

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 Анализ и применение инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси

Обучающийся

А.А. Ли

(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 2024

Содержание

Введение.....	3
Термины и определения	11
Перечень сокращений и обозначений.....	12
1 Анализ технологий пожаротушения и рекомендации по их применению	13
1.1 Анализ применяемых технологи пожаротушения и рекомендации по их применению	13
1.2 Анализ инновационных технологий пожаротушения.....	20
2 Исследование инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси и разработка рекомендации по их применению	28
2.1 Технологии пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси.....	28
2.2 Разработка рекомендации по применению технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси	37
3 Опытно – экспериментальная апробация предлагаемых технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси.	42
3.1 Технология (программа) внедрения инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси	42
3.2 Анализ и оценка эффективности внедрения предлагаемых технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси .	55
Заключение	65
Список используемых источников.....	67

Введение

Актуальность и научная значимость настоящего исследования заключается в исследовании инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси и представляет собой актуально и научно значимую тему исследования. В свою очередь улучшение систем пожаротушения имеет важное значение для обеспечения защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара, а также ограничение последствий их воздействия на окружающую среду.

Традиционные методы пожаротушения такие как использование воды или химических пен могут иметь свои ограничения и недостатки. Они могут быть неэффективными в тушении определенных классов пожаров или могут причинять дополнительный ущерб. Поэтому разработка и исследование новых инновационных технологий пожаротушения является важным направлением современной науки. В современном мире одной из таких технологий является флегматизация горючей смеси. Данная технология основана на добавление специальных веществ, которые способны уменьшить или снизить возможность воспламенения горючей смеси. Это может быть достигнуто за счет изменения реакции горения, снижение температуры воспламенения или создание барьера для распространения огня.

Исследования таких инновационных технологий позволяет более эффективно и безопасно тушить пожары, а также она может включать в себя исследование различных веществ, их взаимодействия с горючей смесью, определение оптимальных концентраций и условий применения в реальном мире. Результаты исследования могут быть полезны для разработки новых систем пожаротушения рекомендации для инженеров и проектировщиков, а также для обучения и подготовки пожарных и спасателей, что в свою очередь позволит повысить эффективность тушения пожаров и снизить риск возгорания и ущерб от пожаров.

Таким образом исследования инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси имеет актуальную и научную значимость и может принести значительный вклад в область пожарной безопасности.

Объект исследования: анализ и применение инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси.

Предмет исследования: анализ и исследования указанных инновационных технологий с целью разработки рекомендаций по их применению.

Цель исследования - изучить и проанализировать различные методы и технологии флегматизации горючей смеси для эффективного тушения пожаров.

Гипотеза исследования состоит в том, что анализ и исследование инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси и разработка рекомендаций по их применению будет повышать эффективность тушения пожаров, а также снижать риски для имущества и людей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить существующие методы и технологии пожаротушения на основе флегматизации;
- провести обзор и анализ научной литературы, публикация и патентов связанных с инновационными технологиями пожаротушения на основе флегматизации;
- исследовать основные принципы и механизмы действия флегматизаторов на горючую смесь, а также их влияние на процесс пожаротушения;
- провести экспериментальные исследования включая лабораторные и полевые испытания инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации;

- сравнить эффективность различных методов флегматизации и выявить наиболее эффективные и перспективные подходы и методы;
- разработать рекомендации по применению инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси в различных условиях, включая рекомендации по выбору оптимальных флегматизаторов, их концентрации и методов применения;
- проверить эффективность разработанных рекомендаций на практике с помощью лабораторных исследований или полевых испытаний;
- сделать выводы и предложить перспективные направления дальнейших исследований в области инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси.

Теоретико - методологическую основу исследования составили:

- анализ существующих технологий пожаротушения на основе флегматизации горючие смеси. Данный анализ позволит определить основные принципы работы таких технологий и их преимущества и недостатки.
- изучение свойств и характеристик горючих смесей, которые могут быть флегматизированы. Включает исследование физико - химических свойств горючих веществ их реакционной способности и взаимодействие с добавками для флегматизации.
- разработка математической модели процесса флегматизации горючей смеси. Данная модель позволяет прогнозировать изменение свойств горючих смесей при добавлении флегматизирующих веществ и оптимизировать процесс их применения.

Базовыми для настоящего исследования явились также:

- исследование современных требований и нормативных документов в области пожарной безопасности позволило определить актуальность и значимость разработки инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации.

- анализ существующих проблем и недостатков области пожаротушения. Включает изучение случаев возникновения пожаров их анализ причины и последствия, а также оценку эффективности существующих методов тушения.

Исследования инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси и разработка рекомендаций по их применению ставит своей целью повышения эффективности пожаротушения, улучшения пожарной безопасности и защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара.

Методы исследования — включает изучение сведений об объекте исследования из литературы, справочников, статей и журналов, поиск информации в интернете проведение эксперимента, систематизация и обобщение полученных результатов.

Опытно экспериментальная база: «Исследование инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси и разработка рекомендаций по их применению» является комплексной платформой, предназначенной для проведения экспериментов и тестирования различных инновационных технологий пожаротушения.

Основной целью базы исследования является изучение и оценка эффективности методов пожаротушения, основанных на применении флегматизации горючей смеси.

Флегматизация — это процесс разбавления, замены кислорода воздуха или другого окислителя инертным газом горючей газовой смеси. Такие вещества могут быть газообразными, жидкими или твердыми и могут действовать как инертные агенты охлаждающую горючую среду или как химический агент уменьшающую скорость горения или горючесть.

База исследования включает в себя лаборатории, оборудованные специальными установками для моделирования и воспроизведения различных пожарных ситуации. Здесь проводятся тесты и эксперименты с различными флегматизирующими веществами, а также изучаются их

взаимодействия с горючей средой в различных условиях. Результаты исследования и рекомендации, разработанные на базе могут быть использованы различными организациями и учреждениями в целях повышения эффективности пожарной безопасности. Соответственно база также представляет собой возможность разработки новых инновационных решений в области пожаротушения на основе флегматизации их дальнейшей оптимизации.

Благодаря опытно — экспериментальной базе исследования «Исследование инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси и разработка рекомендаций по их применению» значительно расширят возможности в области пожарной безопасности и повысят эффективность в тушении пожаров.

Научная новизна исследования заключается в реализации как в теории, так и на практике новый не имеющий аналогов в мире способ (и устройство его реализующее) для борьбы с огнем основанный на физической эффекте отклонения факела пламени к одному из разноименных высоковольтных потенциалов внешнего электрополя. Физическое прекращение процесса горения происходит за счет нарушения условий протекания цепных реакции физико - химического деления заряженных радикалов воспламененных углеводородных веществ в ядре пламени. Иными словами, в специально созданном сильном электрополе между двумя высоковольтными электродами, легкие и подвижные отрицательно заряженные электроны, содержащиеся в пламени, начинают отклоняться в сторону положительно заряженного электрода и удаляются этим полем из зоны горения, в результате чего нарушаются предельно критические параметры протекания цепных реакций в зоне очага возгорания и пламя быстро гаснет.

Теоретическая значимость исследования заключается в:

- расширение знаний в области инновационных технологий пожаротушения: исследования предлагает новый подход к тушению пожаров основаны на флегматизации горючей смеси. Такой подход может иметь

существенное значение для развития эффективных и безопасных методов борьбы с огнем.

- улучшение понимания процессов горения и тушения: исследование может лучше понять механизмы горения и взаимодействия горючей смеси с веществами обеспечивающими флегматизацию. Это в свою очередь позволит более эффективно и безопасно применять инновационные технологии пожаротушения.

- разработка рекомендаций по применению новых инновационных технологий на основе информатизации горючей смеси. Эти рекомендации будут полезны для специалистов в области пожарной безопасности и позволит им выбрать наиболее подходящие методы тушения пожаров в зависимости от конкретных условий.

- возможные практические применения в следствии чего это может привести к созданию новых систем и технологий пожаротушения, которые будут эффективнее и безопаснее существующих методов, а также может иметь важное значение для защиты жизни и имущества, а также для снижения риска пожара в различных областях включая промышленность, транспорт и строительство.

Таким образом исследование имеет теоретическую значимость в области развития инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси, а также практическую значимость для повышения уровня пожарной безопасности и снижения рисков возникновения пожаров.

Практическая значимость исследования состоит в том, что полученные результаты проведенных исследований позволяют сделать определенный вывод о достижению поставленной цели настоящей работы, а именно был разработан более простой и эффективный способ электротушения позволяющий быстро, эффективно и надежно без проявления побочных эффектов (тушение без образования дыма) предотвращать любое возгорание с любой интенсивностью горения, а разработанная электроогневая установка

обеспечивает бесконтактное тушения (электроподавление) факела пламени без применения каких либо пламегасящих веществ (вода, пена, порошок и др.).

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались следующими факторами:

- методика исследования: достоверность результатов исследования зависит от того, как было проведено исследование. Необходимо использовать научные методы и приемы такие как лабораторные и полевые эксперименты или наблюдения, что поможет исключить возможные искажения и ошибки в исследовании.

- надежность данных: для обеспечения достоверности результатов необходимо использовать надежные и точные данные. В свою очередь данные должны быть из достоверных и проверенных источников информации, а также провести тщательный анализ, подбор и сбор данных, которые помогут убедиться в достоверности результатов исследования.

- репрезентативность выборки: важно учесть, чтобы исследование было проведено на достаточно большой и репрезентативной выборке, что в свою очередь позволит сделать общие выводы и обобщения, которые будут применимы широко в данном исследовании.

- проверка результатов: результаты должны быть проверены и подтверждены другими исследованиями и экспериментами в данной области, таким образом это поможет убедиться в их достоверности и обоснованности.

Обоснованность результатов исследования обеспечивается следующими факторами:

- анализ данных: аналитический подход позволяет выявить связи и зависимости между переменными и сделать обоснованные выводы по данному исследованию.

- соответствие целям исследования: результаты исследования должны быть прямо связаны с поставленными целями исследования, что свою очередь позволит подтвердить их обоснованность и релевантность.

- логическая связь: отсюда вытекает, что результаты должны быть логически связаны с предложенными рекомендациями. Обоснованность результатов определяется их способностью ответить на поставленные вопросы и проблемы.

- представление аргументов: т.е. результаты исследования должны быть подкреплены аргументами и доказательствами, использование научных фактов статистических данных экспертных мнений поможет обосновать результаты исследования.

Таким образом для обеспечения достоверности обоснованности результатов исследования необходимо проводить качественное исследование, использовать достоверные и проверенные источники, проверять результаты исследования и обосновывать их анализом данных, соответствие целям исследования, логической связью, а также представлением аргументов и доказательств.

Термины и определения

В настоящей работе используются следующие термины и определения:

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

Пожар — это неконтролируемый процесс уничтожения или повреждения огнем имущества во время которого возникают факторы, опасные для живых существ и окружающей среды.

Ингибирования — это процесс торможения химических реакций в пламени, обусловленное гибелью активных центров (радикалов и атомарных частиц, имеющих свободные валентности) в результате воздействия на них специальных веществ (ингибиторов).

Флегматизация — это процесс разбавления, замены кислорода воздуха или другого окислителя инертным газом горючей газовой смеси. Такие вещества могут быть газообразными, жидкими или твердыми и могут действовать как инертные агенты охлаждающую горючую среду или как химический агент уменьшающую скорость горения или горючесть.

Пожаротушение — это процесс воздействия сил и средств, а также использование методов и приемов для окончательного прекращения горения, который направлен на исключение возможно его повторного возникновения.

Перечень сокращений и обозначений

В настоящей работе используются следующие сокращения и обозначения:

АГПС – аэрозольно-газо-порошковая смесь;

ОП – огнетушащий порошок;

ВР – огнетушащее вещество;

ГВС – газовое огнетушащее вещество;

МЧС – Министерство чрезвычайных ситуаций;

ОФП – опасные факторы пожара;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

1 Анализ технологий пожаротушения и рекомендации по их применению

1.1 Анализ применяемых технологий пожаротушения и рекомендации по их применению

Тушение пожара — это процесс воздействия сил и средств, а также использование методов и принятии мер по ликвидации пожара. Согласно нормативным документам в области пожарной безопасности, различают две основные тактические работы (операции) при тушении пожара - локализация пожара и его ликвидация.

Сам процесс тушения пожаров является наиболее сложным и трудоемким по сравнению с другими видами ландшафтных пожаров и успешность тушения в основном зависит от личного опыта и профессионализма того, кто руководит тушением лесного пожара. Основная проблема тушения лесных пожаров несмотря на значительное внимание к ней сегодня далека от решения в значительной степени это обусловлено большим масштабом пожара, а также разнообразием условий распространения и возникновения.

Важнейшими методами тушения пожаров являются следующие:

- гашения водой или растворами химикатов;
- создание заградительных полос при тушении;
- отжиг или встречный огонь, привлечением авиации для тушения;
- использование газофазных порошковых огнетушащих веществ и пен.

Таким образом с учетом особенностей пожара выбирают соответствующий метод тушения. Соответственно одним из составляющих критериев является интенсивность пожара. Пожар высокой интенсивности обычно невозможно гасить так называемой активными методами. Последние направлены на непосредственно тушение кромки пожара. Для их применения

необходимо подойти на близкое расстояние к кромке пожара, что часто невозможно произвести из - за высокой интенсивности теплового излучения в этой области пожара.

Пожарные происшествия становятся все более опасными, сложными и масштабными, что затрудняет действия людей, оказывающих первую помощь. Потенциальным техническим решением может стать беспилотное оборудование для пожаротушения, которое позволит избежать существенного ущерба. Технология беспилотных летательных аппаратов потенциально может быть применена для нескольких целей в практике пожаротушения, таких как мониторинг потенциальной опасности, обнаружение опасности с помощью тепловизионных камер и камер реального времени для тушения пожара. Компании, занимающиеся разработкой беспилотных летательных аппаратов, ищут потенциальные области применения и бизнес-кейсы для использования технологии беспилотных летательных аппаратов в этой области. Применение беспилотных технологий для тушения пожаров, где еще многое предстоит сделать для охвата таких аспектов, как коммерциализация и развитие технологий.

Наконец, стоит упомянуть о системах пожаротушения на основе химических реакций. Эти системы используют химические вещества, которые при контакте с огнем реагируют и создают газы, которые прекращают горение. Такие системы широко применяются в промышленных объектах или объектах с высоким риском возникновения пожара.

В заключение, выбор подходящих технологий пожаротушения является важным аспектом обеспечения безопасности. Различные технологии, такие как использование пены, газовых систем, автоматических систем, водяного тумана и химических реакций, предлагают эффективные методы для тушения пожара. Важно учитывать специфику объекта и риски, связанные с возможными пожарами, при выборе подходящей технологии.

Галогенуглеродные реагенты — это химические вещества, похожие на галон, но их молекулярная структура была изменена для уменьшения или устранения атомов хлора и брома, которые ответственны за разрушение озонового слоя. Галогенуглеродные реагенты тушат пожары в основном за счет охлаждения. Недавно было протестировано более десятка галогенуглеродных реагентов. В ходе испытаний проверяются не только возможности этих реагентов в области пожаротушения, но и концентрация токсичных побочных продуктов, которые они выделяют при тушении пожара. Побочные продукты могут быть важным фактором безопасности жильцов здания, а также глобального потепления. Основным компонентом побочных продуктов сгорания газообразных галогенуглеродов является фтористый водород, который токсичен и вызывает сильную коррозию.

Средства с инертными газами тушат пожар за счет истощения запасов кислорода. Инертные газы не подвергаются термическому разложению при тушении пожаров и, следовательно, в отличие от галогенуглеродных газов, не образуют побочных продуктов горения. Для тушения пожара инертный газ должен снизить содержание кислорода примерно до 12,5%. Для этого концентрация инертного газа в камере должна составлять примерно 40%.

В настоящее время доступны три системы подачи инертного газа:

- Аргонит (IG-55), представляющий собой смесь 50% азота и 50% аргона;
- Инерген (IG-541), который представляет собой смесь 52% азота, 40% аргона и 8% углекислого газа;
- Аргон (IG-01), который на 100% состоит из аргона [4].

Водяной туман - это мелкодисперсные водяные брызги в виде капель диаметром менее 1000 микрон. Эффективность систем водяного тумана для противопожарной защиты была продемонстрирована в широком спектре применений и в ходе многочисленных экспериментальных программ. Их эффективность зависит от размера очага возгорания, степени

непроходимости, высоты потолка и условий вентиляции в пожарном отсеке. На эффективность также влияют характеристики водяного тумана, такие как распределение капель по размерам, плотность потока и скорость распыления.

В настоящее время доступно несколько систем водяного тумана. В некоторых из них для создания водяного тумана используется высокое или среднее давление воды через небольшие отверстия, в то время как в других используются двойные форсунки для подачи жидкости (воды и воздуха). Исследования показали, что эффективность пожаротушения водяным туманом может быть дополнительно улучшена за счет использования циклического разряда, который значительно сокращает время тушения и потребность в воде.

Системы пожаротушения водяным туманом обладают рядом преимуществ, таких как хорошая способность к пожаротушению, отсутствие воздействия на окружающую среду и токсичность. В результате было рассмотрено использование водяного тумана в качестве системы пожаротушения для широкого спектра применений, таких как судовые машинные помещения, где открытые двери и люки могут снизить эффективность газообразных реагентов. Водяной туман также имеет потенциал для тушения пожаров электрооборудования, и может привести к менее повреждению оборудования, чем ущерб, причиненный тепловыми продуктами распада газообразными заменителями галонов.

На протяжении десятилетий противопожарные пены, подаваемые из стационарных трубопроводных систем, обеспечивали эффективное пожаротушение в химической и нефтяной промышленности, а также на военных объектах. Общая эффективность существующих стационарных трубопроводных систем вспенивания может быть значительно повышена, если для получения пены использовать сжатый воздух. Воздушно-компрессорная пена использует гораздо меньшее количество воды и пенообразующих концентратов, и она лучше проникает в пламя и достигает очага возгорания. Кроме того, воздушно-компрессорная пена может

использоваться с Концентрат пены класса А, который является экологически чистым, в отличие от концентрата пены класса В, который используется в традиционных системах вспенивания [20].

Эффективная система вспенивания сжатым воздухом обеспечивает образование пены, которая состоит из пузырьков единого размера, подачу пены к форсункам без изменения свойств пены и равномерное распределение пены по заданной площади. Для обеспечения качества пены и ее распределения по целевому участку были разработаны специальные трубопроводы и форсунки.

Пена со сжатым воздухом обладает хорошим потенциалом, и были разработаны предварительно спроектированные системы, подходящие для различных коммерческих применений [8].

С появлением новых научных знаний о веществе и его составе постепенно развивались знания о возможности использования различных свойств этих веществ в целях пожаротушения. Со второй половины прошлого века эти новые вещества дополнили список веществ, которые могут быть использованы для тушения различных видов пожаров с пользой или по необходимости. С точки зрения классификации огнетушащих веществ и средств пожаротушения, их можно разделить на следующие группы:

- универсальные и искусственные источники и средства пожаротушения;
- химические огнетушащие вещества химического происхождения.

Каждая из вышеперечисленных групп имеет свои специфические огнетушащие свойства и может использоваться при различных типах пожаров. Некоторые типы огнетушащих веществ можно комбинировать с другими, в то время как при выборе необходимо руководствоваться другими.

Огнетушащие аэрозоли обычно подаются либо непосредственно (при контакте с очагом возгорания), либо через устройства, расположенные за пределами охраняемой зоны объекта. Коммерческие аэрозольные системы предназначены для тушения пожаров в помещениях, где обычно нет людей,

таких как помещения для хранения легковоспламеняющихся жидкостей или моторные отсеки. Канистры содержат твердое ракетное топливо. При электрическом или термическом воспламенении они выбрасывают сухие химические частицы и газообразные продукты в виде аэрозоля через сопла на концевой пластине. На основе технологии автомобильных подушек безопасности были разработаны газогенераторы для пожаротушения. [15].

Принцип действия огнетушащих аэрозольных устройств основан на образовании огнетушащего аэрозоля. В месте возгорания происходит реакция, которая превращает твердую аэрозолеобразующую смесь при сгорании, мы также можем говорить о пиротехническом составе, в очень мелкие частицы, состоящие как из микроскопических, так и из субмикроскопических частиц вещества, которые в значительной степени устраняют пожар на основе принципов химического механизма пожаротушения с его антикаталитическим и ингибирующим действием. В какой-то степени мы можем говорить о частичное сходство с огнетушащими порошками, но эффективность огнетушащих аэрозолей в несколько раз выше (по имеющимся данным, в 8-14 раз по сравнению с огнетушащими порошками). Такая многократная эффективность в основном обусловлена размером выделяемых частиц, опять же, по сравнению с огнетушащими порошками, эти значения в 10-100 раз ниже, а также очень низкой скоростью осаждения аэрозоля, который способен удерживаться в воздухе в течение десятков минут в зависимости от условий окружающей среды, в которых он был применен. Чем мельче частицы, тем крупнее они способны создавать активную поверхность, на которой образуются контактирующие с огнем радикалы сам по себе и взаимное столкновение.

Оборудование для аэрозольного пожаротушения можно разделить на системы с термическим разложением и без него. В первом случае речь идет о системах, которые основаны на образовании пожарного аэрозоля непосредственно на месте пожара. И наоборот, аэрозоль без термического разложения подходит для использования в системах пожаротушения, что

определяется самой пригодностью для применения, когда аэрозоль подается к очагу возгорания по трубопроводу, распылением или даже естественным потоком. Генераторы аэрозоля делятся на так называемые холодные и горячие. Горячие генераторы имеют более стабильные огнетушащие свойства, но их применение не всегда применимо из-за условий окружающей среды и вероятности возникновения пожара. Поэтому смеси содержат гидратные соединения, в которых молекулы воды связаны, и огнетушащее вещество, выходящее на выходе, охлаждается само по себе. Однако, учитывая относительную новизну этого противопожарного вещества, необходимо в долгосрочной перспективе изучить альтернативные негативные свойства объекта тушения и, в частности, флоры, фауны и здоровья человека, будь то в подразделениях, оказывающих помощь, или в местах возникновения пожара. Некоторые негативные свойства уже широко известны, другие необходимо определить, задокументировать и предложить, с помощью каких шагов можно значительно снизить негативные проявления аэрозольных веществ, используемых при тушении пожара. Предпочтительно аэрозольное огнетушащее вещество может быть использовано для тушения технической инфраструктуры в различных типах энергетических коллекторов или технических коридорах в помещениях промышленных сооружений отдельных предприятий или промышленных зон.

Технологии, применяемые в пожаротушении, являются ключевой составляющей систем обеспечения безопасности и выполняют критическую функцию в профилактике и элиминации пламени. Обладая возможностями для эффективного подавления возгораний и оказания помощи в спасении людей, эти технологии, используемые согласно указаниям экспертов, становятся гарантом сохранности и защиты в случае возникновения пожара, а также защиты людей от опасных факторов пожара.

1.2 Анализ инновационных технологий пожаротушения

После изобретения огня, вероятно, началась борьба с огнем, и она продолжается уже тысячи лет. В течение этого времени целью всегда было как можно скорее погасить огонь и создать огнестойкие материалы.

В настоящее время существует ряд инновационных технологий, которые проявляют себя в области пожаротушения. Эти технологии представляют собой интеграцию различных научных и технических разработок, которые позволяют более эффективно и безопасно бороться с возгораниями [5].

Воздействие пожара, может быть, одним из самых опасных факторов, с которыми может столкнуться любое здание на протяжении всего срока его службы. Разработка практических методов и концепций защиты от потенциальных пожаров в зданиях в последние десятилетия является важным фактором при проектировании зданий [21]. Стремительное развитие технологий повысило спрос на новые и инновационные системы противопожарной защиты по сравнению с традиционными методами. Такая потребность в новых технологиях особенно актуальна, когда речь заходит о существующих зданиях. Переоснащение существующего здания с целью обеспечения пожарной безопасности является более сложной задачей по сравнению с проектированием нового здания с использованием материалов и компонентов, которые изначально обладают более желательными и высокими показателями огнестойкости. Кроме того, стратегии проектирования нового здания, включающие в себя самые современные средства пожарной безопасности, также отличаются от решений, которые могут быть более подходящими для модернизации существующего здания [22]. Изучение систем пожарной безопасности показывает, что каждая из них имеет свои недостатки. Сравнение результатов показывает, что недостатки отдельной системы противопожарного переоснащения могут быть устранены

за счет одновременного использования комбинации нескольких концепций или методов обеспечения пожарной безопасности.

Симметрия играет важную роль в уменьшении проблем, поскольку она является общей чертой современной жизни. Обработка многомерных сигналов имеет множество применений, примером которых является использование акустических волн с соответствующим временем для тушения пламени. Вопросы, связанные с использованием акустических волн для подавления пламени, основанный на исследованиях, опубликованных в литературе. Кроме того, в качестве обзора научной литературы обсуждаются результаты измерений, полученные с использованием мощного акустического огнетушителя. В этом смысле кратко упоминаются новые технологические процессы и области их применения - от огнестойких материалов до огнезащитных добавок и нанокompозитов [7].

Пожар можно определить, как химический процесс горения, включающий высокотемпературное окисление легковоспламеняющегося материала (или топлива). В результате этой реакции выделяется энергия и выделяется тепло. Для возникновения пожара необходимы кислород, температура, топливо и химические реакции. Эти четыре элемента называются огненным тетраэдром. Чтобы огонь продолжался, необходимо продолжать подачу окислителя и топлива. Следовательно, тепло, выделяемое окружающей средой в процессе горения, позволяет огню сохранять тепло и обеспечивает протекание цепных реакций, необходимых для распространения огня. На рисунке 1 показаны традиционные стадии развития пожара. Соответственно, на первой стадии пламя не видно, и наступает фаза тления. На второй стадии происходит воспламенение. При хорошо вентилируемом факеле горения на этой стадии происходит рост пожара. Для возникновения пожара требуется новое топливо или правильная смесь топлива и кислорода. В момент возгорания огонь распространяется за счет получения достаточного количества кислорода, топлива и тепла. После достижения полной фазы развития доступное топливо исчерпывается и

горение прекращается. Те, кто пытается потушить пожар после того, как уровень вспышки превысит допустимый предел, сталкиваются с большими трудностями [34].

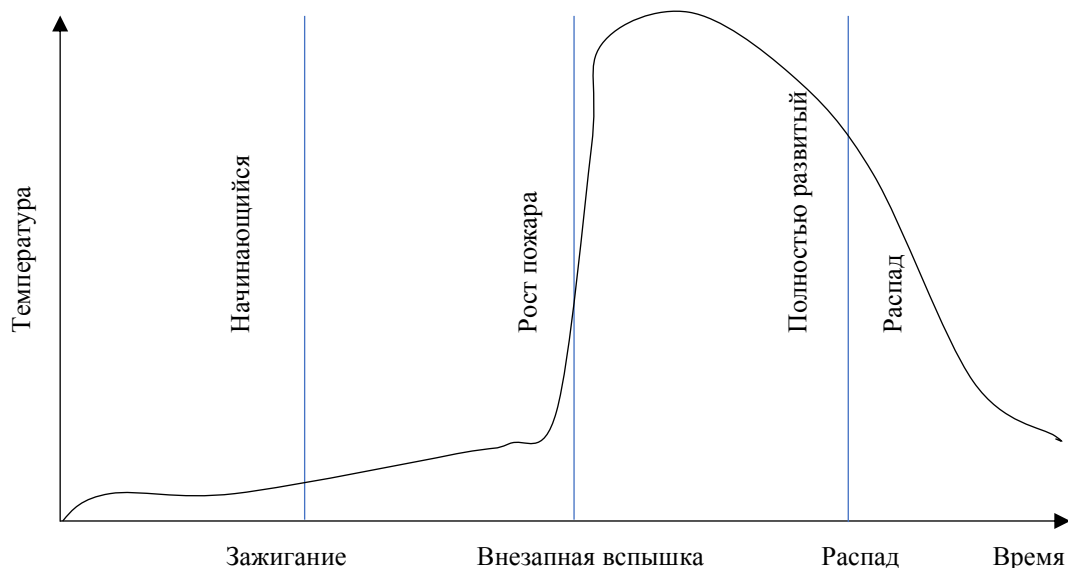


Рисунок 1 - Традиционные стадии развития пожара.

В процессе тушения пожара, в принципе, необходимо удалить один из компонентов противопожарного тетраэдра. Например, возгорание природного газа, возникающее на газовой плите, можно потушить различными способами: первым вариантом может быть устранение источника топлива путем перекрытия подачи газа. Другой вариант - полностью закрыть пламя, чтобы во время горения не допустить попадания окислителей, таких как кислород в воздухе. Другой альтернативой является использование воды, которая быстро отводит тепло от огня [12]. В принципе, аналогичной практикой можно считать сильное раздувание пламени, поскольку это отводит тепло уже горящего газа от источника топлива. Другой вариант - применение различных ингибирующих и

флегматизирующих огнетушащих составов, которые замедляют химическую реакцию в огне до тех пор, пока не снизится скорость горения.

С развитием технологий все чаще приходится сталкиваться с ситуациями, которые могут привести к гибели людей. Пожары являются одной из наиболее серьезных проблем, вызванных ростом населения планеты. В результате индустрия роботов переживает настоящий бум в этой области. В результате недавней промышленной революции технологии робототехники получили все более широкое распространение. Роботы с искусственным интеллектом должны взаимодействовать с людьми практически без присмотра или даже удаленно управляемые роботы. Робот определяется как механическая конструкция, способная выполнять человеческие задачи или вести себя подобно человеку. По мере развития робототехники взаимодействие с человеком сокращается, и роботы широко используются для обеспечения безопасности жизни.

За последнее десятилетие разработка роботизированных установок для тушения пожаров стала важным направлением деятельности ученых и исследователей. Благодаря последним достижениям в области вычислительной техники и нанотехнологий робототехника приобрела популярность во всем мире. Чтобы обезопасить живых существ и свести к минимуму тяжелую работу пожарных. Цель модели робота - автоматизировать операции по спасению людей при пожаре. Эта модель может быть использована для спасения жизни людей, минимизации ущерба в быту, лабораториях и на небольших производствах. С развитием робототехники вмешательство человека стало меньше, и они широко используются для обеспечения безопасности [9]. В нашей повседневной жизни несчастные случаи, вызванные пожарами, стали обычным явлением и могут привести к возникновению сложных жизненных ситуаций, которые затрудняют работу пожарных по охране жизни людей. В таких случаях для охраны живых существ, имущества и окружающей среды используется роботизированные установки пожаротушения.

Таблица 1 – Анализ инновационных технологий пожаротушения

Технология	Описание	Преимущества	Недостатки
Аэрозольные системы	Используются для тушения пожаров с помощью аэрозольных генераторов	Маленький размер, легко транспортировать, могут быть автоматизированы	Могут быть опасны для здоровья, могут повредить электронику
Лазерные системы	Используют лазерное излучение для тушения пожаров	Быстрое реагирование, точное направление энергии	Высокая стоимость, требуют высокой точности
Ультразвуковые системы	Используют ультразвуковые волны для тушения пожаров	Не требуют химических веществ, могут проникать сквозь преграды	Эффективность зависит от типа пожара, высокая стоимость оборудования

Одной из таких инновационных технологий является применение автоматических систем детектирования пожаров. Эти системы основаны на использовании передовых сенсорных устройств, которые могут обнаружить наличие пожара даже на ранней стадии его развития. Благодаря этому, пожарные службы могут оперативно реагировать на возникший пожар и принимать меры по его тушению [11].

Еще одной инновационной технологией является применение автономных пожаротушащих систем. Эти системы представляют собой специальные устройства, которые могут обнаружить пожар и автоматически активировать механизмы тушения. Они оснащены передовыми средствами пожаротушения, такими как аэрозольные, газовые или пенные средства, которые эффективно потушат пожар и предотвратят его распространение.

Также стоит отметить использование инновационных материалов и конструкций, которые способствуют более эффективному тушению пожаров. Например, разработка огнезащитных покрытий и материалов, которые могут обеспечить дополнительное время для эвакуации людей и борьбы с возгоранием. Также существуют инновационные системы вентиляции и дымоудаления, которые способствуют улучшению условий для пожаротушения и обеспечивают безопасность пожарных служб.

Наконец, важным элементом инновационных технологий пожаротушения является использование систем управления и мониторинга. Эти системы позволяют оперативно реагировать на возникший пожар, контролировать процесс его тушения и координировать действия пожарных служб [7].

В настоящее время в России расположено достаточное количество объектов, которые имеют свою архитектурную особенность, а именно особенность в планировке, инженерных решениях, а также объемно-планировочные решения и отличаются друг от друга. Следовательно, к таким объектам относятся здания общественного, жилого назначения, разные многофункциональные комплексы (торговые, выставочные, инженерные), объекты культурно – просветительного и спортивного назначения. В современном мире такие объекты должны приспособливаться к современным условиям. В свою очередь объекты, которые были указаны выше должны решать вопросы в области пожарной безопасности неординарными решениями, а именно для защиты от пожаров внедрять современные инновационные технологии противопожарной защиты при проектировании, а также внедрять новые инновационные и оригинальные конструктивные, объемно-планировочные, инженерные решения отличные от предусмотренных нормами. Такие решения были учтены и изложены в специальных технических условиях, в обеспечении пожарной безопасности зданий и сооружений, которые в свою очередь согласованы с органами МЧС и Минстроем России [13].

Одним из последних достижений в области инновационных технологий пожаротушения является разработка робототехники для борьбы с пожарами. Эти роботы оснащены специальным оборудованием, которое позволяет им проникать в опасные зоны и выполнять определённые задачи в области пожаротушения. Они могут использовать водные струи, специальные химические вещества или даже реагировать на тепловые излучения для эффективного подавления возгорания.

Другой инновационной технологией, которая использовалась с успехом, является применение лазерного луча для тушения пожаров. Этот метод основан на использовании лазерного излучения определенной длины волны, которое вызывает резкое повышение температуры и генерацию пара непосредственно на источнике пожара. Это позволяет быстро охлаждать пламя и прекратить его распространение [9].

Инновации также находят применение в области разработки новых материалов для пожаротушения, таких как интумесцентные покрытия. Эти покрытия реагируют на воздействие высоких температур и интенсивности пламени, превращаясь в толстый слой защитного каркаса, который предотвращает распространение огня. Интумесцентные покрытия широко применяются в строительстве и могут быть использованы для защиты различных конструкций.

Инновационные технологии пожаротушения также включают в себя разработку систем дистанционного мониторинга и управления. С помощью современных датчиков и сетевых технологий, эти системы могут обнаруживать пожары на ранних стадиях, передавать информацию в пожарную службу и автоматически активировать механизмы тушения. Это позволяет сократить время реакции и уменьшить потенциальный ущерб от пожара [11].

Инновационные технологии пожаротушения включают в себя различные методы и средства, которые помогают более эффективно и безопасно тушить пожары [14].

Таблица 2 – Инновационные технологии пожаротушения

Технология пожаротушения	Описание
Роботы в тушении пожара	Использование роботов для тушения пожаров в труднодоступных местах, где люди не могут работать безопасно.

Продолжение таблицы 2

Мониторинг и оценка пожарной обстановки	Системы для быстрого обнаружения и оценки пожарной обстановки, что помогает принимать эффективные меры по тушению пожара.
Аэрокосмические технологии	Использование новых технических средств на основе аэрокосмических технологий для эффективного пожаротушения с тонкораспыленной водой и огнетушащими средствами.
Азотное пожаротушение	Технология, основанная на использовании азота для тушения пожаров, что может быть эффективным на предприятиях медеплавильного комплекса.
Системы пожаротушения Fumarole	Инновационные мобильные и стационарные системы пожаротушения от Fumarole, эксклюзивного поставщика таких технологий.
Инновационные методы борьбы с лесными пожарами	Применение современных методов и технологий для борьбы с лесными пожарами в труднодоступных местах, включая новые подходы к тушению пожаров.

Эти инновационные технологии помогают более эффективно и безопасно тушить пожары в труднодоступных местах.

В итоге, инновационные технологии пожаротушения играют важную роль в обеспечении безопасности и защиты от пожаров. Они предоставляют пожарным службам и другим специализированным организациям средства и методы для эффективного тушения возгораний. Благодаря постоянному развитию и применению передовых научных и технических решений, можно продолжать повышать эффективность пожаротушения и обеспечивать безопасность жизни и имущества.

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

2.1 Технологии пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси

Опасности от огня, как одной из самых разрушительных сил природного происхождения, представляют серьезную угрозу целостности имущества и жизни людей в современном мире. В свете этого, задача поиска эффективных подходов к тушению огня становится крайне важной для специалистов в области инженерии и спасательных работ. Заметный интерес в недавнее время обращается к созданию новых технологий для борьбы с пожарами, акцентированных на применении флегматизирующих методов для нейтрализации горючих смесей.

Флегметизация представляет собой метод приглушения пламени, основанный на внесении химических компонентов, вносящих изменения в физико-химические показатели паровых или газовых скоплений, участвующих в процессе горения материалов. Создание несгораемого слоя, блокирующего распространение огня и его угасание при контакте с активными химреагентами, выступает центральным принципом этой методики. В отличие от традиционных способов тушения пожара, каковыми являются водяные и порошковые средства, флегметизация занимает свою уникальную нишу.

Таблица 3 – демонстрирует технологии, предназначенные для тушения пожаров, использующие процесс флегматизации горячей смеси.

Технология	Описание
Пенные стволы	Используются для распыления пенной смеси на пламя во время пожаротушения

Продолжение таблицы 3

Пенные автоматы	Используются для автоматически распыления пенной смеси на пожар
Пенные стенды	Стационарные установки для образования пены
Пенные барьеры	Могут использоваться и применяться для препятствования распространению огня с помощью пены
Пенные бомбы	Могут использоваться и применяться для быстрого распыления пенной смеси в очаге пожара

Осознание принципов функционирования обозначенных технологий даст возможность создавать системы пожаротушения, выделяющиеся повышенной безопасностью и эффективностью, что, в свою очередь, сократит угрозы для человека и поможет обереечь важные материальные ценности от разрушения пламенем.

В мире, где пламя несет в себе серьезную опасность для существования и владений человека, не устают создаваться передовые методы тушения огня. Инновация в данной области представлена техникой флегматизации, заключающейся в удержании и подавлении пламени за счет применения специальных средств, получивших название флегматизаторы.

Изменение химических характеристик воспламеняющейся смеси за счет введения флегматизаторов становится ключевым аспектом функционирования данной технологии. Способность этих веществ к замедлению или полному предупреждению реакции окисления горючих материалов при попадании на них огня обуславливает их флегматизирующий эффект. Образуя защитный слой, флегматизаторы предотвращают достижение кислорода до горящей поверхности, тем самым нарушая и прекращая реакцию окисления, которая поддерживает горение.

Основные достоинства флегматизации - это скорость и результативность в процессе тушения огня, обусловленные возможностью предотвращения его перехода к различным объектам и помещениям поблизости. Способствуя формированию на поверхностях горючих веществ слоя, который пламя не затрагивает, флегметизация противостоит

распространению огня и зарождению новых зон его вспышки, затрудняя при этом процесс теплопередачи.

Кроме того, применение флегматизаторов существенно сокращает вероятность возникновения дополнительных рисков во время тушения огня. Это связано с тем, что процесс флегметизации влечет изменение химических характеристик горючего материала и не требует большого объема воды или химикатов, что, в свою очередь, замечательно уменьшает шанс потенциального загрязнения окружающей среды или ущерба для имущества.

Использование технологии флегматизации отличается эффективностью не только с технической, но и с экономической стороны. Экономия достигается благодаря тому, что, в отличие от альтернативных методов тушения огня, требующих значительных вложений в специализированное оборудование и химикаты, флегматизация опирается на использование доступных и бюджетных материалов. Такой подход расширяет круг потенциальных пользователей этой технологии, предоставляя возможность её применения как частными фирмами, так и государственными структурами.

Следует подчеркнуть, что применение флегматизации представляет собой метод борьбы с огнем, не вредящий экологии: состав флегматизаторов исключает вещества, опасные для природы и здоровья людей, и на атмосферу он не оказывает неблагоприятного эффекта. К тому же, использование данной технологии позволяет сократить объемы отходов и снизить потребление природных богатств за счет меньшего количества применяемых противопожарных средств по сравнению с альтернативными методами.

Флегметизация является передовым методом борьбы с огнем, что достигается путем изменения химического состава горючих материалов. Согласно основам этого технологического процесса, можно выделить ее ключевые достоинства: скорость элиминации огня, уменьшенная вероятность возникновения побочных опасностей, стоимостная эффективность и бережное отношение к окружающей среде. Эти факторы обуславливают

широкую популярность и развитие данной технологии в области тушения пожаров.

Во многих сферах промышленности получили распространение технологии тушения огня, которые основываются на флегмализации горючих составов благодаря тому, что тушение пожаров данным способом проявляет себя как безопасное и результативное [19].

Механизм действия огнетушащих аэрозолей известен недостаточно хорошо. Предполагается, что он связан с ингибированием реакций горения, то есть быстрого окисления топлива. Однако для возникновения пожара необходимо соблюдение четырех факторов одновременно: наличие кислорода, легковоспламеняющихся веществ, тепла и химических цепных реакций [16]. Обычно горение представлено в виде тетраэдра (треугольника) огня, который показан на рисунке 2.

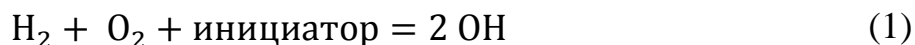


Рисунок 2 – Треугольник огня.

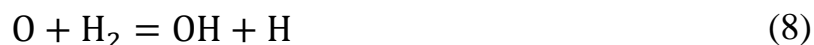
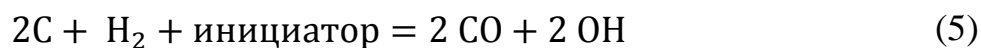
При объяснении противоречивого механизма горения важно знать происхождение топлива, кислорода и окружающей среды, в которой могут происходить цепные реакции. Также будет полезно сказать, что топливом в естественной среде является водород [37]. Другие виды топлива являются производными, такими как углерод или сера, или не встречаются в природе. Топливо может использоваться в различных концентрациях, однако в случае

реакции горение пламенем происходит только в газообразном состоянии, содержащем упомянутые атомы водорода.

В случае водорода элементарные реакции образования и рекомбинации радикалов заключаются в следующем:



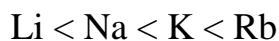
В случае производных углерода могут образовываться промежуточные продукты, которые подлежат дальнейшему сжиганию:



Активные элементы воды (радикалы) выделены жирным шрифтом. Они не существуют в естественных условиях или существуют в течение очень короткого периода времени (пикосекунды). Удаление или постоянное связывание только одного типа радикалов должно остановить цепную реакцию горения. Соли щелочных металлов, действующие в качестве

восстановителей в реакции окисления, превосходно справляются с этой ролью [28,33,34,35,37].

Ингибирующая активность цепной реакции солей щелочных металлов с одним и тем же анионом возрастает в следующем порядке:



Ингибирующая активность соединений одного и того же щелочного металла с различными анионами возрастает в следующем порядке:

oxalate > cyan > carbonate > iodide > bromide > chloride > sulphate > phosphate

Выделенные анионы являются наиболее часто используемыми ингибиторами горения.

Однако наиболее эффективными ингибиторами горения являются органические соединения, содержащие галогены (фтор, хлор, йод, бром), фреоны или галогенированные соединения. Эти соединения содержат элементы из 7-й группы периодической таблицы Менделеева, которые немедленно вступают в реакцию с горючими радикалами. Эти соединения чаще всего используются для придания огнестойкости некоторым горючим материалам, например органическим полимерам (антипиренам, ретардантам и т.д.). К сожалению, летучие органические соединения, содержащие галогенпроизводные, разрушают озоновый слой, усиливает парниковый эффект и больше не может использоваться при тушении пожаров.

Например, хлор-фтор-углероды, галоны, промышленные газы типа HFC, PFC, SF₆ (т.е. F-газы) — это соединения, которые не встречаются в природе. Они были созданы для промышленных целей. В промышленно развитых странах на их долю приходится около 1,5% всех парниковых газов, выбрасываемых в атмосферу. Они чрезвычайно эффективны с точки зрения поглощения тепла – в некоторых случаях в 22 тысячи раз больше, чем CO₂ – и они могут оставаться в атмосфере тысячи лет, оказывая пагубное воздействие на климат. Таким образом, в соответствии с Регламентом ЕС по некоторым фторированным парниковым газам и Закона о веществах, разрушающих озоновый слой, эти вещества постепенно выводятся с рынка.

Огнетушащие аэрозоли и микро- и нанопорошки обладают очень активной поверхностью, поддерживающей реакции окисления и восстановления. Выпускаемые в настоящее время огнетушащие аэрозоли на основе нитратов и карбонатов калия имеют размер частиц от 50 до 1000 нм, которые при температуре распыления срабатывают ($> 1000^{\circ}\text{C}$), образуют активные центры, которые немедленно вступают в реакцию с радикалами, поддерживающими реакцию горения в пламени. Эффективность огнетушащих аэрозолей, действующих локально, зависит от многих пространственных факторов, которые учитываются при схеме подсистемы [40].

Химическое связывание свободных радикалов в молекулы может происходить на определенных активных поверхностях зерен порошка. Этот эффект, называемый «гетерофазным ингибированием», в разной степени проявляется у всех типов порошков, предназначенных для тушения пламени. Пример технологической схемы для этого процесса можно резюмировать следующим образом:



где: C_a означает активный центр на поверхности нанозерен, а C - менее активные участки. Свободные радикалы, необходимые для нормального горения в пламени, улавливаются и временно связываются активными участками C_a на внешней поверхности нано- или микропорошка. Другие свободные радикалы пламени могут вступать в реакцию с замедленными таким образом радикалами, образуя менее активные радикалы или молекулы. Таким образом, участки на поверхности зерен порошка служат ингибиторами процессов горения [24].

Однако внутри пламени могут происходить и другие реакции. Например, пиротехнический заряд (или другой специально разработанный заряд с относительно медленным горением) позволяет эффективно распылять щелочь, например бикарбонат калия. Газы, образующиеся при сжигании шихты, поднимают нанозерена соли, что также приводит к их быстрому разложению до оксида калия. Таким образом, аэрозоль, попадающий в пламя, может очень быстро вступать в реакцию со свободными радикалами (гомофазное ингибирование) из-за очень высокой поверхности области. За образованием гидроксида в результате термического разложения следует цикл восстановительных реакций, приводящих к быстрому снижению концентрации свободных радикалов под действием нанопорошка в соответствии со следующей схемой:



По сути, это цепная реакция ограничения горения за счет сильных восстановительных свойств щелочных ионов путем их рекомбинации до тех пор, пока не произойдет реакция с углекислым газом. Метод, использующий химическое ингибирующее воздействие калиевой соли на пламя за счет ее быстрого пиротехнического распыления, является высокоэффективным с точки зрения активного щелочного ингредиента. В частности, это относится к высокой температуре реакции наночастиц, благодаря которой они очень химически активны.

Щелочные нанопорошки способны глубоко проникать в очаг возгорания и, в отличие от газов, не растворяются, а значит, могут дольше оставаться в месте выделения аэрозоля. Считается, что в этом и заключается их местное действие. Напротив, газообразные огнетушащие вещества требуют выброса в компактные помещения и изыскивают возможности для снижения давления в этих местах. В частности, средства на основе CO_2 в настоящее время изымаются из зон возгорания из-за их токсичных свойств. С другой стороны, порошковые и жидкие огнетушащие вещества быстро выходят из строя, и таким образом, они теряют свою противопожарную эффективность, что приводит к другим повреждениям от пожара.

Аэрозольные огнетушащие вещества, благодаря диэлектрическим свойствам нанопорошков, особенно подходят для тушения пожаров внутри электрооборудования и компьютерных устройств. Этот эффект уменьшает необходимость их отключения. Это снижает риск повреждения тушимого имущества (например, в результате попадания воды) и поражения электрическим током. Кроме того, тушение пожаров с использованием огнетушащих аэрозолей не приводит к снижению уровня кислорода в воздухе, поскольку такие аэрозоли вступают в реакцию только со свободными радикалами в процессе горения, поэтому они безопасны для людей, которые могут находиться в зоне пожара [25,27,29].

2.2 Разработка рекомендации по применению технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси

Разработка рекомендаций по применению технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси является актуальной и важной задачей в области пожарной безопасности. Пожары представляют серьезную угрозу для жизни людей, имущества и окружающей среды, поэтому разработка эффективных методов борьбы с огнем является неотъемлемой частью комплексных мер по предотвращению и ликвидации возможных пожарных происшествий.

Исследования в данной области имеют большое практическое значение для специалистов по пожарной безопасности, проектировщиков зданий и сооружений, а также всех заинтересованных лиц. Результаты проведенного анализа могут быть использованы при разработке мер по предотвращению возникновения пожарных происшествий или при выборе оптимального метода ликвидации огнестойких объектов.

В современном мире проблема пожарной безопасности является актуальной и важной. Каждый год происходят тысячи пожаров, которые приводят к материальным убыткам и потере жизней. Однако благодаря разработке новых технологий, возможно значительно улучшить свойства огнетушащих веществ и повысить эффективность борьбы с огнем.

Одной из таких технологий является флегматизация горючей смеси. Этот метод основан на добавлении специальных веществ в состав огнеупорного раствора или порошка, что позволяет значительно уменьшить скорость горения горючих материалов и предотвратить распространение огня.

Принцип работы флегматизации заключается в образовании защитного слоя на поверхности зажженного объекта. При попадании флегматика на поверхность горящего материала, он образует непроницаемую пленку,

которая препятствует доступу кислорода к источнику горения. Таким образом, процесс горения замедляется или полностью прекращается. В

Использование технологии флегматизации горючей смеси при пожаротушении имеет много преимуществ:

- благодаря добавлению специальных компонентов и веществ, флегматизирующие вещества и порошки приобретают новые свойства, что позволяет справиться даже с самыми сложными видами пожаров;

- некоторые материалы могут обладать высокой взрывоопасностью при контакте с открытым огнем или повышенной температурой в следствии чего добавление флегматизирующих веществ может значительно снизить этот риск и предотвратить серьезные последствия;

- экологическая безопасность заключается в том, что флегматизирующие вещества и порошки не содержат опасных для окружающей среды веществ, что в свою очередь позволяет использовать их даже в разных экологических зонах;

Технология флегматизация горючей смеси может быть применена в широком спектре отраслей начиная от нефтепереработки, производства химической продукции и автомобильной промышленности, это связано с возможностью использования различных флегматизаторов, в которые могут быть адаптированы под конкретные условия работы. Выбор и применение технологии на основе флегматизации горючей смеси может быть сложным заданием, требующим детального анализа конкретных условий и потребностей различных отраслей. В данном разделе рассмотрим рекомендации по выбору и применению технологий на основе флегматизации горючей смеси в различных инфраструктурах.

1. Промышленная инфраструктура

Промышленные объекты часто имеют большие складские помещения, наружные установки, производственные цеха и другие зоны, где вероятность возникновения пожара высока. Для таких объектов рекомендуется использовать технологии на основе флегматизации, которые имеют высокую

эффективность при тушении и быстрому подавлению пожара, к этим технологиям можно отнести системы аэрозольного пожаротушения для таких объектов.

2. Транспортная инфраструктура

В транспортной инфраструктуре возможность возникновения пожара является серьезной угрозой для безопасности пассажиров и перевозимых грузов. Вследствие этого важно правильно выбирать и применять технологии пожаротушения на основе флегматизации, которые в свою очередь будут обеспечивать надежность и быстроту тушения возгорания.

3. Городская инфраструктура

В городской инфраструктуре здания общественного назначения такие как школы, больницы, офисные здания, который требует особого внимания к пожарной безопасности так, как опасность пожара складывается из всех факторов присутствующих в зданиях, в этом случае рекомендуется использовать навесные или встроенной системы пожаротушения на основе флегматизации которые смогут обеспечить непрерывную защиту от возгорания и опасных факторов пожара в местах наибольшей опасности таких как электрические шкафы и другие источники возгорания.

4. Сельское хозяйство

В сельском хозяйстве пожары могут привести к значительным финансовым и человеческим потерям, поэтому рекомендуется использовать системы пожаротушения на основе флегматизации, которые специально разработаны для аграрных объектов, такие как аэрозольные системы пожаротушения, которые могут быть эффективными в тушении пожаров в складских помещениях с сельскохозяйственной продукцией.

5. Энергетика

Объекты энергетической инфраструктуры чаще всего имеют большие объемы горючих материалов и высокую вероятность возникновения пожара для таких объектов рекомендуется выбирать особо эффективные системы пожаротушения на основе флегматизации, которые способны быстро

подавить пожар и предотвратить его распространение на другие узлы и оборудования. К таким системам можно отнести инертные газовые системы, которые позволяют эффективно противостоять пожару.

В последние годы технологии флегматизации стали широко применяться в системах пожаротушения. Это связано с их высокой эффективностью, надежностью и безопасностью. В данном подразделе рассмотрим несколько практических примеров успешного использования таких технологий при пожаротушении.

Первый пример – применение флегматизаторов в автомобильной индустрии. Одной из задач, с которыми часто сталкиваются автопроизводители, является обеспечение безопасности работников на производстве и предотвращение возгораний или взрывов в случае аварийных ситуаций. Для этого используются специальные системы пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси.

Примером может служить одна из крупнейших автомобильных компаний, которая решает проблему пожарной безопасности на своих заводах по всему миру благодаря использованию технологии флегматизации. Система состоит из детекторов, которые мониторят концентрацию опасных газов, и флегматизаторов, которые в случае обнаружения угрозы автоматически выпускают специальную субстанцию для погашения возгорания. Благодаря этой системе удалось значительно снизить количество пожаров на производственных объектах.

Второй пример – использование технологий флегматизации при пожаротушении в нефтегазовой отрасли. Добыча, переработка и хранение нефти и газа являются опасными для окружающей среды процессами, которые могут привести к серьезным последствиям, таким как взрывы или загрязнение окружающей среды. В данном случае эффективное пожаротушение играет решающую роль в предотвращении катастроф.

Примером успешного использования технологии флегматизации может служить одна из крупнейших нефтегазовых компаний. Они используют

систему автоматического пожаротушения на основе флегматизации при добыче и переработке нефти и газа. Система состоит из детекторов, которые непрерывно мониторят концентрацию взрывоопасных газов, и специального раствора флегматизатора. В случае обнаружения угрозы система автоматически активирует пожаротушение, что значительно снижает риск возникновения пожаров или взрывов.

Третий пример – использование технологий флегматизации при пожаротушении на объектах нефтеперерабатывающей промышленности. Данный сектор экономики также стал активно применять технологии флегматизации для предотвращения пожаров и взрывов при переработке нефти и производстве различных нефтепродуктов.

Примером может служить крупнейший нефтеперерабатывающий завод, который успешно использует систему автоматического пожаротушения на основе флегматизации. Система состоит из специальных детекторов, которые контролируют концентрацию опасных газов, и специального реагента-флегматизатора. При обнаружении возгорания система автоматически выпускает данный реагент для быстрого и эффективного погашения огня. Благодаря этому удалось снизить количество пожаров на предприятии и обеспечить безопасность работников.

Таким образом, приведенные выше примеры являются лишь небольшой частью успешных использований технологий флегматизации при пожаротушении. Все больше компаний в различных отраслях экономики приходят к выводу о необходимости использования таких систем для обеспечения безопасности и предотвращения возгораний или взрывов на своих объектах. Это подтверждает эффективность данных технологий и их значимость в современном мире.

Кроме того, можно отметить, что применение технологий на основе флегматизации горючей смеси при пожаротушении является эффективным и перспективным направлением в разработке огнетушащих веществ и материалов.

3 Опытнo – экспериментальная апробация предлагаемых технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси.

3.1 Технология (программа) внедрения инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси

Энергия активации реакции горения не влияет на ее тепловой эффект, который определяется только начальным и конечным состоянием системы. Тепловой эффект химической реакции Q не зависит от величины энергии активации E , т.е. от того, по какому механизму происходит реакция, а зависит только от начального и конечного состояния системы. Тепловая теория потухания также основывается на энергетических законах (рисунок 3), связь которых представляет особый интерес.



E – энергия активации; Q – тепловой эффект реакции; E' – конечное энергетическое состояние системы, q^+ – количество выделяющегося тепла; q^- – количество отводимого тепла; T_0 – начальная температура; $T_{\text{г}}$ – температура горения (т. 1); $T_{\text{пот}}$ – температура потухания (т. 2)

Рисунок 3 - Влияние огнетушащих составов на процессы тепловыделения и теплоотвода в зоне реакции горения

Ингибирующие и флегматизирующие огнетушащие составы в соответствии с тепловой теорией потухания (рисунок 3) понижают температуру в зоне пламенного горения до температуры потухания, при этом

важно понимать их влияние на исходные реагенты химической реакции. Их введение в зону горения приводит к уменьшению тепловыделения q^+ и увлечению теплоотвода q^- что позволяет снизить температуру в зоне горения от значений t_1 (температура горения) до значений t_2 (температура потухания). В процессе физико-химической реакции горения происходит разрыв одних и образование других химических связей. Поэтому энергия химической связи атомов в молекулах горючих веществ является важным критерием при разработке средств для тушения пожаров, т.к. ее разрыв обуславливает дальнейшее протекание реакции горения и, как следствие, образование продуктов реакции горения. В теоретическом аспекте физическая энергия химической связи в молекуле определяется количеством энергии, которую необходимо затратить, чтобы разделить ее на две части и удалить их друг от друга на бесконечное расстояние. Стандартной энергией разрыва химической связи называют изменение энтальпии при химической реакции, в которой происходит разрыв данной связи в одном моле вещества.

В настоящее время признано, что подавление или гашение пламени может быть более эффективным с помощью химических, а не физических средств. Был проведен ряд обзоров и обследований, посвященных в первую очередь химическим аспектам подавления горения. Обсуждение взаимосвязи химических средств подавления горения с огнетушением или противопожарной защитой в целом можно найти в ряде обширных литературных источников.

В практических системах важно, каким образом добавки попадают в пламя или в систему с потенциальным пламенем. Одна из теорий, основанная на эмпирических данных, требует, чтобы добавка находилась «в нужном месте в нужное время». Таким образом, в некоторой степени защита воспламеняющихся субстратов требует, чтобы свойства ингибитора по выделению паров были связаны со свойствами воспламеняющегося субстрата по выделению топлива. В качестве примера можно привести составы оксид сурьмы – органический галоген, используемые для снижения

воспламеняемости органических полимеров, в которых сурьмяно-галогенный компонент выделяется примерно в то же время, когда полимер разлагается.

Удовлетворительная теория подавления горения еще не разработана, хотя общепризнано, что добавки, предположительно, влияют на концентрацию распространяющих пламя радикалов H , OH , O и, возможно, CH_3 и NO_2 . Влияние добавок на скорость пламени, также известную как скорость горения, особенно показательно в том смысле, что требуется лишь небольшое количество добавок, чтобы сильно повлиять на распространение пламени. Также очевидно, что ингибирующее действие добавок, таких как галогены, не может быть объяснено просто снижением равновесной концентрации радикалов из-за образования галогенидов водорода. Очевидно, что функция добавки является каталитической, а ингибирование воспламенения — это, прежде всего, кинетическое явление [30].

Степень эффективности ингибитора воспламенения можно просто определить по количеству ингибитора, необходимому для тушения пламени. Это количество зависит от типа пламени, т.е. от предварительного смешивания или диффузии, а также от соотношения топлива и окислителя. Если в предварительно смешанное углеводородно - кислородное пламя с ламинарным потоком добавляется ингибитор, в котором зона реакции светится, можно определить действие ингибитора при отсутствии гашения, отметив смещение зоны реакции в положение, расположенное дальше по потоку от отверстия горелки. Это изменение происходит в результате уменьшения скорости горения пламени из-за присутствия ингибирующего агента [17].

Измерение скорости горения на предварительно смешанных факелах с ламинарным потоком обеспечивает основную основу для отбора пламегасителей. Измерения скорости горения на диффузионных факелах проводятся реже из-за сложности определения основного параметра прочности пламени, такого как скорость горения, а также из-за сильного геометрического влияния на распространение диффузионного пламени.

Распространение реальных пожаров, в отличие от лабораторных, часто происходит в условиях диффузии и турбулентного пламени. Однако имеются данные о соответствии между скоростью распространения турбулентного пламени и скоростью горения в ламинарном потоке. Также можно отметить, что диффузионное пламя действительно содержит область предварительного перемешивания у основания, и в целом не установлено, действует ли ингибитор в этой области или нет. Также было обнаружено, с CH_3Br , что одинаковое количество ингибитора может гасить как диффузионное, так и предварительно смешанное пламя, и это убедительно свидетельствует о том, что область предварительного смешивания является соответствующей областью ингибирования [38].

Как показали ученые, зная основные кинетические и транспортные свойства реакций в пламени, можно количественно рассчитать скорости горения. Однако на сегодняшний день это возможно сделать только для системы сжигания $\text{H}_2 - \text{O}_2$ пламени, поскольку для углеводородного и других видов пламени отсутствуют базовые данные и понимание механики. Аналогичным образом, если бы была известна кинетика горения добавки, то на основе базовых принципов можно было бы предсказать величину снижения скорости горения из-за ингибирования. Поскольку в настоящее время такие корреляции скорости пламени с базовыми данными о пламени невозможны, имеется необходимость для разработки менее сложных математических моделей для подавления пламени.

Необходимость в таких моделях была подчеркнута исследователями, которые разработали модель, которая позволяет определять новые параметры для оценки ингибиторов воспламенения с точки зрения измеримых макроскопических переменных, таких как концентрация O_2 , концентрация ингибитора и изменение скорости горения. В основе модели лежит представление о том, что ингибитор запускает реакцию, которая конкурирует с реакцией разветвления цепи, а именно:



путем удаления атомов Н, например:



Модель показывает, где в присутствии ингибитора зона предварительного воспламенения расширяется, а зона реакции сужается. Считается, что ингибирование происходит главным образом в области перед воспламенением, где реакция разветвления цепи протекает медленно и более важна рекомбинация радикалов. В этой модели ингибитор снижает уровень радикалов в зоне предварительного воспламенения, но в зоне реакции концентрация может быть выше, чем при свободном воспламенении. В результате профили радикалов смещаются вниз по течению в область более высоких температур, где их конкуренция с ингибитором более благоприятна.

Исходя из математической модели, коэффициент полезного действия ингибитора, используя данные о скорости горения, может быть определен как:

$$\varphi_v = \frac{[\text{O}_2]}{I} \frac{\delta V}{V_0}, \quad (17)$$

где φ_v - коэффициент полезного действия ингибитора,

$[\text{O}_2]$ - начальная концентрация кислорода,

$[I]$ - начальная концентрация ингибитора,

V_0 - скорость горения в отсутствие какого-либо ингибитора, и

δV - изменение скорости горения из-за присутствия ингибитора.

Предполагается, что пламя слегка обогащено топливом, т.е. атом Н является доминирующим радикалом.

На практике φ_v коррелирует с другими показателями эффективности ингибитора, такими как пределы продувки и гашения для галогенных ингибиторов. Из определения φ_v также следует, что степень ингибирования должна быть пропорциональна количеству ингибитора, добавляемого в пламя.

Галогенные системы являются одними из наиболее широко используемых коммерческих реагентов для предотвращения и тушения пожаров. Галогенные системы также привлекли наибольшее внимание специалистов, интересующихся основным механизмом подавления горения. Следует признать, что в некоторых случаях обработка галогенами позволяет изменить процесс разложения материалов таким образом, что в процессе пиролиза или окисления образуются только относительно негорючие газы.

Однако настоящее обсуждение ограничено аспектами замедления, которые включают химический состав паровой фазы в процессе ингибирования. В практических противопожарных системах галогены могут быть введены в газовую фазу механическим путем, как в системах защиты от фреона, или химическим путем, как при выделении HC1 из разлагающегося поливинилхлорида, или в виде хлоридов фосфора или оксихлоридов, образующихся при разложении полимерной подложки, или в виде галогенидов сурьмы из полимерных подложек [18].

Известно, что в зоне реакции с более высокой температурой пламени реакции с участием H , OH и O протекают сбалансированно, и между этими веществами существует псевдоравновесие. Следовательно, в этих условиях споры о том, являются ли OH , O или H ингибируемыми соединениями, не имеют особого значения, поскольку восстановление любого из этих радикалов привело бы к ингибированию разветвления цепи.

Известно, что ингибирование более эффективно в более холодном, чем в более горячем, быстро горящем пламени, это связано с более высокими концентрациями радикалов в более горячем пламени. В качестве альтернативы, можно утверждать, что в более горячем пламени превышение

концентрации радикалов над равновесным уровнем не так велико, как в более холодном пламени. Следовательно, исходя из кинетической неравновесной природы процесса ингибирования, можно ожидать большей степени ингибирования в более холодном пламени.

Очевидно, что неорганические системы, содержащие галогены (кроме F) или определенные металлы, могут обеспечивать значительно большую степень подавления горения, чем это допускается физическими процессами. Кроме того, оказывается, что высокотемпературные соединения, такие как галогениды, оксиды и гидроксиды металлов, играют важную роль в процессе подавления горения. Поскольку процессы подавления пламени контролируются кинетически и довольно строго зависят от специального набора энергетических факторов, очевидна потребность в базовых термохимических и кинетических данных для проведения исследований механизма подавления пламени. Скорость испарения при пиролизе и в условиях горения также, по-видимому, является важной величиной в общем процессе подавления горения.

В настоящее время наиболее эффективными средствами пожаротушения являются порошковые огнетушащие вещества, которые отличаются высокой эффективностью и универсальностью. Они наиболее широко применяются в тех случаях, когда нецелесообразно использовать традиционные средства пожаротушения. Огнетушащие порошки представляют собой мелкодисперсные минеральные соли с дорогостоящими галогенсодержащими гидрофобизирующими добавками. Таким образом, большинство из них являются галогенсодержащими и не отвечают современным требованиям, в первую очередь с точки зрения эффективности, и универсального применения. Поэтому разработка не содержащих галогенов, экологически безопасных огнетушащих порошков является одной из важнейших проблем в мире [26,39].

Технология производства этих огнетушащих порошков отличается от технологии серийного производства. Такие порошки будут изготавливаться

путем механического смешивания местного минерального сырья, которое не требует дополнительной химической обработки и модификации дорогостоящими галогенсодержащими гидрофобизирующими добавками, что делает огнетушащие материалы значительно дешевле импортных аналогов.

Сырье: цеолит, глинистый сланец и перлит в соответствии с их высокими эксплуатационными свойствами и факторами, снижают процесс горения. Как хорошо известно, такое сырье в основном силикатного происхождения и содержит карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов, бикарбонаты, силикаты, оксалаты, а также гидроксиды железа, алюминия и щелочных металлов и кристаллизационную воду. Поэтому при их интенсивном нагреве происходит разделение негорючих газов, водяного пара и оксидов металлов. Выделяющиеся негорючие газы и водяной пар в зоне пламени функционируют в качестве флегматизатора и в поверхностной зоне вызывает образование вспученного слоя. Защитная пленка из оксидов металлов, глутамат и слой кокса создают «противопожарный» эффект [31].

Эффективность порошков зависит от их дисперсности, ингибирующих свойств, а также от их эксплуатационных характеристик. Наиболее важными эксплуатационными свойствами являются: склонность к уплотнению и слеживанию, адсорбция влаги, сыпучесть порошка и продолжительность хранения. Экспериментальные исследования показали, что цеолиты характеризуются более низкой слеживаемостью, но более высокой влагоемкостью по сравнению с перлитами и глинистыми сланцами, в то время как композитные порошки, полученные на основе смеси цеолитов, перлитов и глинистых сланцев, характеризуются низкой влагоемкостью, а также способность к слеживанию [32]. Это указывает на то, что цеолиты в композиционных порошках играют роль гидрофобизаторов. Таким образом, можно предположить, что введение амофоса и доломита, которые являются гигроскопичными, но характеризуются высокими ингибирующими свойствами, в цеолитсодержащие композиционные порошки сырья не

приведет к существенному изменению эксплуатационных характеристик, но значительно повысит огнетушащую способность.

Наименее желательным свойством при эксплуатации является склонность к уплотнению и слеживанию, что затрудняет и, в конечном счете, снижает огнетушащую способность порошка. Основной причиной, вызывающей уплотнение и слеживание, является влажность и средняя температура. Порошок поглощает влагу из воздуха, то есть твердые частицы растворяются в воде-конденсате, образуя насыщенный раствор твердой фазы.

При дальнейшем повышении влажности раствор становится перенасыщенным, а на поверхностях соприкосновения пересыщенных и насыщенных частиц происходит кристаллизация твердой фазы. Образование фазовых контактов возможно только в условиях новой коагуляции. Средняя твердость элементарных контактов отдельных частиц зависит от твердости порошковой структуры, которая зависит от дисперсности частиц, степени оседания и уплотнения. Установлено, что склонность к уплотнению и слеживанию возрастает с увеличением дисперсности.

Исследованиями было установлено, что для разных порошков даже при одинаковых дисперсиях удельная поверхность резко отличается. Поскольку спекание порошка обусловлено кристаллизацией твердой фазы на поверхности соприкосновения частиц, их спекание будет существенно отличаться. Учитывая все это, мы определили удельную поверхность порошков с различной дисперсностью и установили зависимость слеживаемости порошка от удельной поверхности (таблица 6 рисунок 4). Анализ экспериментальных данных показывает, что способность к слеживанию у высокодисперсных порошков резко возрастает с увеличением дисперсности, в то время как способность к слеживанию у порошков с низкой дисперсностью незначительно изменяется с изменением дисперсности. Например, при дисперсности порошка $<100 \mu$ способность к слеживанию составляет 30-40%; при дисперсности в пределах 100-200 μ

способность к быстрому слеживанию уменьшается до 0,2 – 0,4%, а при дисперсности 200-300 способность к слеживанию снижается до 0%.

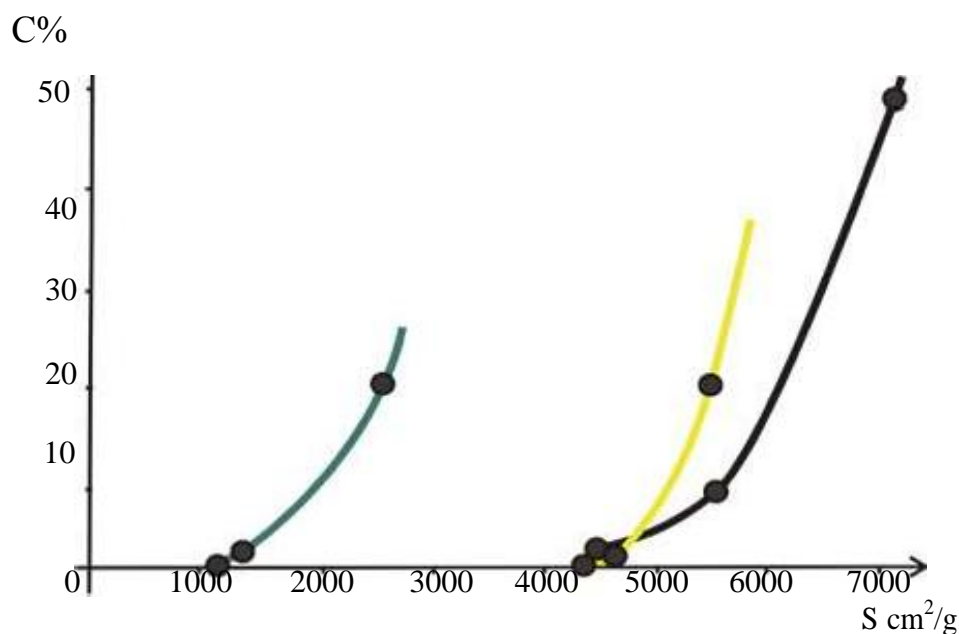


Рисунок 4 - Зависимость слеживаемости порошка от удельной поверхности
1 – цеолита, 2 – перлита, 3 – глинистого сланца

Таблица 5 – Эксплуатационные свойства сырья

	Материалы	Дисперсность порошка, S (μ)	Удельная площадь поверхности, S (cm²/kg)	Текучесть порошка, Q (kg/s)	Содержание влаги и склонность к повышенной влажности, W%	Склонность к уплотнению и слеживанию С%
1	Глинистый сланец	# 0.1	7270	–	0.17	50
		# 0.1-0.2	5530	0.17	0.18	7.5
		# 0.2-0.3	5100	0.17	1.2	2.0
2	Цеолит	# 0.1	5530	–	3.6	20
		# 0.1-0.2	4640	0.16	4.6	0.6
		# 0.2-0.3	4280	0.16	4.6	0
3	Перлит	# 0.1	2540	–	0.7	18
		# 0.1-0.2	1295	0.14	0.7	0.1
		# 0.2-0.3	1093	0.14	0.8	0

Исходя из этого, оптимальная дисперсность (до 200 μ) подобран таким образом, чтобы способность к спеканию была минимальной, подача порошка была удобной, а размеры частиц - подходящими для их быстрого нагревания и разрушения, то есть чтобы имело место однородное воздействие продуктов сгорания на пламя, а также неоднородное ингибирование процесса горения [23]. Гомогенный эффект означает нагрев, испарение и разрушение частиц порошка, при этом происходит выделение негорючих газов, а оксиды металлов тормозят процессы горения. Но известно, что если размеры частиц порошка превышают 50 μ , то такие частицы не успевают нагреться до температуры воспламенения. Следовательно, гомогенный механизм тушения менее эффективен, а ведущую роль играет гетерогенный механизм, который означает неоднородное удаление реакционно-активных центров на поверхности твердых частиц порошка. В то же время следует отметить, что по неоднородному механизму огнетушащая способность порошка оценивается не по массовому расходу порошка в единице объема (G), но по площади общей поверхности частиц порошка в единице объема или по «поверхностной» концентрации ($C_n \cdot S$), которая может быть определена произведением массовой концентрации на удельную поверхность порошка [72].

Итак, для комплексной оценки огнетушащего эффекта были выбраны специальные характеристики:

- Обратное значение «поверхностной» концентрации огнетушащего вещества - $1/C_n \cdot S$;
- Коэффициент рекомбинации атомарного кислорода - γ_0 .

Для определения огнетушащей способности основываются на основе испытаний, которые учитывают тушение стандартных пожаров различных классов с помощью огнетушащих конструкций [36]. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 10 и на рисунке 5.

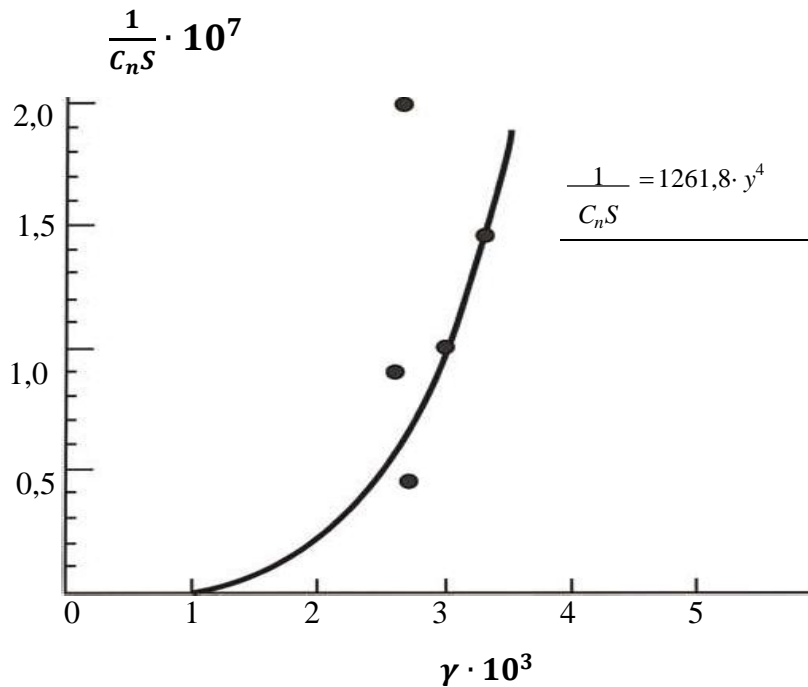


Рисунок 5 - Зависимость огнетушащей способности от коэффициента рекомбинации атомарного кислорода.

Таблица 6 – Огнетушащая способность

	Материал	Класс пожара	Время тушения пожара, t_{cr} (sec)	Минимальное потребление на единицу площади, G (kg/m^2)	Минимальная Массовая концентрация, C_n (kg/m^3)	Специальная площадь поверхности порошка, S (sm^2/kg)	$1/C_n \cdot S$	Коэффициент рекомбинации атомарного кислорода, γ_0
1	Глинистый сланец	A	18	4.1	8.2	$4.5 \cdot 10^6$	$0.027 \cdot 10^{-6}$	$6.5 \cdot 10^{-3}$
		B	12		7			
2	Цеолит	A	15	2.6	5.2	$4.28 \cdot 10^6$	$0.045 \cdot 10^{-6}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$
		B	8		4.8			
3	Перлит	A	12	2.2	4.4	$1.09 \cdot 10^6$	$0.20 \cdot 10^{-6}$	$2.6 \cdot 10^{-3}$

		В	8	2.0	4.0			
4	Цеолит + Глинист ый сланец + Перлит	А	10	1.8	3.6	$1.9 \cdot 10^6$	$0.146 \cdot 10^{-6}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$
		В	7		2.0			

Продолжение таблицы 6

5	Цеолит + Глинист ый сланец + Перлит + Амофос	А	6	1.1	2.2	$4.5 \cdot 10^6$	$0.1 \cdot 10^{-6}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$
		В	5		1.1			
6	Цеолит + Глинист ый сланец + Перлит + Доломит	А	8	1.4	2.8	$3.9 \cdot 10^6$	$0.09 \cdot 10^{-6}$	$2.6 \cdot 10^{-3}$
		В	6		1.3			
7	Стандар тный порошок	А	7	1.5	2.5	$4.1 \cdot 10^6$	$0.1 \cdot 10^{-6}$	$2.5 \cdot 10^{-3}$
		В	6		1.3			

Анализ экспериментальных данных показывает, что между огнетушащей способностью ($1/C_n \cdot S$) полученных порошков и коэффициентом рекомбинации атомарного кислорода (γ_0) существует симбатическая зависимость (рисунок 5). С увеличением γ_0 огнетушащая способность быстро возрастает. Указанное соотношение может быть выражено следующим уравнением:

$$1/C_n \cdot S = 1262.8 g \quad (18)$$

Для некоторых из них обнаружено отклонение от среднего значения. Для примера: γ_0 для перлитов ($2,6 \cdot 10^{-3}$) близок к цеолитам ($2,7 \cdot 10^{-3}$), в то время как огнетушащая способность перлита ($0,20 \cdot 10^{-6}$), превышает огнетушащую способность цеолитов ($0,20 \cdot 10^{-6}$), что, обусловлено тем, что

перлиты при высокой температуре характеризуются вспучиванием частиц и с дополнительным однородным воздействием мелких частиц порошка на пламя. Положительная корреляция показывает приоритет гетерогенного механизма в огнетушащем действии. В то время как для глинистых сланцев наблюдается значительное отклонение. Особенно высокое значение γ_0 , которое составляет 2,0-2,5 раза превышает значения коэффициента рекомбинации цеолитов и перлитов, что соответствует низкому значению огнетушащей способности. В основном это обусловлено высоким удельным весом, высокой дисперсностью и удельной поверхностью глинистых сланцев, что приводит к увеличению массового расхода порошка и концентрации на поверхности. Следовательно, рекомбинационный коэффициент порошкообразности, получаемый при введении глинистых сланцев в состав цеолитовых и перлитовых композиционных порошков, несколько увеличивается, при этом огнетушащая способность $(1/C_n \cdot S)$ изменяется незначительно или приближается к значениям огнетушащей способности цеолитов и перлитов.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что композитные огнетушащие порошки на основе цеолитов, перлитов и глинистых сланцев характеризуются высокой огнетушащей способностью и значениями коэффициентов рекомбинации атомарного кислорода. Таким образом, такие композитные порошки характеризуются высоким огнетушащим эффектом. Следует отметить, что эффективность полученных порошков не ниже, чем у стандартных порошков серийного производства, но в отличие от них они не содержат галогенов, экологичны и недороги (в 1,2-2 раза дешевле).

3.2 Анализ и оценка эффективности внедрения предлагаемых технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси

Пожары являются одним из наиболее опасных и разрушительных происшествий, которые могут возникнуть в любом объекте или сооружении. Огонь быстро распространяется и способен причинить значительные ущербы как материальным ценностям, так и человеческим жизням. Для предотвращения и тушения пожаров существует множество технологий и методов, включая использование флегматизации горючей смеси.

Одной из ключевых особенностей технологий пожаротушения на основе флегматизации является выбор оптимального состава флегматизатора для конкретного типа горючего материала. Различные виды материалов требуют различных подходов к флегматизации, поэтому необходимо провести анализ и оценку каждого случая индивидуально.

Другим важным аспектом является эффективность использования флегматизаторов при тушении пожара. Некоторые добавки могут значительно ускорить процесс гашения огня, в то время как другие могут иметь более длительный эффект защиты от возгорания. Поэтому необходимо проводить комплексный анализ результатов применения различных флегматизаторов для определения оптимальной стратегии пожаротушения.

Целью данной статьи является проведение обзора существующих технологий пожаротушения на основе флегматизации, а также анализ и оценка их эффективности. Будут рассмотрены различные виды флегматизаторов, методы применения и результаты экспериментальных испытаний для выявления лучших подходов к предупреждению и потушению пожаров с использованием данной технологии.

Проведение подробного анализа этих данных поможет не только повысить безопасность объектов от возможных пожаров, но также оптимизировать использование ресурсов при борьбе с возможными ЧС.

Одним из наиболее важных аспектов обеспечения пожарной безопасности является управление пожарной безопасностью. Эффективное управление при наличии соответствующей подготовки и знаний персонала

важно для принятия правильных мер в обеспечения безопасности в организации.

Следовательно, управление пожарной безопасностью направлено на эффективную оценку реализаций мероприятий по обеспечению противопожарной защиты в организации. Такая оценка проводится в целях обоснования планируемых мероприятий для выбора оптимальных решений, а также стимулирования работников организаций за разработку и внедрения инновационных технологий по обеспечению безопасности и решения других вопросов в области пожарной безопасности.

Флегматизация представляет собой процесс добавления воздуха или других инертных газов к горючей среде для уменьшения концентрации кислорода, что приводит к замедлению или полному прекращению горения.

Первой технологией, которая может быть использована для пожаротушения на основе флегматизации, является система инертного газа. Эта система работает путем впрыска инертного газа, такого как азот или углекислый газ, в зону возгорания. Инертный газ разбавляет содержание кислорода в окружающей среде и создает условия для тушения пожара без возобновления горения. Системы инертного газа широко используются в промышленности и объектах повышенной опасности.

Второй технологией является использование специальных флегматизаторов. Флегматизаторы – это химические соединения, которые при контакте с огнем выделяют инертные компоненты, способствующие дросселированию и потушению пожара. Такие флегматизаторы могут применяться в виде порошковых или жидких составов и могут быть распространены непосредственно на очаг возгорания или по всему помещению через автоматические системы подачи.

Третья технология — это использование аэрозольных систем пожаротушения. Аэрозольные системы представляют собой устройства, которые выделяют аэрозольную смесь частичек твердых соединений и/или жидкостей в зону возгорания. Эти частички обладают свойствами

флегматизации, что способствует быстрому дросселированию огня и его потушению.

Четвертая технология — это применение систем автоматического распыления водяного тумана. Вода как инертный компонент может использоваться для создания пароводяного облачка, который блокирует доступ кислорода к очагу возгорания и способствует его потушению.

Пятая технология — это использование перспективных материалов для создания барьера между окружающим пространством и очагом возгорания. Эти материалы могут иметь свойства самозащиты от огня или обладать способностью выделять инертные компоненты при нагревании.

Использование данных предложенных технологий позволяет эффективно проводить процесс пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси. Каждая из перечисленных методик имеет свои особенности и применение в зависимости от типа объекта, размеров помещений, химических свойств горючих материалов и других параметров окружения.

Методы анализа эффективности внедрения технологий играют важную роль при оценке результатов и последующем улучшении процессов пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси. Для проведения такого анализа необходимо использовать различные подходы и инструменты, которые позволяют оценить эффективность технологий, их применимость и потенциальные выгоды.

Один из основных методов анализа эффективности внедрения предлагаемых технологий — это сравнительный анализ. При использовании данного метода проводится сравнение результатов до и после внедрения новой технологии, что позволяет определить изменения в процессе пожаротушения. Важно учитывать не только количественные показатели, такие как время тушения или объем используемого флегматизатора, но и качественные характеристики, например, степень подавления возгорания или минимизация повреждений объекта.

Другим методом анализа является экономическая оценка эффективности внедряемых технологий. Проведение финансового анализа позволяет определить затраты на новую технологию относительно получаемых выгод. Этот подход поможет оценить целесообразность инвестиций в разработку и внедрение новых систем пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси.

Таблица 7 – Исходные параметры и цели Проекта

Этап	Цель этапа	Методы и действия	Оборудование и технологии	Ожидаемые результаты
Исследование	Определение наиболее эффективных веществ для флегматизации и горючей смеси	Анализ научных работ, эксперименты с различными веществами	Лабораторное оборудование (реакторы, спектрометры)	Перечень веществ, способных эффективно флегматизировать горючую смесь
Разработка	Создание формул и смесей на основе исследований	Разработка композиций, лабораторные испытания на модельных горючих смесях	Специализированное лабораторное оборудование	Формулы смесей для флегматизации
Пилотный проект	Тестирование смесей в условиях, максимально приближенных к реальным	Проведение пожаротушения на тестовых полигонах с использованием разработанных смесей	Тестовые полигоны, системы пожаротушения с использованием новой смеси	Данные о эффективности смесей в различных условиях
Масштабирование	Внедрение технологии на объектах с высоким риском возникновения пожаров	Обучение персонала, адаптация существующих систем пожаротушения под новую технологию	Системы пожаротушения, оборудованные для работы с новыми смесями	Снижение риска возникновения крупных пожаров, уменьшение ущерба от них
Оптимизация	Повышение эффективности и экономичности	Анализ данных использования технологии,	Современные материалы и технологии, программное	Снижение затрат на пожаротушение, повышение

	и применения технологии	доработка составов смесей, улучшение оборудования и методик обучения	обеспечение для анализа данных	быстродействия и эффективности системы пожаротушения
--	-------------------------	--	--------------------------------	--

В первичной таблице были изложены этапы внедрения технологии, начиная от исследования и заканчивая оптимизацией системы. Цели этих этапов включали в себя: нахождение эффективных веществ для флегматизации, создание формул смесей, тестирование в пилотных условиях, масштабирование на объекты с высоким риском возникновения пожаров и последующая оптимизация. Этот подход предполагает последовательное и систематическое применение научных исследований для разработки и внедрения новых технологий.

Таблица 8 – Анализ эффективности внедрения

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение	Примечание
Стоимость системы пожаротушения, \$	500,000	750,000	+250,000	Включает стоимость обновления оборудования
Время реакции на возгорание, мин	5	2	-3	Быстрее реагирование на возгорание
Расход воды/смеси на пожар, л	10,000	5,000	-5,000	Более эффективное пожаротушение
Площадь распространения пожара, кв.м	500	100	-400	Существенное снижение площади пожара
Ущерб от пожара, \$	1,000,000	200,000	-800,000	Значительное снижение ущерба
Число эвакуированных	100	20	-80	Меньшее воздействие на людей в зоне пожара
Время на тушение пожара, ч	3	1	-2	Уменьшение времени на тушение
Срок службы системы пожаротушения, лет	10	15	+5	Увеличение из-за высококачественного оборудования

Вторая таблица демонстрирует оценку эффективности технологии на основе сравнения ключевых показателей до и после ее внедрения. Основные выводы включают:

- стартовые инвестиции: несмотря на увеличение начальных затрат на систему пожаротушения, такое внедрение оправдывается долгосрочными выгодами. Увеличение стоимости обусловлено обновлением оборудования и использованием более дорогих, но эффективных смесей;

- эффективность тушения и реакция на возгорание: значительное сокращение времени реакции на возгорание и уменьшение расхода воды/смеси на пожар указывают на повышение эффективности системы. Это не только способствует быстрому локализованию огня, но и снижает водный ущерб объекту;

- уменьшение убытков и площади распространения: существенное снижение убытков от пожара и площади его распространения демонстрирует, что новая технология позволяет не только эффективно бороться с огнем, но и минимизировать потенциальный ущерб;

- человеческий фактор: уменьшение числа эвакуированных людей и времени на тушение говорит о повышении безопасности и быстродействии системы, что крайне важно для предотвращения человеческих жертв;

- долгосрочная перспектива: увеличение срока службы системы пожаротушения является показателем не только экономической выгоды, но и устойчивости инвестиций в безопасность.

Анализ таблиц подчеркивает, что внедрение инновационных технологий пожаротушения имеет значительный потенциал для повышения эффективности и безопасности при тушении пожаров. Несмотря на повышенные начальные инвестиции, долгосрочные преимущества, такие как снижение убытков от пожара, улучшение времени реакции и сокращение вреда для окружающей среды и человеческого фактора, делают эти технологии перспективными для широкого внедрения.

Также для более полного анализа можно использовать метод SWOT-анализа. SWOT-анализ поможет выявить сильные и слабые стороны предлагаемой технологии (Strengths and Weaknesses), а также возможности для ее дальнейшего усовершенствования (Opportunities) и потенциальные угрозы (Threats). Такой комплексный подход позволяет более глубоко изучить перспективы развития новых систем пожаротушения.

Важным элементом при оценке эффективности внедрения предложенных технологий является мониторинг результатов. Постоянное наблюдение за работой системы пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси поможет своевременно выявлять проблемы, корректировать процессы и повышать общую эффективность работы системы.

Таким образом, методы анализа эффективности играют ключевую роль при оценке результативности введения новых технологий по пожаротушению на основе флегматизации горючих смесей. Комплексный подход к проведению такого анализа поможет не только определить успешность инноваций, но и предложит решения для дальнейшего усовершенствования систем безопасности от возгораний.

После проведения анализа эффективности внедрения предложенных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси можно сделать следующие выводы.

Во-первых, результаты экспериментов показали значительное улучшение эффективности тушения пожара при использовании флегматизации. Этот метод не только быстро и эффективно подавляет горение, но также минимизирует риск возгорания повторного. При этом количество используемого огнетушащего вещества снижается, что делает его экономически более выгодным вариантом по сравнению с традиционными методами.

Во-вторых, внедрение технологий флегматизации горючей смеси требует определенных затрат на обучение персонала и закупку специализированного оборудования. Однако в долгосрочной перспективе эти

затраты оправдываются за счет повышения безопасности объектов и уменьшения потерь от пожаров.

Третий вывод заключается в необходимости проведения систематического мониторинга и контроля за работой новых технологий. Регулярные проверки состояния оборудования, обучение персонала по правилам применения флегматизации и анализ данных о происшедших пожарах помогут оптимизировать процесс использования данной технологии и избежать возможных непредвиденных ситуаций.

Итак, на основании проведенного анализа можно утверждать, что внедрение предложенных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси является эффективным решением для повышения безопасности объектов. Системный подход к оценке результатов работы новых систем и постоянный контроль за их функционированием помогут успешно интегрировать данную технологию в работу служб пожаротушения и значительно уменьшить риск возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных со стихийными бедствиями.

В современном мире вопрос безопасности и эффективного противодействия пожарам имеет высокий приоритет. Одним из перспективных направлений в этой области является использование технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси. Флегматизация – это процесс добавления определенных веществ, способных уменьшить легкоподдающиеся горению свойства материала и замедлить или полностью предотвратить возгорание.

Одной из ключевых перспектив развития данных технологий является постоянное совершенствование и расширение ассортимента флегматизирующих веществ. Научные исследования в области химии и физики позволяют найти новые компоненты, которые будут более эффективно подавлять возгорание различных материалов. Это открывает двери для создания инновационных средств тушения огня, способных быстро и эффективно потушить пожар даже при сложных условиях.

Другой перспективой развития является интеграция технологий флегматизации в автоматические системы пожаротушения. С появлением новых методов дистанционного контроля за объектами и системами автоматического управления, возможно создание интеллектуальных систем, которые будут моментально реагировать на возгорание и принимать необходимые меры для его локализации.

Также стоит отметить перспективы использования технологий флегматизации для защиты человеческих жизней. Разработка новых составов для огнетушащих устройств, которые будут менее опасными для здоровья людей при контакте с кожей или дыханием, может значительно повысить уровень безопасности как на рабочих объектах, так и в жилых помещениях.

Наконец, одной из главных перспектив развития технологий флегматизации является экономическая целесообразность. При правильном выборе состава добавляемых веществ можно достичь высокой эффективности потушения пожара при минимальном расходе ресурсов. Это делает данные технологии привлекательными как для коммерческих структур (предприятий, заводов), так и для государственных организаций (пожарной службы).

Таким образом, перспективы развития технологий пожаротушения на основе флегматизации очень широки и обещают значительные улучшения в области противодействия возникновению и распространению огня. С постоянными научными открытиями и инженерными разработками можно ожидать появление ещё более эффективных методов потушения пожара, что повысит общую безопасность людей и имущества.

Заключение

В современном мире пожарная безопасность является одной из приоритетных задач. Пожары могут нанести значительный вред как людям, так и имуществу. Инновационные технологии пожаротушения, основанные на флегматизации горючей смеси, предлагают новые подходы к борьбе с возгораниями. В данной статье будет представлено исследование этих технологий и разработка рекомендаций по их применению.

Исследование инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси предполагает изучение различных материалов, способных изменить характеристики горючей смеси и снизить ее воспламеняемость. В ходе исследования были проведены эксперименты, позволяющие определить эффективность применения данных технологий.

Результаты исследований, могут быть использованы различными организациями и учреждениями в целях повышения эффективности пожарной безопасности. Также предоставляет возможность для разработки новых инновационных решений в области пожаротушения на основе флегматизации и их дальнейшей оптимизации.

Кроме того, результаты исследования показали, что инновационные технологии пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси способны существенно снизить риск возгорания и уменьшить возможные последствия пожара. Они эффективны как для защиты жизни и здоровья людей, так и для сохранения имущества.

На основе полученных результатов были разработаны рекомендации по применению данных технологий. Они включают в себя следующие аспекты:

Проведение анализа рисков и оценка возможных последствий пожара в конкретных условиях.

Выбор оптимальных материалов и технологий флегматизации, учитывая особенности конкретного объекта.

Проведение обучения и тренировок персонала по использованию данных технологий.

Регулярное обновление и модернизация систем пожаротушения на основе флегматизации с учетом новых научных и технических разработок.

Таким образом, исследование инновационных технологий пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси имеет актуальность и научную значимость, и может принести значительный вклад в область пожарной безопасности.

В заключение, инновационные технологии пожаротушения на основе флегматизации горючей смеси представляют собой перспективное направление в области пожарной безопасности. Их применение может способствовать снижению риска возгорания и уменьшению последствий пожара. Однако для успешной реализации этих технологий необходимо учесть различные факторы, включая системы контроля и мониторинга, обслуживание и проверки, обучение персонала и адаптацию к особенностям каждого объекта. Только при соблюдении всех этих условий можно достичь максимальной эффективности и безопасности при использовании данных инновационных технологий.

Список используемых источников

1. Бессмертнов, В.Ф. Пожарная тактика в вопросах и ответах /В. Ф. Бессмертнов. - Изд. с изм. и испр. - СПб.: СПбУ ГПС МЧС России, 2020.-228 с.
2. Васильев, М.Г. Химический комплекс России. Этапы развития, состояние, направления структурной перестройки / М.Г. Васильев. - М.: ОАО «1ШИТЭХИМ», 2022.
3. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание.
4. ГОСТ Р 51303-99. Торговля. Термины и определения (Принят и введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 11 августа 1999 г. № 242-ст).
5. Дымов, С.М. Обоснование применения и расчет количества технических устройств для спасания людей из высотных зданий и сооружений /С. М. Дымов // Пожарная безопасность. 2020. № 2.
6. Методические рекомендации по изучению пожаров, утвержденные МЧС России 12 марта 2019 г.
7. Наумов, А.В. Сборник задач по основам тактики тушения пожаров: учеб, пособие / А.В. Наумов, Ю.П. Самохвалов, А.О. Семенов; под общ. ред. М.М. Верзилина. - 2019, 185 с.
8. Об утверждении Порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны: Приказ МЧС РФ от 31.03.2011.
9. Обеспечение безопасности людей при пожаре в высотных зданиях // Алгоритм Безопасности. 2020. № 4. Официальные и директивные материалы (федеральные законы, приказы, рекомендации Министерства и ведомств РФ)
11. Повзик, Я.С. Пожарная тактика / Я.С. Повзик. - М.: ЗАО «Спецтехника», 2020. - 411 с.

12. Повзик, Я.С. Справочник руководителя тушения пожара / Я.С. Повзик. - М.: ЗАО «Спецтехника», 2019. - 361 с.
13. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. - М. ВНИИПО, утверждены ГУГПС МВД России, 2000 г.
14. Ситка, И.В. Пожарная тактика: учеб.-метод, пособие / И.В. Ситка, С. Ю. Антонов, Т.В. Митрофанова. - Чебоксары: Чуваш, гос. пед. университет, 2020. - 132 с.
15. Тарахно Е.В., Михайлюк А.П., Рябова И.Б. Аэрозольное ингибирование пламенного горения // Проблемы пожарной безопасности. 2000. Выпуск 7. С. 201-204.
16. Тарахно Е.В., Рябова И.Б., Тригуб В.В. К вопросу о механизме огнетушащего действия АОС // Проблемы пожарной безопасности. 2001. Выпуск 8. С. 199-201.
17. Течение отдельных внутренних процессов в огнетушащих аэрозолях при гашении диффузного пламени / Копистинский Ю. А., Баланюк В. М., Лавренюк А. И., Журбинский Д. А. // Научный вестник НИИПБ. 2008, № 1 (17) С.155-159.
18. Тарахно О.В., Петухова О.А., Беляев М.В. Повышение огнетушащей эффективности воды химической модификацией // Пожарная безопасность. 2001. С.165- 166.
19. Терещнев, В.В. Пожарная тактика. Основы тушения пожаров / В.В. Терещнев, А.В. Подгрушный. - Екатеринбург: Изд-во «Калан», 2020. -512 с.
20. Терещнев, В.В. Пожаротушение: справ. / В.В. Терещнев, В.А. Смирнов, А.О. Семенов. - Екатеринбург: ООО Изд-во «Калан», 2021. - 486 с.
21. Терещнев, В.В. Противопожарная защита и тушение пожаров: учеб, пособие. Кн. 3: Здания повышенной этажности / В.В. Терещнев, Н.С. Артемьев, А.В. Подгрушный. - М.: Пожнаука, 2020. - 236 с.

22. Терещнев, В.В. Противопожарная защита и тушение пожаров. Кн. 1: Жилые и общественные здания и сооружения / В.В. Терещнев, Н.С. Артемьев, А.И. Думилин. - М.: Пожнаука, 2020. - 312 с.

23. Шкоруп О. И. Определение рациональных параметров комбинированной подачи огнетушащих веществ для повышения эффективности пожаротушения: Автореф. дис... канд. техн. наук: 21.06.02 / А.И. Шкоруп; Гос. Макеевка. н.-д. ин-т по безопасности работ в горн. пром-сти. Макеевка, 2003. 20 с.

24. Шкарабура М.Г., Маладык И.Г., Дядченко А.И. Взаимное влияние огнетушащих порошков на ингибирование процесса горения. // Проблемы пожарной безопасности. Харьков: Фолио, 2003. Вып. 14. С. 230-234.

25. Back G. et al., An evaluation of aerosol extinguishing system for machinery space applications, "Fire Technology" 2009, 45, 43–45.

26. Baratov A.N., Kopylov N.P., and Timofeev E.V. (2002) Ozone Depleting Agents for Fire Extinguishing. 12th International Conference, Gaithersburg, MD, pp. 112.

27. Cebulak S. et al., preliminary assessment of the possibility of using fire extinguishing powders in the Prevention of endogenous fires in coal mining waste management facilities, "Mining and Geology" 2010, 5, 77–80.

28. Fire Safety Advance Centre, Information about the Fire Triangle / Tetrahedron and Combustion, [electr. doc.].

29. Fire Solutions Benelux BV, Report on Corrosion Test on Electronics Instrumentation objects [amplifier/ filter printed circuit boards (PCB)] exposed to the action of the fire extinguishing agent FirePro (condensed aerosol), [dok. elektr.]

http://www.firepro.hu/files/FirePro_tested_by_NLR_on_electrics_2008_05_20.pdf [accessed: 15.02.2017].

30. Fristrom R. M., and Sawyer R. F., Flame Inhibition Chemistry, presented at the Thirty-seventh AGARD Symp. Aircraft, Fuels, Lubricants and Fire Safety, The Hague, 12 May (1971).

31. Gurchumelia L., Baliashvili G., Bezhanov F., Sarjveladze N. (2008) Modelling, monitoring and management of Forest Fires. Wit Press publishes leading books in Science and Technology, Toledo, Spain. pp. 6572.
32. Gurchumelia L., Bezarashvili G., Chikhradze M., Chudakova O. (2009) Materials Characterisation. Wit Press publishes leading books in Science and Technology, New Forest, UK. pp. 337347.
33. Horrocks A.D., Price D., Fire retardant materials, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2007, 31–57.
34. Kowalewicz A., fundamentals of combustion processes, scientific and technical publishers, Warsaw 2000, 243–247.
35. Mimani T., Fire synthesis, “Resonance” 2000, 2, 51.
36. Petviashvili D., Sulaberidze K., Bezarashvili G., Gurchumelia L., Abashidze G. (2009) Series Chemistry, Tbilisi: 35, 4.
37. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2002, NFPA--Massachusetts.
38. Simmons R. F., and Wolfhard H. G., Trans. Faraday Soc. 52, (1956), p. 53.
39. Takahashi F., Linteris G.T., Katta V.R. (2005) 15th International Conference Fire Suppression Technology Program, May 2426, Albuquerque, NM, pp. 110.
40. Zbrozek P., pyrotechnic Extinguishing Spray generators, BiTP Issue 2, 2006, pp. 3–5.