополнительные факторы или корректировки;

p₁ – вероятность события или фактор, связанный с вероятностью;

p₃ – вероятность другого события или фактор, связанный с вероятностью;

p₂ – вероятность еще одного события или фактор, связанный с вероятностью.

«Математическое ожидание годовых потерь от пожаров при отказе всех средств пожаротушения» [6]:

$$M_{П4} = J \cdot F \cdot (C_T \cdot F'_{\text{пож}} + C_k) \cdot (1 + k) \cdot \{1 - p_1 - (1 - p_1) \cdot p_3 - [1 - p_1 - (1 - p_1) \cdot p_3] \cdot p_2\}, \quad (9)$$

$$0,000045 \cdot 569 \cdot (18000 \cdot 569 + 36000) \cdot (1 + 1,3) \cdot \{1 - 0,79 - (1 - 0,79) \cdot 0,86 - [1 - 0,79 - (1 - 0,79) \cdot 0,86] \cdot 0,85\} = 605286,837 \cdot \{0,0294 - 0,2499\} = 2669,3.$$

где J – коэффициент, связанный с частотой или вероятностью события;

F – частота события или фактор, связанный с частотой;

C_T – стоимость или ущерб, связанный с техническими аспектами;
 $F_{\text{пож}}$ – фактор, связанный с пожаром или пожарной безопасностью;
 C_k – дополнительные затраты или ущерб, связанные с другими факторами;
0,52 – постоянный коэффициент, который может быть связан с нормативными требованиями или стандартами;
 K – коэффициент, который может учитывать дополнительные факторы или корректировки;
 p_1 – вероятность события или фактор, связанный с вероятностью;
 p_3 – вероятность другого события или фактор, связанный с вероятностью;
 p_2 – вероятность еще одного события или фактор, связанный с вероятностью.

Эксплуатационные расходы P [6]:

$$P = A + C, \quad (10)$$

$$10000 + 2450.$$

где A – затраты на амортизацию руб./год;

C – текущие затраты указанных систем (зарплата обслуживающего персонала, текущий ремонт и др.), руб./год.»

Текущие затраты [6]:

$$C_2 = C_{\text{т.р.}} + C_{\text{с.о.п.}} + C_{\text{о.в.}}, \quad (11)$$

$$200 + 240000000 + 2250 = 240002450.$$

где $C_{\text{т.р.}}$ – затраты на текущий ремонт;

$C_{\text{с.о.п.}}$ – затраты на оплату труда обслуживающего персонала;

$C_{\text{о.в.}}$ – затраты на огнетушащее вещество».

Затраты на текущий ремонт [6]:

$$C_{т.р} = \frac{K_2 \cdot H_{т.р}}{100\%}, \quad (12)$$

$$\frac{100 \cdot 0,2}{100} = 200.$$

где K_2 – капитальные затраты на приобретение, установку автоматических средств тушения пожара, руб.;

$H_{т.р}$ – норма текущего ремонта, %».

Затраты на оплату труда обслуживающего персонала [6]:

$$C_{с.о.п.} = 12 \cdot Ч \cdot З_{пл}, \quad (13)$$

$$12 \cdot 1000 \cdot 20000 = 240000000.$$

где $Ч$ – численность работников обслуживающего персонала, чел.;

$З_{пл}$ – заработная плата 1 работника, руб./мес».

Затраты на огнетушащее вещество [6]:

$$C_{о.в} = W \cdot Ц \cdot k_{т.з.с.р}, \quad (14)$$

$$15 \cdot 250 \cdot 0,6 = 2250.$$

где W – суммарный годовой расход огнетушащего вещества;

$Ц$ – оптовая цена единицы огнетушащего вещества, руб./т;

$k_{т.з.с.р}$ – коэффициент транспортно-заготовительно-складских расходов».

«Затраты на амортизацию систем автоматических устройств пожаротушения [6]:

$$A = \frac{K_2 \cdot H_a}{100\%}, \quad (15)$$

$$\frac{100000 \cdot 10}{100} = 10000.$$

где K_2 – капитальные затраты на приобретение, установку автоматических средств тушения пожара, руб.;

N_a – норма амортизации, %».

«Рассчитать чистый дисконтированный поток доходов по каждому году проекта и занести данные в таблицу 7 [6]:

$$И_t = ([M_{П1} - M_{П2}] - [P_2 - P_1]) \cdot 1 / ((1 + N_d)^t) - (K_2 - K_1), \quad (16)$$

$$И = \sum_{t=0}^T,$$

$$И = 150058,2,$$

$$И_1 = ([221930,8 - 158791,2] - [0,85 - 0,79]) \cdot \frac{1}{(1 + 0,1)^1} - 100000 = -42600,42,$$

$$И_2 = ([221930,8 - 158791,2] - [0,85 - 0,79]) \cdot \frac{1}{(1+0,1)^2} = 63139,55,$$

$$И_3 = ([221930,8 - 158791,2] - [0,85 - 0,79]) \cdot \frac{1}{(1+0,1)^3} = 47437,67,$$

$$И_4 = ([221930,8 - 158791,2] - [0,85 - 0,79]) \cdot \frac{1}{(1+0,1)^4} = 42934,89,$$

$$И_5 = ([221930,8 - 158791,2] - [0,85 - 0,79]) \cdot \frac{1}{(1+0,1)^5} = 39146,51.$$

где N_t – год осуществления затрат;

N_d – постоянная норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал;

$M_{П1}$, $M_{П2}$ – расчетные годовые материальные потери в базовом и планируемом вариантах, руб./год;

K_1 , K_2 – капитальные вложения на осуществление противопожарных мероприятий в базовом и планируемом вариантах, руб.;

P_1 , P_2 – эксплуатационные расходы в базовом и планируемом вариантах в t -м году, руб./год».

В таблице 5 показан поток доходов по каждому году.

Таблица 5 – Поток доходов по каждому году

Год осуществления проекта Т	$M(\Pi1) - M(\Pi2)$	$C2 - C1$	$1/(1+НД)^t$	$[M(\Pi1) - M(\Pi2) - (C2 - C1)] * 1/(1+НД)^t$	$K2 - K1$	Чистый дисконтированный поток доходов по годам проекта (И)
1	63139.6	0.06	$1/(1+НД)^1 = 0.9$	58825.6	100000	-42600,42
2	63139.6	0.06	$1/(1+НД)^2 = 0.83$	52405.82		63139,55
3	63139.6	0.06	$1/(1+НД)^3 = 0.75$	47437.67		47437,67
4	63139.6	0.06	$1/(1+НД)^4 = 0.68$	42934.89		42934,89
5	63139.6	0.06	$1/(1+НД)^5 = 0.62$	39146.51		39146,51

Таким образом в первый год были капитальные вложения на осуществление противопожарных мероприятий в базовом и планируемом вариантах, в следствии чего чистый дисконтированный поток доходов на первом году 54 вложения привел к убытку, но в последующие года мы получили прибыль и покрыли все полученные ранее убытки.

Вывод по третьему разделу: процедура программы внедрения инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси включает несколько ключевых этапов, которые обеспечивают успешное и безопасное внедрение технологий.

На первом этапе проводится детальный анализ текущих технологий и процессов, используемых в организации, что позволяет определить области, где внедрение флегматизации будет наиболее эффективным. Далее разрабатывается план внедрения, включающий выбор подходящих флегматизирующих агентов, установку необходимого оборудования и обучение персонала.

Особое внимание уделяется автоматизации процесса добавления флегматизирующих агентов, что обеспечивает точность и повторяемость. Внедрение систем мониторинга и контроля качества флегматизирующих агентов и их совместимости с горючими смесями также играет ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности процесса.

Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации показали, что внедрение инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси значительно повышает уровень безопасности.

Исследования и экспериментальные данные подтверждают, что использование флегматизирующих агентов снижает воспламеняемость горючих смесей и уменьшает риск пожаров.

Таким образом данные показатели, в свою очередь, приводят к снижению количества гибели и травм среди населения и участников пожара, минимизируя гибель и травмы пожарных.

Заключение

В результате проведённой работы были оформлены материалы для 3-го раздела магистерской диссертации, в которых изложены практические данные по проведению исследований флегментирующих составов для эффективного пожаротушения.

Приведены результаты экспериментов по исследованию эффективной концентрации флегматизированной газоаэрозольной смеси для эффективного тушения пожаров.

В результате работы с магистерской диссертацией, в которой изложены теоретические основы инновационных технологий и систем пожаротушения, одним из перспективных направлений является флегментный подход к гашению пожаров.

Современные технологии пожаротушения требуют внедрения инновационных методов флегматизации горючих смесей. Проблема борьбы с возгораниями приобретает особую значимость из-за увеличения пожарной нагрузки и расширения диапазона легковоспламеняющихся веществ с повышенной взрывоопасностью.

Промышленные предприятия используют газовые системы пожаротушения и флегматизации, однако их результативность не обеспечивает должный уровень безопасности. Применение газоаэрозольных составов позволяет значительно усилить флегматизирующий эффект при сохранении экологической чистоты.

Современные научно-технические исследования требуют глубокого анализа взаимодействия элементов газоаэрозольных смесей при флегматизации гомогенных горючих систем внутри замкнутых пространств. Данное направление формирует фундаментальную базу для разработки инновационных флегматизационных комплексов на основе АГПС. Подобные системы обеспечивают надежную противопожарную защиту различных объектов от возгораний классов А, В и С.

Сегодня наука продолжает поиск эффективных методов усиления противопожарной безопасности промышленных и гражданских сооружений.

Специалисты провели масштабный анализ разнообразных типов пожаров по уникальной методике, интегрирующей ОП, АОС и ГВРР. Эксперименты выполнялись при взрывном воспламенении с введением ВР в газовую среду цилиндрического резервуара объемом 0,5 л. Регистрация процесса осуществлялась высокоскоростной камерой Nikon 1 J4.

На базе экспериментов с разнообразными установками пожаротушения исследователи получили неоднородные данные из-за отсутствия единой методологии. Разработка точной последовательности внесения огнетушащих компонентов в зону возгорания требует особого внимания специалистов. При этом большинство научных изысканий не прошли практическую проверку в реальных условиях. Применение нескольких огнетушащих материалов одновременно малоэффективно без дополнительных испытаний.

Исследования доказали высокую результативность порошковых огнетушителей при борьбе с пламенем на объектах с содержанием АХОВ, СДЯВ, легковоспламеняемых материалов, на установках ЛЭП. В составе многокомпонентных смесей входят: сода, силикагель, сульфаты и фосфаты аммония, соли кальция и магния. Основной частью системы пожаротушения выступает компрессор для создания давления газовых сред – воздуха, азота, CO_2 .

Согласно научным данным, совместное применение огнетушащего аэрозоля, ОП и ГВРР демонстрирует усиленный эффект подавления и торможения процесса горения в сравнении с отдельным использованием этих компонентов. ТВС запускает несколько механизмов подавления пламени: понижение температуры, создание разреженной среды, ингибирование. Взаимодействие данных факторов приводит к синергетическому результату.

Исходя из применения различных методов флегматизации, можно сделать вывод о возможности расширения области применения экспериментальных данных, в том числе на системы, которые функционируют на основе использования запаса газообразного азота и мембранных установок для разделения воздуха.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Гусаков А. С. Проблемы в области обеспечения пожарной безопасности промышленных объектов // Молодой ученый. 2020. № 23. С. 203–205.
2. Данилова С. С. Пожарная безопасность на производстве // StudNet. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pozharnaya-bezopasnost-na-proizvodstve> (дата обращения: 24.12.2023).
3. Журавлева А. С., Кулага Н. В., Мальцев С. В., Повышение эффективности профилактической работы в области пожарной безопасности // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. 2021. 1004 с.
4. Козырев Е. В., Хрыкин Е. А., Зенкова И. Ф. «Нормативное обеспечение выполнения требований пожарной безопасности при монтаже, техническом обслуживании и ремонте СОУЭ» // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. 2021. 1004 с.
5. Кулага Н. В., Мальцев С. В., Эффективность административного пресечения нарушения в области пожарной безопасности // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. 2021. 1004 с.
6. Матевосова К. Л., Еремина Т. Н. Человеческий фактор в обеспечении безопасности социально-экономических и общественно-политических систем // Научно-практический журнал «Управление». 2020. №3. С. 22–28.
7. Об утверждении свода правил Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования,

подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. [Электронный ресурс] : Приказ МЧС России № 539 от 20.07.2020. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-mchs-rossii-ot-20072020-n-539-ob-utverzhdanii/> (дата обращения: 22.02.2024).

8. Об утверждении свода правил Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования [Электронный ресурс]: Приказ МЧС России № 582 от 31.07.2020. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-mchs-rossii-ot-31072020-n-582-ob-utverzhdanii/> (дата обращения: 22.02.2024).

9. Об утверждении свода правил «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности» [Электронный ресурс]: Приказ МЧС России от 26.12.2013 № 837 (ред. от 09.03.2017) URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108948> (дата обращения: 22.02.2024).

10. Основные причины аварий и несчастных случаев при работе грузоподъемных машин [Электронный ресурс] // Грузоподъемное оборудование. URL: <http://kranbalka.com/art42.html> (дата обращения: 24.12.2023).

11. Состояние аварийности с грузоподъемными механизмами [Электронный ресурс] // Прикладная экономика. – URL: <http://www.aeconomics.ru/news/theme-withouttheme/code-4293/> (дата обращения: 24.12.2023).

12. Ушанов В. В., Щелкунов В. И., Исавнина К. Д., Константинова, Н. И. Разработка методики оценки параметров пожаростойкости упаковок // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. 2021. 1004 с.

13. Швирков С. А., Горячев С. А., Панасевич Л. Т. Пожарная безопасность технологических процессов : учебник. М. : Академия ГПС МЧС России, 2020. 426 с.

14. Agafonov V. V., Kopylov N. P. Ustanovki aerolnogo pozharotusheniia: Elementy i charakteristiki, proektirovanie, montazh i ekspluatatsiia. M.: VNIPO, 1999 233 s.
15. Agafonov V. V., Kopylov N. P. Ustanovki aerolnogo pozharotusheniia. Osnovnye kharakteristiki Tekst. // Uchebno–metodicheskoe posobie. Pod red. N.P. Kopylova. M. : VNIPO, 2001. 91 s.
16. Azatian V. V., Baratov A. N., Vogman L. P. Issledovanie mekhanizma gasiashchego deistviia aerovzvesei solei // Khimicheskaiia fizyka processov goreniiia i vzryva. Kinetika khimicheskikh reakcii. Chernogolovka, 1977. P. 110–113.
17. Balaniuk V. M., Grymaniuk G. T., Kyt J. V., Levus J. S., The influence of gas phases on the fire-extinguish aerosol effect // 5thInternational Conference “Fireco 2003” Fire Protection. Trencin, 2003. P. 10–12.
18. Balaniuk V. M., Shcherbina O. M., Grimaliuk B. T., Kit, Ju. V. Doslidzhennia vognegasnoi dii aerolnoliv, oderzhanih spalivanniam tverdopalivnyh kompozicii riznogo skladu // Pozhezhna bezpeka. 2004. №4. P. 56–58.
19. Balaniuk V. M. Udoskonalennia aerolevoi vognegasnoi rehovini na osnovi solei kaliuu ta obgruntuvannia umov ii zastosuvannia. Dis. k. t. n. :21.06.02 – pozhezhna bezpeka // Lviv: Ukraini, 2007. 187 s.
20. Baratov A. N., Kopylov N. P. Ob ingibirovanii plameni aerolnoliami poluchaemymykh i szhigaemykh propellantov. Problemy goreniiia i tusheniia pozharov na rubezhe vekov // Materialy XV nauchno–prakticheskoi konferencii. Moskva, 1999. P. 235–236.
21. Kopistinskii Ju. O., Lavreniuk O. I., Zhurbinskii D. A., Balaniuk V. M., Grimaliuk, B. T., Kit Ju. V., Levush S. S. Vpliv gazovoi fazi na effektivnist vognegasnykh aerolnoliv // Visnik NU “Lvivska politekhnikaii”. 2004. №497. P. 11–12.
22. Korolchenko D. A. Tushenie pozharov aerolnolnymi sostavami: Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk:

specialnost 05.26.03 Pozharnaia bezopasnost / Moskovskoi institut pozharnoi bezopasnosti MVD Rosii. Moskva, 1998. 24 s.

23. Korosteliiov V. G. Aerozolgeneriruiushchie pozharotushashchie sostavy. Osnovnye tipy sostavov i optimalnye usloviia ich primeneniia // Pozharovzryvbezopasnost, 2002. №1. P. 61–66.

24. СП 6.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071151> (дата обращения: 15.01.2023).

25. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. От 29.07.2017) URL: <http://base.garant.ru/12161584/> (дата обращения 20.02.2023).

26. Fire Fighting Systems and Equipment in Buildings [Электронный ресурс]: // South Australian Metropolitan Fire Service, 2017. URL: <https://www.mfs.sa.gov.au/community-safety/commercial/building-fire-safety/fire-fighting-systems-and-equipment-in-buildings/> (дата обращения: 15.05.2022).

27. Fire Safety in Schools: A Fire And Life Safety Inspection Checklist [Электронный ресурс]: // Quick Response Fire Supply, 2020. URL: <https://www.qrfs.com/blog/339-school-fire-and-life-safety-inspection-checklist/> (дата обращения: 15.05.2022)

28. Fire safety in schools – A Step by Step guide for 2020 [Электронный ресурс]: // Businesswatch, 2020. URL: <https://www.businesswatchgroup.co.uk/fire-safety-in-schools-a-step-by-step-guide-for-2020/> (дата обращения: 15.05.2022).

29. School Building Fires (2009-2011). Topical Fire Report [Электронный ресурс]: // U.S. Department of Homeland Security – Emmitsburg, Maryland, 2014. С. 3. URL: <https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/statistics/v14i14.pdf> (дата обращения: 15.05.2022).

30. Understanding Automatic Fire Suppression Systems [Электронный ресурс]: // FireTrace International, 2019. URL: <https://www.firetrace.com/fire-protection-blog/understanding-automatic-fire-suppression-systems/> (дата обращения: 15.05.2022).