

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 / специальности)

Управление пожарной безопасностью

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Исследование инновационных огнетушащих пенных составов и
разработка рекомендаций по их применению

Обучающийся

М.М. Рахимов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент, А.Б. Степенко

(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.....	8
Перечень обозначений и сокращений.....	9
1 Анализ огнетушащих пенных составов и способов их применения	10
1.1 Анализ применяемых огнетушащих пенных составов.....	10
1.2 Анализ способов применения огнетушащих пенных составов.....	18
2 Исследование инновационных огнетушащих пенных составов и разработка рекомендаций по их применению.....	23
2.1 Анализ инновационных огнетушащих пенных составов.....	23
2.2 Разработка рекомендаций по применению предлагаемых огнетушащих пенных составов	23
3 Опытнo-экспериментальная апробация предлагаемых инновационных огнетушащих пенных составов и рекомендаций по их применению.....	43
3.1 Программа опытнo-экспериментальной апробации инновационных огнетушащих пенных составов и рекомендаций по их применению	43
3.2 Анализ и оценка эффективности внедрения предлагаемых огнетушащих пенных составов и рекомендаций по их применению.....	61
Заключение.....	67
Список используемых источников.....	70

Введение

В условиях роста урбанизации, промышленного производства и увеличения числа потенциально опасных объектов, связанных с хранением и использованием горючих материалов, проблема пожарной безопасности становится крайне актуальной. Проблема пожаров является одной из самых глобальных и серьезных угроз для экосистем, экономики, здоровья человека и безопасности населения в целом. В последние десятилетия количество и интенсивность пожаров во многих регионах мира резко увеличились, что связано с целым рядом факторов: изменением климата, лесным хозяйством, урбанизацией и человеческой деятельностью.

Пожары могут причинить значительные материальные убытки, а также угрожают жизни и здоровью людей. В связи с этим на первый план выходит необходимость разработки и внедрения эффективных средств для их тушения.

Представляется, современные инновационные пенные составы, использующие новые химические компоненты и технологии, способны значительно повысить эффективность тушения.

Актуальность исследования инновационных огнетушащих пенных составов и разработка рекомендаций по их применению не вызывает сомнений. В условиях растущих угроз возникновения пожаров и модернизации систем пожарной безопасности, эти исследования имеют потенциально высокий вклад в сохранение жизни, создание безопасной окружающей среды и защиту экономических интересов общества. Инвестиции в исследования и развитие новых технологий откроют перспективы для более эффективной борьбы с пожарами и снижением их негативных последствий.

Актуальность применения инновационных огнетушащих составов особенно велика на промышленных объектах, где необходимо защищать производство и людей, эффективные средства тушения могут снизить риск больших экономических потерь и повысить общую безопасность на производстве. Современные требования к пожарной безопасности становятся

всё более строгими. Необходимость соответствия новым европейским и международным стандартам обуславливает постоянное развитие и оптимизацию пенных составов. Инновационные технологии в области создания пенообразователей, которые обладают высокой производительностью и экологической безопасностью, становятся всё более актуальными. Исследование и внедрение инновационных огнетушащих средств позволяют сократить затраты на тушение пожаров и минимизировать убытки от стихийных бедствий. Это также включает в себя экономический анализ, который поможет определить оптимальные решения для разных типов объектов и ситуаций. Таким образом, исследование инновационных огнетушащих пенных составов и разработка рекомендаций по их применению имеют огромное значение для повышения уровня пожарной безопасности и защиты окружающей среды. Учитывая текущие глобальные вызовы, изучение и внедрение новых технологий в область пожаротушения становится не просто желательным, но и необходимым.

Объект исследования: деятельность 15 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС РОССИИ по Свердловской области.

Предмет исследования: исследование инновационных огнетушащих пенных составов и разработка рекомендаций по их применению.

Цель исследования: изучить и проанализировать различные инновационные огнетушащие пенные составы для эффективного тушения пожаров.

Гипотеза исследования состоит в том, что анализ и исследование инновационных огнетушащих пенных составов 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:

- провести анализ применяемых огнетушащих пенных составов;
- проанализировать способы применения огнетушащих пенных составов,
- исследовать инновационные огнетушащие пенные составы;

- разработать рекомендации по применению предлагаемых огнетушащих пенных составов;

- предложить программу опытно-экспериментальной апробации инновационных огнетушащих пенных составов и рекомендаций по их применению;

- провести анализ и оценку эффективности внедрения предлагаемых огнетушащих пенных составов и рекомендаций по их применению.

Теоретико–методологическую основу исследования составили: научные публикации, учебники, учебные пособия по теме исследования.

Базовыми для настоящего исследования явились также: ресурсы патентных источников.

Методы исследования: статистический анализ, методы системного анализа, теории управления и имитационного моделирования.

Опытно–экспериментальная база исследования основана на базе 15 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС РОССИИ по Свердловской области.

Научная новизна исследования заключается в:

- разработанных рекомендациях по применению предлагаемых огнетушащих пенных составов,

- эффективности мер, предлагаемых по применению огнетушащих пенных составов и их экономических последствий в Свердловской области.

Теоретическая значимость исследования заключается в:

- расширении знаний о пенных огнетушащих составах включает в себя исследование их химических свойств, аналогичных производных и возможности модификации рецептур для повышения их эффективности;

- применение биоразлагаемых пен позволит снизить вред окружающей среде;

- изучение свойств пены в различных поможет создать составы, специфически адаптированные для определённых типов пожаров;

– знание о процессах тушения позволяет не только разрабатывать инновационные составы, но и более эффективно их применять в различных ситуациях;

– использование компьютерных симуляций для анализа поведения огня и пены при тушении, это поможет понять, какие характеристики пены более эффективны в различных условиях;

– разработка рекомендаций поможет специалистам в области пожарной безопасности понять, как наиболее эффективно использовать новые огнетушащие составы.

– практическое применение новых пенных составов может привести к существенным улучшениям в области пожаротушения, что, в свою очередь, положительно скажется на безопасности людей и имущества.

Практическая значимость исследования состоит в том, что полученные результаты проведенных исследований позволяют сделать определенный вывод о достижении поставленной цели настоящей работы, а именно – предложено использовать пенообразователи на основе биоразлагаемых компонентов. Кроме того, практическая значимость исследования заключается в возможности применения полученных результатов исследования на объектах с массовым пребыванием людей в Свердловской области.

Достоверность и обоснованность результатов исследования достигнута за счет анализа современных научно-исследовательских разработок ведущих российских и зарубежных специалистов в области пожарной безопасности и подтвержденной эффективностью разработанных решений объектов с массовым пребыванием людей в Свердловской области.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в разработке предложений по совершенствованию пожаротушения в случае его возникновения в 15 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС РОССИИ по Свердловской области.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования, опубликована научная статья: Рахимов Мансур Махсудович.

Инновационные системы предупреждения возгорания, Естественнонаучный журнал «Точная наука», стр. 8-10 //URL: <https://idpluton.ru/wp-content/uploads/tv152.pdf> .

На защиту выносятся:

- анализ огнетушащих пенных составов и способов их применения,
- исследование инновационных огнетушащих пенных составов и разработка рекомендаций по их применению,
- проведение опытно-экспериментальной апробации предлагаемых инновационных огнетушащих пенных составов и рекомендаций по их применению.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, трех разделов, заключения, содержит 13 рисунков, 7 таблиц, список использованной литературы (50 источников). Основной текст работы изложен на 77 страницах.

Термины и определения

В настоящей работе применяются следующие термины и определения:

Инновационные огнетушащие пенные составы – то современные химические смеси, предназначенные для эффективного тушения пожаров различных классов, с использованием передовых технологий и материалов [23].

Пожарная безопасность – состояние защищенности каждого индивида, общества и государства в целом от пожара [29].

Пожарный оповещатель – это такое средство, согласно которому возможно оповестить людей о пожаре [18].

Противопожарная защита – это «совокупность организационно–технических мероприятий, конструктивных и объемно–планировочных решений, а также технических средств, направленных на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничение материальных потерь от пожара» [23].

Меры пожарной безопасности – «это конкретизированные мероприятия, согласно которым необходимо соблюдать все требования и условия во избежание возникновения пожара» [25].

Перечень обозначений и сокращений

В настоящей работе применяются следующие обозначения и сокращения:

АТС – автоматическая телефонная станция.

ГПС – государственная противопожарная служба.

ГУ МЧС – Главное управление Министерства по чрезвычайным ситуациям.

НПБ – нормы пожарной безопасности.

ПБ – пожарная безопасность.

ПСО – пожарно-спасательный отряд.

СОУЭ – система оповещения и управления эвакуацией.

ФЗ – федеральный закон.

ФПС – федеральная противопожарная служба.

ЧДД – чистый дисконтированный доход.

ЧЭЭ – чистый экономический эффект.

1 Анализ огнетушащих пенных составов и способов их применения

1.1 Анализ применяемых огнетушащих пенных составов

Проводя анализ применяемых огнетушащих пенных составов, важно обратиться к определению пены и видовым характеристикам исследуемых составов. Пена – «наиболее эффективное и широко применяемое огнетушащее вещество изолирующего действия, представляет собой коллоидную систему из жидких пузырьков, наполненных газом, пленка пузырьков содержит раствор ПАВ в воде с различными стабилизирующими добавками. Если пузырьки газа имеют сферическую форму, а их суммарный объем сопоставим с объемом жидкости, то такие системы называются газовыми эмульсиями» [1].

Нельзя не отметить, что «пены широко используются для тушения пожаров на промышленных предприятиях, складах, в нефтехранилищах, на транспорте. Пены подразделяются на воздушно-механическую и химическую. В настоящее время в практике пожаротушения в основном применяют воздушно-механическую пену, в связи с чем, рассмотрим виды пен» [2].

Воздушно-механическая пена «представляет собой концентрированную эмульсию воздуха в водном растворе пенообразователя. Ее получают смешиванием воды и пенообразователя с одновременным примешиванием воздуха» [1]. Кроме того, «воздушно-механическая пена получается из 4–6 %-го водного раствора пенообразователя, смешением водных этих растворов пенообразователей с воздухом в пропорциях от 1:3 до 1:1000 и более в специальных стволах (генераторах)» [1].

С научной точки зрения различают пену обычной и высокой кратности. «Первая получается в воздушно-пенных стволах, куда вводится под давлением 3–6 атм. вода, смешанная с пенообразователем, высокократная пена получается не подсосыванием в ствол воздуха, а его нагнетанием под некоторым давлением, отчего объем пены значительно увеличивается. Для тушения пожаров горючих

и легковоспламеняющихся жидкостей в резервуарах применяют воздушно-механическую пену средней кратности» [1].

В.В. Богданов отмечает, что «высокократную пену наиболее эффективно применять для тушения пожаров в подвалах, шахтах и других закрытых объемах, а также разлитых в небольшом количестве жидкостей» [3]. Воздушно-механическая пена действительно обладает рядом преимуществ, которые делают ее привлекательной для использования в различных отраслях, включая борьбу с огнем. Основные характеристики, указанные вами, подчеркивают ее безопасность для людей и безвредность для металлов, что является важным аспектом в современных технологиях. Тем не менее, хотя такая пена функциональна в большинстве случаев, важно учитывать ее ограничения. Как вы отметили, пена интенсивно разрушается при контакте с полярными органическими жидкостями. Это связано с тем, что полярные жидкости имеют определенные свойства, которые взаимодействуют с пенообразователями, что снижает их огнетушащую способность. Полярные органические жидкости, такие как спирты, кетоны и некоторые углеводороды, могут разрушать структуру пены или вызывать ее сжатие, тем самым ухудшая ее свойства.

Фторорганические поверхностно-активные вещества (ПАВ), находящиеся в основе пенообразователей, известны своей высокой огнезащитной эффективностью. Они создают прочную пленку, которая удерживает воздух и образует стабильную пену. Однако важно помнить о возможном воздействии фторирующих соединений на окружающую среду и здоровье человека.

Использование таких пенообразователей требует особого внимания к условиям, в которых они будут применяться. Перед использованием такой пены важно провести оценку риска и выбрать наиболее подходящий тип огнетушащего средства, особенно если работа предполагает взаимодействие с полярными органическими жидкостями. Важно также следить за развитием новых технологий и альтернативных решений, которые могут обеспечить более высокую эффективность и безопасность при тушении различных классов пожаров. Таким образом, хотя воздушно-механическая пена является

высокоэффективным и безопасным средством, важно учитывать её ограничения и правильно подбирать средства для борьбы с огнем в зависимости от специфики ситуации.

Химическая пена – «огнетушительное средство, состоящее из пузырьков углекислого газа, образующихся в результате взаимодействия кислоты и углекислой щелочи в присутствии пенообразующего вещества и представляет собой концентрированную эмульсию двуокиси углерода в водном растворе минеральных солей, содержащем пенообразующее вещество. В последнее время наметилась тенденция к сокращению применения химической пены, что связано со сравнительно высокой ее стоимостью и сложностью организации тушения пожаров» [5].

В данном параграфе, рассматривая пены, применяемые для тушения пожаров, следует рассмотреть их кратность, являющуюся важнейшей составляющей.

Кратность пены – «величина, равная отношению объёмов пены и раствора, пошедшего на образование пены. В зависимости от величины значения кратности пены, получаемой из пенообразователя, ее подразделяют на пену низкой кратности (не более 20), пену средней кратности (от 21 до 200) и пену высокой кратности (более 200)» [5].

Выбор кратности пены при тушении пожаров действительно является комплексным процессом, зависящим от различных факторов, включая химический состав пенообразователя, его огнетушащую эффективность и условия тушения. Рассмотрим эти аспекты более подробно.

Пенообразователи низкой кратности на основе фторсодержащих соединений обладают способностью быстро образовывать пленку, которая предотвращает возгорание и распространение огня, они эффективны при тушении углеводородных флюидов, таких как нефть и бензин, из-за своей высокой проникающей способности и способности создавать барьер против кислорода.

Углеводородные пенообразователи: пенообразователи средней кратности, работающие на основе углеводородов, мельче по структуре и менее эффективны в образовании пленок, они чаще используются в ситуациях, где требуется большая валу или объем пены, но могут быть менее эффективными для глубокого гашения пожаров.

Огнетушащая эффективность пены измеряется её способностью поглощать тепло и создавать защитный слой, который предотвращает доступ кислорода к горючему материалу.

Пены низкой кратности из фторсодержащих пенообразователей могут быть более эффективными в определенных условиях (например, при тушении глубоких пожаров в резервуарах) по сравнению с углеводородными средними пенообразователями. Это обеспечивает быструю реакцию и минимизирует скорость воспламенения.

Выбор ствола тоже влияет на эффективность применения пены. Для тушения больших объемов пены часто необходимы специальные стволы, которые обеспечивают нужное распыление и распределение пены по площади.

Разные объекты могут требовать разные подходы к выбору пены. Например, для тушения углеводородных жидкостей, хранящихся в резервуарах, может быть использован подслойный метод, где пена заливается на поверхность горючего материала, формируя защитный слой.

Использование пены низкой кратности для подслойного тушения углеводородных топлив в резервуарах позволяет избежать прямого контакта с огнем, создавая плёнку, которая предотвращает поступление кислорода и таким образом гасит пожар.

Этот метод является одним из наиболее эффективных способов борьбы с глубокими и типичными пожарами, связанными с углеводородами, поскольку минимизирует риск распространения огня и наносит ущерб как объекту тушения, так и окружающей среде. В итоге правильный выбор кратности пены и типа пенообразователя критически важен для повышения эффективности

тушения пожаров и снижения риска для личного состава пожарных и потенциального ущерба [6].

По способности разлагаться под действием микрофлоры водоемов и почв пенообразователи относят к биологически «мягким» или «жестким».

По химическому составу «пенообразователи подразделяют на синтетические углеводородные и синтетические фторсодержащие. Кроме синтетических пенообразователей в ряде стран применяются также пенообразователи на протеиновой основе, в том числе содержащие фторированные ПАВ» [7].

Пенообразователи разделены на две классификационные группы в зависимости от применения: пенообразователи общего назначения и пенообразователи целевого назначения.

Согласно п.3.17 ГОСТ Р 50588-2012 «пенообразователи общего назначения: пенообразователи, используемые для получения пены различной кратности и растворов смачивателей при тушении горючих жидкостей, твердых горючих материалов, волокнистых и тлеющих веществ, для защиты строительных конструкций, технологических аппаратов и хранящихся материалов от воздействия тепловых потоков. По химическому составу пенообразователи общего назначения классифицируются как синтетические углеводородные типа S» [8].

Согласно п.3.18 указанного выше ГОСТа, «пенообразователи целевого назначения: пенообразователи, используемые в основном при тушении нефти, нефтепродуктов, водонерастворимых и водорастворимых горючих жидкостей. По химическому составу пенообразователи целевого назначения подразделяют на: синтетические углеводородные типов S, S/AR; синтетические фторсодержащие типов AFFF, AFFF/AR, AFFF/AR-LV; фторпротеиновые типов FP, FFFP, FP/AR и FFFP/AR» [8].

Обозначим пенообразователи общего назначения.

К группе «пенообразователей общего назначения относятся следующие: ПО-6К, ПО-ЗАИ, ПО-ЗНП, ТЭАС, ПО-6ТС. Они используются для получения

огнетушащей пены и растворов смачивателей. Данные пенообразователи получили наиболее широкое применение благодаря относительно низкой стоимости и доступности сырья, а также отработанной технологии их изготовления» [9].

По огнетушащей эффективности они уступают пенообразователям целевого назначения. Такие виды пенообразователей содержат следующие компоненты:

- «ПО-6К – смесь натриевых солей нефтяных сульфокислот;
- ПО-3АИ и ПО-3НП – вторичные алкилсульфаты с добавлением ингибитора коррозии; ТЭАС и ПО-6ТС – триэтаноламиновые соли первичных алкилсульфатов» [7].

Пенообразователи ПО-3АИ и ПО-3НП необходимо предварительно разбавить в 2 раза водой при использовании их в пенобаках пожарных машин. С 1998 года применение ПО-6К для пожаротушения прекращается ввиду его несоответствия требованиям экологических параметров и нормам загрязнения окружающей среды.

Пенообразователи целевого назначения. «К группе пенообразователей целевого назначения относятся САМПО, ПО-6НП, ФОРЭТОЛ, «Универсальный», «Морской». Они используются для получения пены при тушении нефтепродуктов и горючих жидкостей различных классов, наиболее пожароопасных объектов, а также для применения с морской водой» [5].

Все пенообразователи целевого назначения отличаются повышенной огнетушащей эффективностью, однако фторсодержащие пенообразователи дороже, чем углеводородные.

Пенообразователи содержат следующие компоненты:

- САМПО и ПО-6НП – вторичные алкилсульфаты со стабилизирующими добавками;
- «морской» – смесь углеводородных ПАВ со стабилизирующими добавками;

– ФОРЭТОЛ – смесь фторсодержащих и углеводородных ПАВ с добавками полимерных соединений; «Универсальный» – смесь углеводородных и фторсодержащих ПАВ.

Проведем анализ существующих огнетушащих пенных составов.



Рисунок 1 – Классификация огнетушащих пенных составов

Проанализировав рисунок 1, можно констатировать, что существующие огнетушащие пенные составы характеризуются разнообразием химического состава и методов применения, что необходимо учитывать при их анализе.

Применяемые пенообразователи в значительной степени определяют эффективность тушения, а также экологические параметры состава.

Основным критерием классификации пенных составов является тип поверхностно-активных веществ (ПАВ), используемых при их производстве. Многие производители не раскрывают полную информацию о химическом составе, что создает риск недостаточной оценки потенциальной эффективности и безопасности [8].

Современные технологии пенного тушения включают применение передвижной пожарной техники, оснащенной специальными емкостями для пенообразователя и насосными установками.

Такие автомобили обеспечивают высокую мобильность и возможность быстрого реагирования в критических ситуациях. На сегодняшний день существуют модели с различными характеристиками, включая грузовые шасси и улучшенные насосные установки, которые могут обеспечивать подачу пены с необходимой интенсивностью [18].

Для повышения производительности пенного состава активно исследуются модифицирующие добавки.

Эти добавки играют важную роль в улучшении стабильности и кратности образуемой пены, что, в свою очередь, приводит к более эффективному тушению и уменьшению затрат на пенообразователь [17].

В процессе этих исследований речь идет о создании составов, которые хорошо удерживаются на поверхности горящих веществ и эффективно охлаждают их, предотвращая повторные возгорания.

Экологическая безопасность является ключевым аспектом при разработке новых пенных составов.

Существует тенденция к уменьшению негативного воздействия ПАВ на окружающую среду, что также неотъемлемо связано с соблюдением требований по контролю за вредными веществами.

К примеру, современные составы разрабатываются с учетом принципов устойчивого развития, включающих в себя компоненты, которые подлежат биологическому разложению [8].

Одним из актуальных направлений является внедрение в пенные составы добавок, обеспечивающих эффективность тушения при меньших концентрациях действующих веществ.

Это не только повышает пожарную безопасность, но и снижает негативное влияние на экологическую обстановку.

Научные исследования в этом направлении показывают, что использование оптимизированных пенных составах может значительно уменьшать расходы при их использовании, что положительно сказывается на экономических показателях пожарной безопасности [9].

Таким образом, анализ существующих огнетушащих пенных составов свидетельствует об их многогранности, где внимание уделяется как технологии их получения, так и экосистемным аспектам.

Сравнение различных рецептур и их модификации в рамках научных изысканий открывает новые горизонты для разработки эффективных и безопасных средств тушения.

1.2 Анализ способов применения огнетушащих пенных составов

Применение огнетушащих пенных составов имеет широкий спектр использования и может значительно повысить эффективность тушения пожаров. Комбинированный способ подачи пены представляет собой стратегически эффективный метод, который позволяет адаптироваться к меняющимся условиям при пожаре. Рассмотрим преимущества и возможные ограничения комбинированного способа применения огнетушащих пенных составов.

Комбинированный способ подачи пены:

Этапы применения – начальная стадия тушения: на этом этапе важно быстро и эффективно подавлять пламя, которое активно развивается. Применение пены низкой кратности в первую очередь помогает снизить температуру и создать защитный барьер.

Она обладает хорошей способностью к образованию пленки, что необходимо для предотвращения повторного возгорания.

Этот этап критически важен для сдерживания роста огня и предотвращения его распространения на окружающие объекты.

Процесс ликвидации устойчивого горения: после того как начальная угроза была сдержана, переключение на пену средней кратности может значительно улучшить эффективность тушения.

Пена средней кратности образует более стабильное покровное облако, что позволяет дольше удерживать защитный барьер, а также способствует снижению выделения тепла и угарного газа. На этом этапе важно контролировать ситуацию, чтобы быстро реагировать на любые изменения в интенсивности горения.

Преимущества комбинированного способа заключаются в следующем:

- увеличение скорости реагирования: быстрый переход от пены низкой кратности к пене средней кратности позволяет оперативно реагировать на изменение условий пожара, тем самым сокращая время на ликвидацию огня;

- снижение ущерба: более эффективное использование пенных составов на разных стадиях горения минимизирует вероятность повреждения имущества и снизит затраты на восстановление;

- универсальность: комбинированный метод подходит для различных типов пожаров, включая те, где задействованы легковоспламеняющиеся вещества. Это позволяет его использовать в промышленных, жилых и транспортных условиях.

Недостатки комбинированного способа заключаются в том, что для его применения необходимо обладать знаниями характеристик пенных составов и их адекватного выбора в зависимости от условий.

Кроме того, необходимость в наличии как пены низкой, так и средней кратности может увеличить финансовые затраты на оборудование и материалы.

Помимо прочего, некоторые пенные составы могут негативно повлиять на окружающую среду, поэтому важно учитывать вопрос утилизации и возможного загрязнения после использования [10].

Генерация пены компрессионным способом является одним из наиболее эффективных способов пожаротушения в зависимости от класса пожара. К классу А, согласно государственным стандартам, относятся твердые материалы, тогда как к классу В принято относить жидкости.

Особенности применения определены на рисунке 2:

Эффективное покрытие: компрессионная пена охватывает сложные формы и многоуровневые зоны, обеспечивая качественное покрытие даже для труднодоступных мест. Это особенно важно в ситуациях, когда пожар распространяется на неровные поверхности или в замкнутые пространства.

Скорость реагирования: такому способу применения требуется меньше времени для быстрого введения пены на место происшествия, что жизненно важно в условиях стремительно развивающегося пожара. Это позволяет минимизировать повреждения и снизить уровень риска для человека и имущества.

Снижение ущерба: использование пены компрессионным способом предотвращает возгорание соседних объектов и уменьшает потери имущества, так как пена не проникает глубоко в материалы, а скорее оставляет защитный слой на поверхности.

Технологические аспекты: при генерации пены компрессионным способом используются специальные устройства, такие как поршневые насосы и пеногенераторы, которые под высоким давлением смешивают воздух, воду и пенообразующий агент. Процесс требует тщательного контроля над соотношением компонентов для получения нужной кратности и свойств пены

Рисунок 2 – Особенности применения компрессионного способа

Направления улучшения огнетушащих свойств пен могут заключаться в использовании специализированных добавок (рисунок 3) [9]:

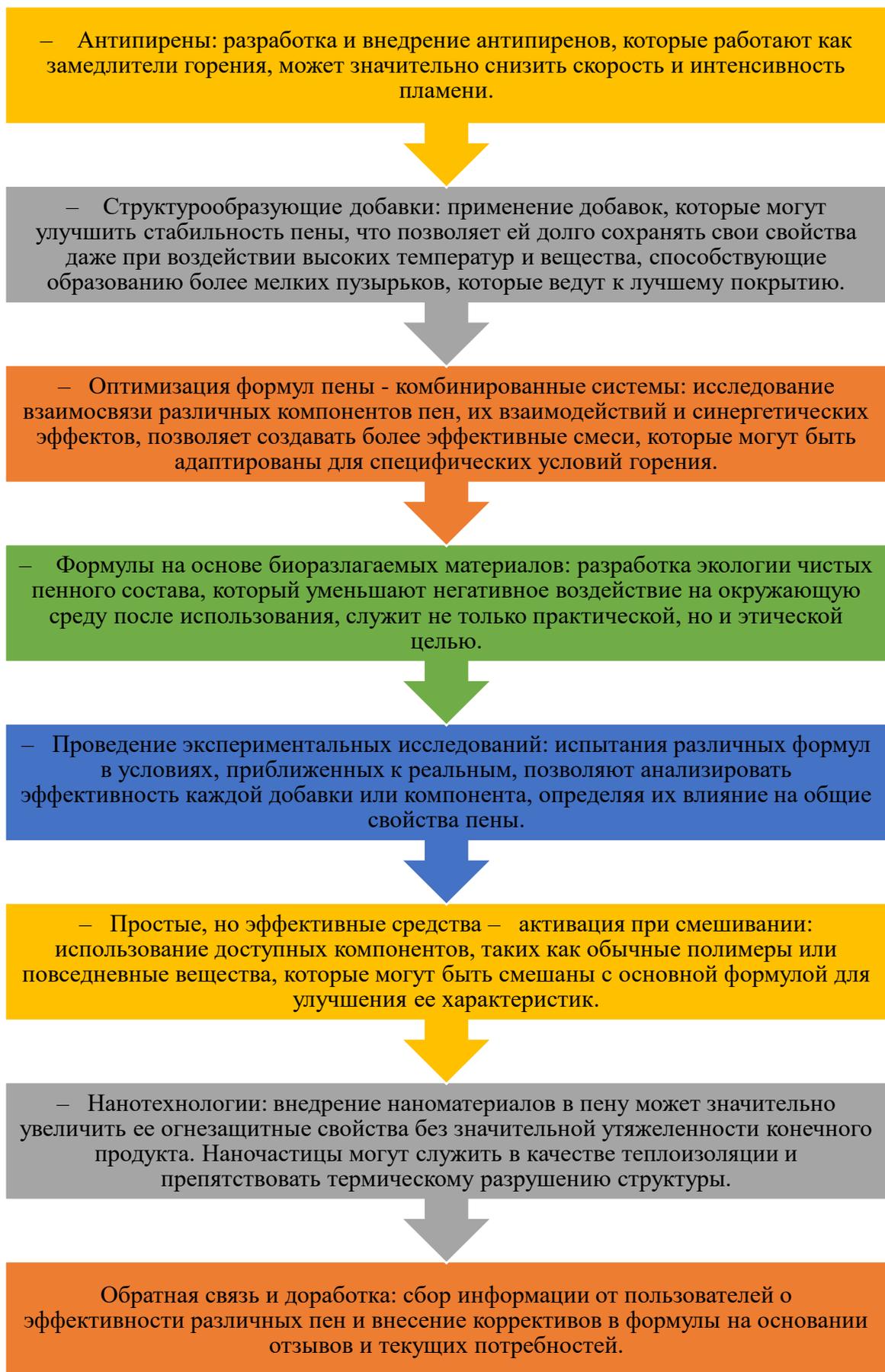


Рисунок 3 – Направления улучшения огнетушащих свойств пен

Также стоит отметить, что среди инновационных пенных составов выделяют мобильные огнетушители, особенности которых определены на рисунке 4:



Рисунок 4 - Мобильные огнетушители

Таким образом, в параграфе рассмотрены особенности инновационных пенных составов, определены существенные характеристики.

Выводы по первому разделу

В главе сделан вывод о том, что при выборе пенного состава необходимо придерживаться правильного выбора, учитывая риски возникновения пожарных ситуаций.

В главе определены такие способы, как: комбинированный, генерации пены компрессионным способом, использование мобильных огнетушителей.

Правильный выбор пенного состава является основополагающим в системе пожарной безопасности.

2 Исследование инновационных огнетушащих пенных составов и разработка рекомендаций по их применению

2.1 Анализ инновационных огнетушащих пенных составов

Проводя анализ инновационных огнетушащих пенных составов, определим состав пены для тушения пожаров [36].

Важнейшим показателем, «характерным для процесса образования противопожарной пены, является наличие предельного давления, под которым водный раствор подается в генератор пены» [10]. Представляется, «при достижении предельного давления раствора (как правило, это 5-6 атм.) происходит «срыв» процесса пенообразования и вместо пены из генератора отдельно выходят распыленный раствор и воздух. Существует критическая скорость формирования пены, превышение которой вызывает сбой процесса. Водный раствор пенообразователя должен содержать вещества, которые обеспечивают стабильность процесса пенообразования и устойчивость пены в процессе тушения пламени» [36].

Второй характерной особенностью противопожарной пены является «ее контактная устойчивость на поверхности горючих жидкостей и химических соединений, определяющая эффективность процесса тушения и способность предотвращения повторного возгорания жидкости, сочетание специфического способа образования пены с возможностью подбора состава пенообразующей композиции позволяет ставить вопрос о направленном регулировании физико-химических свойств пены как путем изменения режима образования пены, так и варьированием рецептуры пенообразователя» [11].

Связующим звеном «при анализе процесса образования пены на сетках, механизма стабилизации и контактного разрушения пены являются электроповерхностные свойства границы раздела «углеводород – раствор ПАВ – воздух» [38].

Основная трудность «при изучении пены заключается в невозможности создания ее эталонного образца, поэтому важной стороной работы является создание устройств и методов измерения физико-химических параметров пены и обеспечения контролируемых и воспроизводимых условий ее получения» [12].

Представляется, «комплекс экспериментальных исследований и теоретических обобщений процесса образования пены, принципы регулирования свойств пены с различными газами-наполнителями, обеспечение контактной устойчивости пены к полярным жидкостям и способы ее «модифицирования» в сочетании с методологией определения электроповерхностных свойств пены и пленок проверены при создании новых пенообразователей и способов тушения нефти и нефтепродуктов» [13].

Огнетушащая эффективность пены определяется комплексом физико-химических параметров. Изолирующая способность пены заключается в её способности образовывать на поверхности горящих материалов защитный слой, который предотвращает доступ кислорода к горючему веществу. Это критически важно для тушения пожаров, особенно в случаях, когда огонь возникает в горючих жидкостях. Хорошая изолирующая способность позволяет значительно замедлить процесс горения. Термическая устойчивость определяет способность пены сохранять свои свойства при высокой температуре. Пена должна обладать достаточно высокой термической стойкостью, чтобы выдерживать воздействие тепла и не терять свои тактические качества, не разлагаясь и не образуя токсичных веществ. Вязкость пены играет важную роль в процессе ее распыления и формирования. Высокая вязкость может затруднить образование стабильной пены, в то время как низкая вязкость может привести к быстрому распаду пены. Оптимальная вязкость обеспечивает хорошую фиксацию пены на поверхности горючих материалов, что увеличивает время её действия. Это свойство определяет, сколько силы пена может выдержать, прежде чем начнет течь или разрушаться. Высокое предельное сдвиговое напряжение указывает на стабилизированную структуру пены, что позволяет ей оставаться на поверхности горючего вещества без утраты своих свойств. Кратность показывает, насколько

пена увеличивается по объему по сравнению с первоначальным объемом пенообразующего раствора. Это свойство влияет на количество пены, необходимой для тушения, а также на её эффективность. Высокочрезвычайные пены обычно более эффективны, так как обеспечивают большую площадь покрытия при меньшем использовании реагентов. Самопроизвольное растекание определяет, насколько быстро и равномерно пена распределяется по поверхности горючих материалов. Это свойство критически важно для обеспечения равномерного покрытия площади, предотвращая образование «горячих точек», что может угрожать повторному возгоранию.

Пленкообразующее действие подразумевает способность пены образовывать защитную пленку на поверхности горящих жидкостей, тем самым изолируя кислород и предотвращая дальнейшее горение. Пены с хорошими пленкообразующими свойствами являются особенно эффективными для тушения жидкостных пожаров. Эти физико-химические свойства пены напрямую зависят от состава пенообразующего раствора. Выбор различных поверхностно-активных веществ (ПАВ), стабилизаторов и других добавок позволяет добиться необходимых характеристик. Например, использование фторированных ПАВ может значительно повысить термическую устойчивость и изолирующую способность, но при этом нужно учитывать их потенциальное негативное воздействие на экологию. Кроме выбора компонентов, важную роль играет и способ генерации пены. Степени смешивания, температура и параметры давления при образовании пены все влияют на её конечные свойства. Различные технологии (механическая аэрация, инъекционно-воздушная аэрация и др.) могут производить пены с необходимыми характеристиками для специфических задач тушения. Таким образом, обеспечение огнетушащей эффективности пены требует комплексного подхода, учитывающего как физико-химические свойства, так и методы её получения и применения.

В исследовании рассматривается понятие «пенообразователь» и его применение в пожаротушении. Термин «пенообразователь» относится «к концентрированному водному раствору, на основе которого получают рабочий

раствор пенообразователя, а не к устройству, с помощью которого получают пену» [14].

Такие устройства называют «генераторами пены или пеногенераторами. Существуют пеногенераторы различных типов, например, эжекционного типа, с принудительной подачей воздуха, барботажные и т.д.» [16].

По мере развития промышленности возникали «новые требования к качеству пены, что вело к синхронному совершенствованию состава пенообразователя и созданию новых конструкций пеногенераторов» [47].

В настоящее время «трудно определить авторство на конкретные виды генераторов пены, «поскольку приблизительно одинаковые конструкции производятся различными компаниями в Европе и в Америке» [49]. При анализе литературы, включая материалы рекламного характера, «авторы книги указывали авторство изделия, если находили его в патентном описании компании» [50].

Составы пенообразователей, как правило, «не раскрываются фирмами-производителями, поэтому бывает трудно отнести их к определенному классу. В связи с этим авторы книги не могут нести ответственность за информацию, предоставляемую компаниями-производителями» [38].

Пенообразователи для пожаротушения играют ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности борьбы с огнем, рассмотрим подробнее свойства, качества и эффективность пенообразователей, а также влияние, которое оказывают на них компании-производители.

Пенообразователи, как уже упоминалось, представляют собой концентрированные растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Основные свойства пенообразователей включают:

– перемещение и устойчивость: хорошие пенообразователи должны образовывать устойчивую пену, которая эффективно покрывает поверхности горящих веществ, препятствуя выделению паров и их воспламенению.

– проникающая способность: важно, чтобы пенообразователь мог проникнуть в горючую жидкость, обеспечивая максимальный контакт и снижение температуры;

– температурная стойкость: эффективный пенообразователь должен сохранять свои свойства и эффективно работать при различных температурах, чтобы справляться с ситуациями, в которых важно быстрое реагирование;

– образование пены: скорость и объем образующейся пены также являются важными показателями. Пенообразователь должен быстро создавать значительное количество пены для ликвидации огня;

– безопасность и экологичность: современные требования требуют, чтобы пенообразователи были безопасны для здоровья человека и окружающей среды. Это приводит к проведению тщательно изучения и специализированным тестам на токсичность.

Эффективность пенообразователей напрямую зависит от их химического состава и концентрации. Разные пенообразователи требуют различной концентрации для достижения оптимального эффекта тушения:

– пенообразователь ПО-ЗАИ (Ива): применяется в 3 %-ной концентрации. Это может указывать на высокую активность используемого ПАВ, позволяющего достичь хороших результатов даже в меньших концентрациях;

– пенообразователь ПО-1Д: используется в более высокой концентрации, до 6 %, это может быть связано с тем, что состав требует большего количества активных веществ для достижения желаемого эффекта тушения.

С течением времени на рынке пенообразователей произошло множество изменений, связанных с объединением компаний и изменениями их названий. Это могло повлиять на:

– инновации и НИОКР (научные исследования и опытно-конструкторские разработки): крупные концерны, такие как «Тайко», «Кидде» и «Вильяме», обладая значительными ресурсами, могут инвестировать в исследования новых, более эффективных пенообразователей, тогда как небольшие компании могут испытывать сложности;

– объединение компаний часто приводит к обмену технологиями и улучшению производственных процессов, что может повысить общую эффективность пенообразователей [38];

– с увеличением масштабов производства в рамках концернов качество продукции часто становится более стандартизированным и предсказуемым.

Таким образом, свойства, качество и эффективность пенообразователей — это комплексное понятие, которое затрагивает не только химические и физические характеристики самих составов, но и влияние компаний-производителей. Расширение исследовательских возможностей и технологические инновации позволяют создавать более эффективные и безопасные пенообразователи, что, в свою очередь, напрямую облегчает задачи по тушению разнообразных типов пожаров.

Природа молекул ПАВ «определяет возможность образования пены высокой кратности, необходимой для тушения пожаров в трюмах кораблей и складских помещениях» [21].

Пенообразователи (пенные концентраты) представляют собой «многокомпонентные водные растворы, в состав которых входят один или несколько видов поверхностно-активных веществ; добавки, обеспечивающие термическую и гидростатическую устойчивость пены, низкую температуру замерзания пенного концентрата; ингибиторы коррозии и вещества, обеспечивающие совместимость перечисленных выше компонентов» [21].

Химическое строение и состав молекул ПАВ определяют «характер взаимодействия пены с горючей жидкостью, что в итоге отразится на «загрязнении» (сорбции) пены горючим, на самопроизвольном растекании пены и водного раствора по углеводородам и на обеспечении контактной устойчивости пены на полярных жидкостях, таких как низкомолекулярные спирты» [22].

Для получения пены средней кратности на генераторах эжекционного типа «используются пенообразователи на углеводородной поверхностно-активной основе, эти вещества обеспечивают высокую пенообразующую способность

водного раствора, но пены на их основе обладают низкой термической устойчивостью и смешиваются с нефтью и нефтепродуктами при погружении в топливо. Пены низкой кратности на основе углеводородных ПАВ практически не применяются для тушения пожаров углеводородов, поскольку они хорошо смешиваются с нефтепродуктами и утрачивают изолирующие свойства» [23].

Низкократные пены, «полученные на основе пенообразователей с фторированными ПАВ, обладают особыми свойствами, которые обусловлены сверхнизким поверхностным натяжением рабочих растворов этих веществ» [24]. Этот эффект «позволяет предотвратить смешение пены с горючим и обеспечить образование и самопроизвольное растекание водного раствора из пены по поверхности нефтепродукта в виде тонкой водной пленки» [42].

По природе поверхностно-активной основы пенообразователи делятся на «протеиновые (фторпротеиновые) и синтетические (фторсинтетические)» [2].

ГОСТ разделяет пенообразователи на составы общего и специального назначения, причем «общего» означает широкую доступность пенообразователя по стоимости.

Пенообразователи специального назначения используются для тушения полярных горючих жидкостей, таких как ацетон или этиловый спирт [8].

Производства пенообразователей, таких как ПО-1, ПО-1Д и ПО-6К, действительно прекратились из-за их биологической жесткости. Это вызвано как экологическими требованиями, так и требованиями безопасности. Пенообразователи, относящиеся к категории биологически мягких, такие как ПО-3А и ПО-3НП, хоть и имели некоторые преимущества, в конечном итоге не смогли удовлетворить требования к эффективности тушения сравнительно с фторсинтетическими аналогами.

Фторсинтетические ПАВ (поверхностно-активные вещества), используемые в водных пленкообразующих пенообразователях, позволяют формировать пленки, которые самопроизвольно растекаются, это свойство критически важно, так как пленки могут быстро и эффективно покрывать

большие площади поверхности, что особенно важно при тушении крупных пожаров, когда время играет ключевую роль.

Выполняя функцию барьера против кислорода, такие пленки препятствуют продолжению процесса горения, что значительно повышает эффективность тушения. Кроме того, фторсодержащие составы способны оставаться эффективными даже при воздействии высоких температур, что критично на пожаре.

Пенообразователи, такие как «Подслойный» и «Мультипена» из Новороссийска, продемонстрировали свою эффективность в различных ситуациях, связанных с тушением нефтепродуктов. Эти средства применяются не только в промышленных условиях, но и в ситуациях, когда необходима быстрая реакция на потенциально опасные ситуации, например, на нефтяных терминалах, в портах, или при буксировке танкеров. Эффективность «Подслояного» и «Мультипена» в тушении пожаров с углеводородами подтверждает важность применения современных пенообразователей в современной безопасности. Их уникальные свойства делают их незаменимыми инструментами для пожаротушения на объектах, где углеводороды являются основным риск-фактором. Эти разработки также служат примером того, как наука и технологии могут продвигаться вперед, создавая более безопасные и эффективные средства борьбы с огнем.

Несмотря на свои преимущества в тушении пожаров, фторсодержащие пенообразователи также поднимают вопросы об экологической безопасности. Современные тенденции направлены на разработку более безопасных и экологически чистых альтернатив, чтобы снизить потенциальный вред воздействия на окружающую среду при их использовании, это требует балансировки между эффективностью тушения и сохранением экосистем.

Фторсодержащие пенообразователи остаются ведущим выбором для тушения пожаров с углеводородами благодаря своим уникальным свойствам, позволяющим эффективно бороться с огнем и защищать окружающую среду от негативных последствий.

Однако с учетом нынешних требований к экологии и безопасности, ведутся активные исследования и разработки в области более безвредных альтернатив, что в будущем может изменить ландшафт пожаротушения.

Фторсинтетические пенообразователи обладают хорошей устойчивостью к различным химическим веществам и долговечны в условиях загрязнения, что делает их идеальными для применения в сложных средах. Типы пенообразователей представлены на рисунке 2:



Рисунок 5 – Типы пенообразователей

Если рассматривать пенообразователи, которые используются для пожаротушения, то самыми эффективными являются универсальные фторсодержащие спиртоустойчивые пленкообразующие пенообразователи типов AFFF/AR, AFFF/AR-LV, FP/AR и FFFP/AR [38].

Универсальные пенообразователи с комбинацией полимеров обладают значительными преимуществами при тушении пожаров, связанных с органическими жидкостями и растворителями. Они способны не только эффективно подавлять пламя, но и предотвращать повторное возгорание благодаря образованию прочной защитной пленки. Это делает их незаменимыми в различных отраслях, где высокие риски возгорания. Универсальные пенообразователи образуют на поверхности горящих жидкостей прочную пенную пленку, что позволяет создать барьер между возгораемым материалом и кислородом. Это замедляет процесс горения и в конечном итоге гасит пламя. Особенно важным является то, что эти пенообразователи могут эффективно справляться с органическими жидкостями, включая растворители, которые растворимы в воде. Один из основных компонентов таких пенообразователей – полимеры, которые способствуют образованию защитной пленки. Эти полимеры помогают предотвратить смешивание пены с горячей жидкостью, образуя прочный барьер между ними. Пленка предотвращает уносимость пены ветром и воздействие высоких температур, что увеличивает эффективность тушения. Полимеры, используемые в таких пенообразователях, обычно обладают высокой термостойкостью и химической стабильностью, что позволяет им сохранять свою эффективность в условиях жаркого и агрессивного окружения.

Фторсодержащие пенообразователи играют значительную роль в системах подслоного тушения пожаров, однако их использование требует соблюдения строгих требований, направленных как на повышение эффективности тушения, так и на минимизацию воздействия на окружающую среду. Научные исследования и разработки в этой области могут привести к созданию более безопасных и эффективных альтернатив, что будет способствовать улучшению качества систем пожаротушения.

К фторсодержащим пенообразователям, которые используются в системе подслоного тушения пожаров, предъявляются дополнительные требования (рисунок 6):

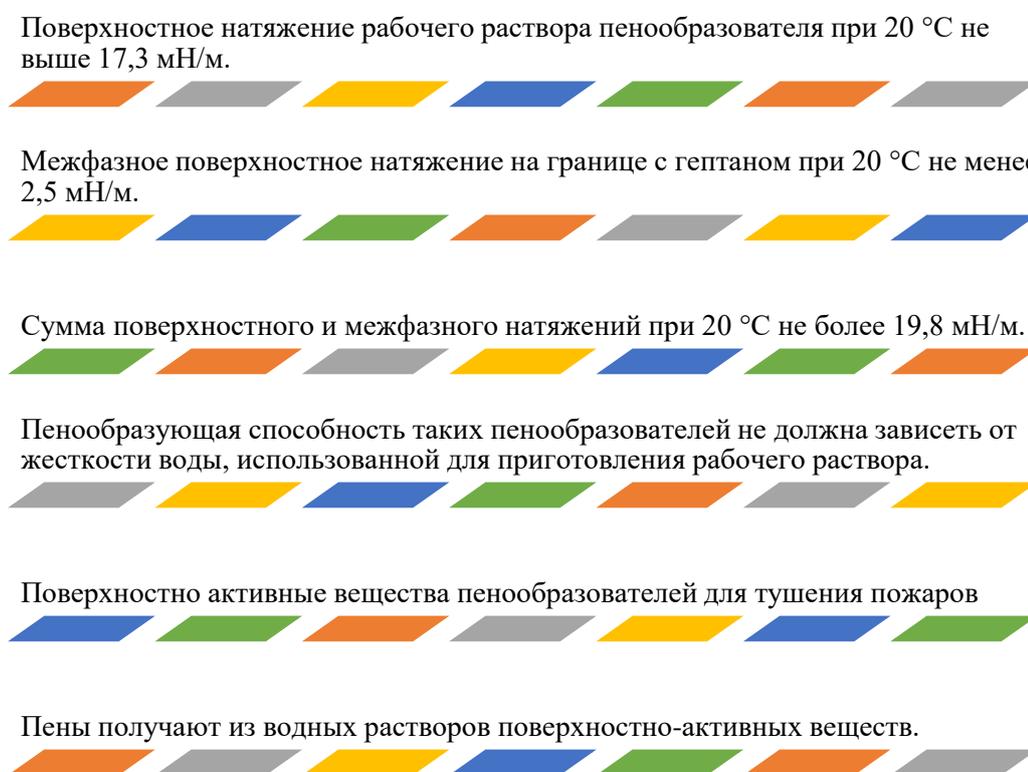


Рисунок 6 – Требования к фторсодержащим пенообразователям

ПАВ – это, «как правило, вещества, синтезированные на белковой или синтетической основе, например, на базе углеводов или фторуглеродов, путем присоединения к ним гидрофильной группы, повышающей их растворимость в воде» [2].

ПАВ «снижают поверхностное натяжение воды на границе с воздухом и этим обеспечивают эластичность водных пленок в течение всего времени существования. Снижение поверхностного натяжения воды молекулами ПАВ достигается за счет их самопроизвольного концентрирования на поверхности. Причем молекулы ПАВ ориентируются углеводородными гидрофобными концами к воздуху, а полярным гидрофильным – к воде. Поэтому, если подойти

сверху, поверхность водного раствора ПАВ представляется как углеводородная, а поверхностное натяжение углеводородов намного ниже, чем воды. В результате адсорбции поверхностное натяжение воды оказывается заметно пониженным при растворении в ней даже очень небольшого количества ПАВ» [2].

В зависимости от знака заряда, который приобретает поверхность при адсорбции молекул, все поверхностно-активные вещества разделяются на четыре группы (рисунок 7):

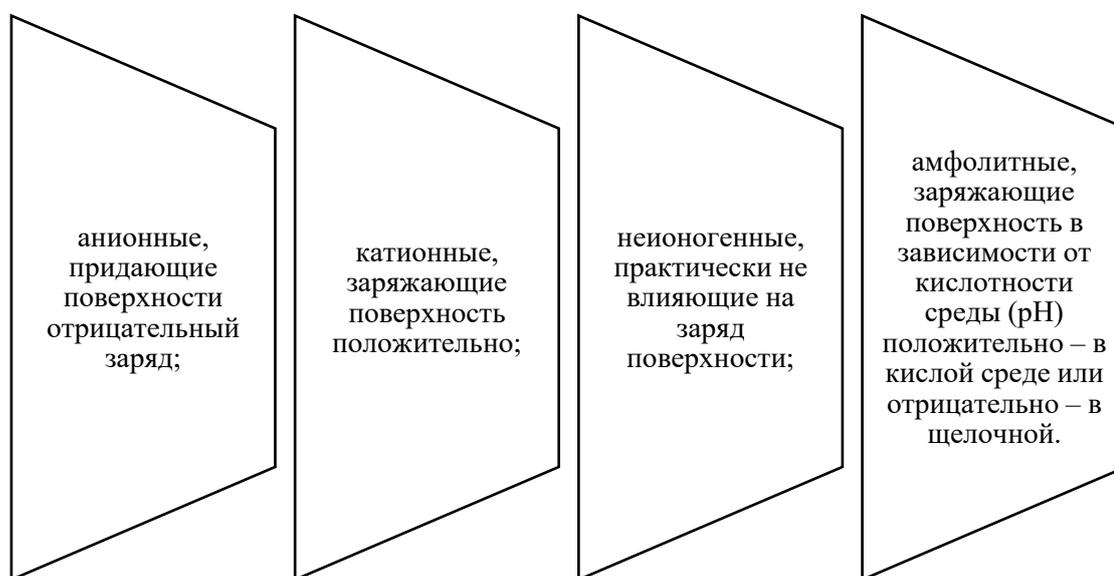


Рисунок 7 – Группы поверхностно-активных веществ

Такое поведение ПАВ зависит от характера диссоциации молекул. Так, анионные ПАВ диссоциируют с образованием поверхностно-активного аниона, а катионные образуют поверхностно-активный катион.

Предполагается, что «стабильной является пенная пленка, поверхность которой покрыта плотным монослоем молекул ПАВ, поэтому максимальная поверхность, которую может стабилизировать пенообразователь, определяется концентрацией ПАВ, величиной ККМ и величиной адсорбции молекул в плотном монослое на границе раздела фаз» [26].

Далее рассматривается классификация пенообразователей и пен.

Пенообразователи и пены различаются по химической природе поверхностно-активного вещества, способу образования, назначению, структуре (рисунок 8):

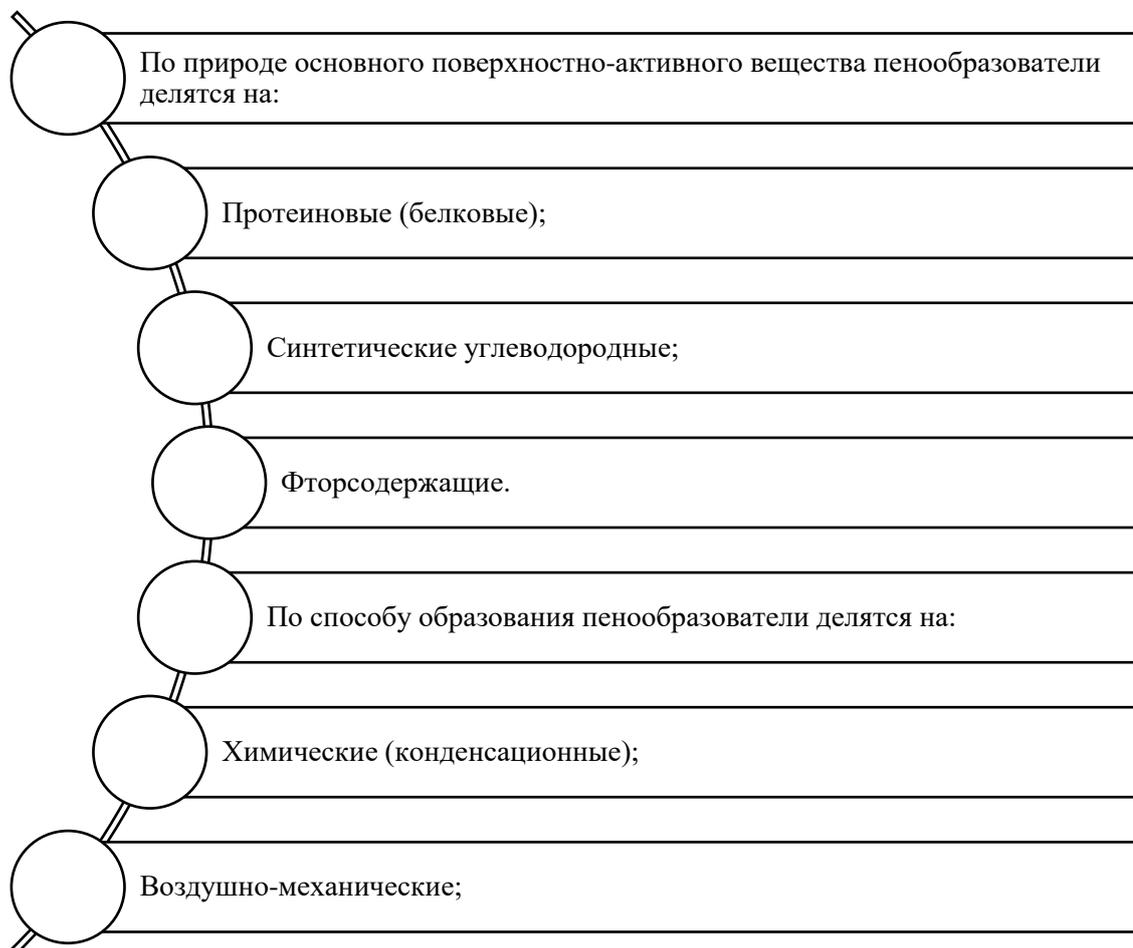


Рисунок 8 – Классификация пенообразователей и пены

Пенообразователи целевого назначения отличаются определенной направленностью состава.

Например, «образующие очень устойчивую пену, длительно не разрушающуюся на открытом воздухе. Такие пены хорошо сохраняются на поверхности потушенного бензина и нефти, препятствуя повторному воспламенению горючего» [26].

Пенообразователи являются многокомпонентными растворами, например, пенообразователь «Сампо», в состав которого входят «алкилсульфаты, высшие жирные спирты, карбамид, бутанол и бутилацетат» [21].

Для тушения спиртов и водорастворимых органических соединений используют «пенообразователи, в состав которых входят природные или синтетические полимеры, которые коагулируют при смешении водного раствора с растворителем» [25].

В результате «коагуляции на поверхности органического растворителя образуется толстая полимерная пленка, которая механически защищает пену от контакта с растворителем» [27].

К пенообразователям целевого назначения также относятся «морозоустойчивые пенообразователи, которые содержат от 15 до 35 % полиэтиленгликолей» [28].

Универсальные и многоцелевые отечественные пенообразователи «Форэтол» и «Универсальный» «пригодны для тушения любых горючих жидкостей, но особенно высока их эффективность при тушении метанола и этилового спирта, причем тушение происходит без существенного их разбавления водой» [28].

Кроме того, «пленкообразующие пенообразователи, например, «Подслойный» (Новороссийск), способны самопроизвольно формировать на поверхности углеводородов водную пленку, которая предотвращает поступление паров воды в зону горения» [30].

Этот эффект достигается за счет резкого понижения поверхностного натяжения водного раствора до величины порядка 15–18 мН/м [21].

Преимущества использования пленкообразующих пенообразователей:

– эффективность при тушении: использование таких пенообразователей позволяет значительно ускорить процесс тушения и уменьшить общее количество используемой воды, что особенно важно в промышленных условиях.

– универсальность: они могут применяться как на открытых площадках, так и в закрытых помещениях, подходя для различных сценариев тушения, в том числе для охраны нефтехранилищ и нефтебаз [44].

– экономичность: пленкообразующие пенообразователи позволяют сократить затраты на воду и другие ресурсы, что делает их экономически выгодными в условиях крупномасштабных операций [45].

– безопасность: одно из ключевых преимуществ — это снижение токсичности и влияние на окружающую среду.

Современные технологии стремятся к созданию более безопасных и менее вредных для здоровья пенообразователей [46].

В зависимости от задач, пенообразователи могут иметь разные концентрации и физико-химические свойства, что позволяет выбирать оптимальный продукт для конкретных условий.

Таким образом, пленкообразующие пенообразователи, такие как «Подслойный», становятся неотъемлемой частью современного подхода к борьбе с пожаром.

Их способность формировать защитную пленку на поверхности горящих углеводородов предоставляет значительное преимущество в условиях, требующих быстрого и эффективного реагирования на угрозы.

Пленкообразующие пенообразователи, такие как «Подслойный» из Новороссийска, представляют собой важное достижение в области пожаротушения благодаря своим уникальным свойствам и способности эффективного действия на углеводороды [2].

При применении пенообразователя на поверхность горящих углеводородов он самопроизвольно выделяет тонкую водную пленку. Эта пленка образуется благодаря свойства образовывать мономолекулярный слой, который прочно сцепляется с поверхностью углеводородов [47].

От чего зависит непосредственный выбор пенообразователя для пожаротушения?

Представляется верным отметить, что, как правило, обычно, при выборе марки инновационного огнетушащего пенообразователя для ликвидации возгораний, пожаров как малого, так и большого объема возгорания, учитываются такие факторы как (рисунок 9):

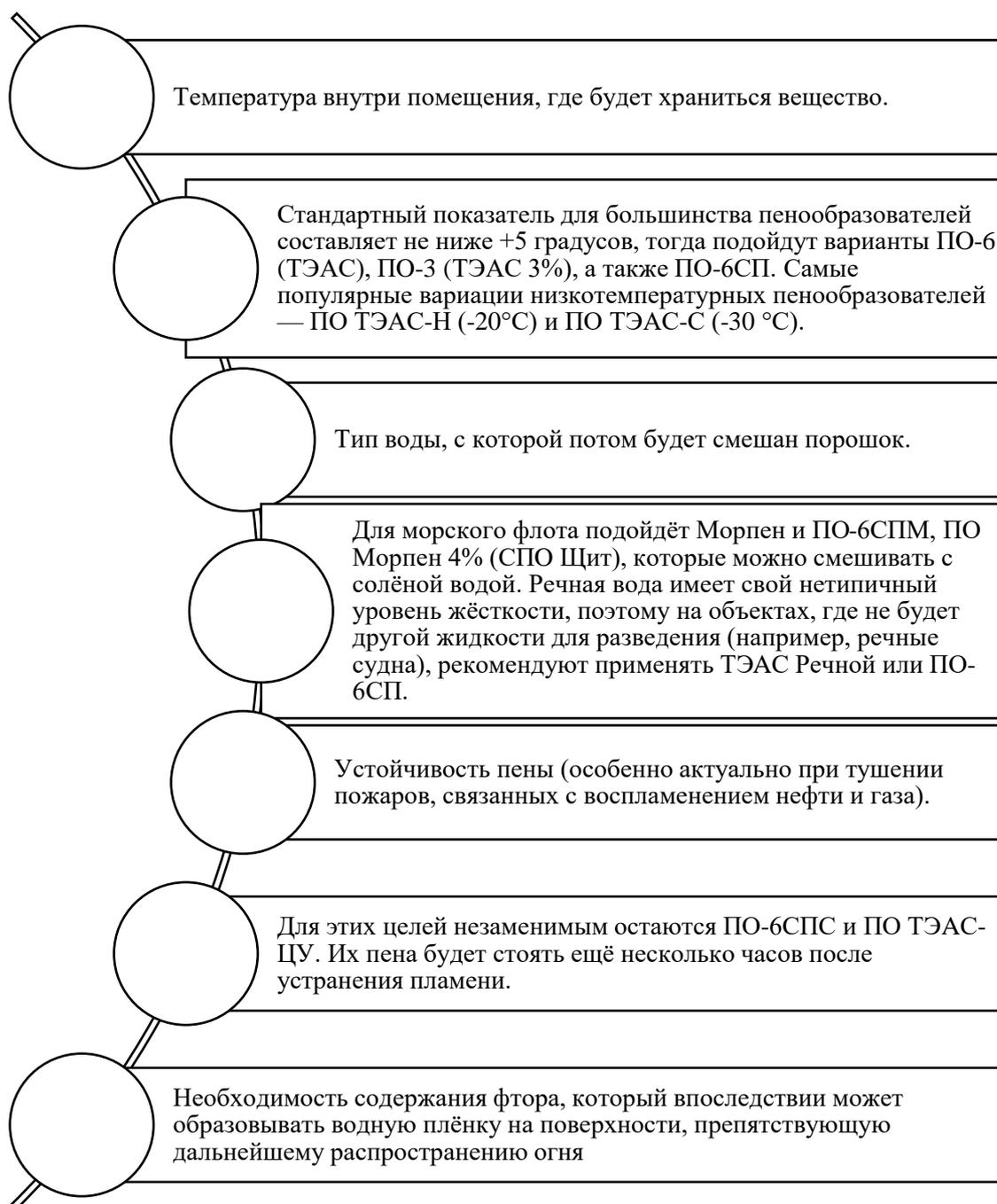


Рисунок 9 – Факторы выбор пенообразователя для пожаротушения

В настоящее время эффективно применение отечественных пенообразователей, таких как ПО-6АFFF (ПО-6А3F) и ПО-6АFFF НК, относятся к типу АFFF [2]. Следовательно, при выборе пенообразователя для объекта важно учитывать температурный режим его хранения, вид используемой воды, а также специфику веществ, которые могут воспламениться [48].

Так, «изначально в начале прошлого века пенообразователи на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) разрабатывали в целях применения для тушения пожаров, на сегодняшний день на рынке представлено 10 типов пенообразователей и смачивателей для тушения пожаров (S, S/AR, АFFF, АFFF/AR, АFFF/AR-LV, FP, FP/AR, FFFP, FFFP/AR и WA-смачиватели), на основе которых выпускаются сотни марок с конкретными показателями и характеристиками для тушения всех видов пожаров» [31].

Пена и растворы смачивателей широко используются для тушения всех видов пожаров [49].

Инновационные огнетушащие пенные составы представляют собой важное направление в области пожарной безопасности, и за последние годы было разработано несколько интересных и эффективных решений [50]. Представляется верным обозначить несколько примеров таких составов:

– фторсодержащие пены (АFFF). Авиапенные составы на основе фтора (АFFF – Aqueous Film Forming Foam) используются для тушения нефтяных и химических пожаров.

Они создают пленку поверх горящих жидкостей, что предотвращает возгорание и способствует быстрому тушению. Однако с недавних пор появились вопросы по поводу экологической безопасности фторов, что привело к развитию альтернативных составов [1];

– фторсодержащие пены, известные как АFFF (Aqueous Film Forming Foam), представляют собой важный инструмент в обеспечении пожарной безопасности, особенно в ситуациях, когда необходимо тушить пожары с горючими жидкостями, такими как нефть и нефтепродукты. Эти пены обладают

уникальными характеристиками, которые делают их особенно эффективными, но также вызывают некоторые экологические и здравоохранительные опасения.

Характеристики AFFF: формирование пленки: основное достоинство AFFF заключается в способности образовывать тонкую водяную пленку на поверхности горящих жидкостей.

Следующий тип – это биоразлагаемые огнетушащие пены [6]. Например, пенообразователь ПО-НСВ — это синтетический углеводородный биоразлагаемый пенообразователь общего назначения, предназначенный для тушения пожаров классов А (пожары, вызванные твердыми горючими веществами, такими как дерево, уголь, бумага) и В (пожары, вызванные жидкими горючими веществами, например, бензином, нефтью и другими углеводородами). Он был разработан с учетом требований современных стандартов пожарной безопасности и охраны окружающей среды. Пенообразователь по своим параметрам соответствует ГОСТ Р 50588-2012 [8].

Пенообразователь ПО-НСВ представляет собой современное решение для обеспечения безопасности и эффективного тушения пожаров, отвечая, как требованиям нормативных актов, так и современным экологическим вызовам. Его применение способствует не только повышению надежности пожарной безопасности, но и снижению экологических рисков, что делает его важным инструментом в современном мире [44].

Широко используется в различных отраслях, включая нефтегазовую, химическую и другие, где существует риск возгораний, а также применяется в системах автоматического и ручного пожаротушения, а также в пожарных машинах и мобильных установках [44].

Благодаря своим характеристикам ПО-НСВ обеспечивает быстрое и эффективное тушение пожаров, снижая риск распространения огня. Безопасность для окружающей среды: Биоразлагаемость служит значительным преимуществом, особенно в условиях, когда необходима защита экосистемы после происшествия.

Пенообразователь подходит как для применения в открытых, так и в закрытых помещениях, обеспечивая универсальность в использовании.

Пены на основе натуральных экстрактов. Некоторые компании начали разрабатывать пены на основе растений, такие как экстракты сои или кукурузы. Например, Green Fire использует экстракты, полученные из различных сельскохозяйственных культур, которые могут быть использованы как огнетушащие средства, обеспечивая при этом меньшие последствия для экосистемы [43].

Аналогичные испытания были проведены с использованием шишек хмеля по ТУ 9185-057-14721358-08 (Изготовитель – ООО «ХОРСТ», но они не дали положительных результатов, также, как и испытания, проводимые с использованием корня солодки (фирма-изготовитель – ООО «ФитоФарм ПКФ») [40].

Инновационные концепции (например, огнетушители на основе CO₂). Некоторые современные системы используют сочетание пенной технологии и углекислого газа (CO₂) для увеличения эффективности тушения. Пены, созданные с использованием CO₂, могут обеспечивать быстрое создание смесей, которые уменьшают доступ кислорода к горючим материалам [41].

Полимерные и нано-технологические пены. Нанотехнологии находят применение в создании огнетушащих пенных составов. Например, NanoFire разрабатывает пены, включающие наночастицы, которые могут улучшить физические и химические свойства пены, увеличивая ее вязкость и термостойкость.

В.В. Богданова, М.М. Тихонов, А.А. Мамедов в своих трудах описывают методику эксперимента. В работе «в качестве полимерной матрицы для получения вспениваемого огнезащищенного материала отобрана пенополиуретановая композиция марки «Изолан-125», в течение короткого времени образующая жесткую конденсированную теплоизоляционную пену. Исследуемые замедлители горения: синтетические недефицитные продукты –

аммонийные фосфаты двух и/или трехвалентных металлов, свойства которых возможно регулировать изменением металла и соотношения компонентов» [3].

Исследование, о котором идет речь, представляет собой значительный шаг вперед в области огнезащитных технологий, особенно в контексте использования пенополиуретанов (ППУ) для создания эффективных огнезащитных преград. Поскольку до настоящего времени применение конденсированных пен в качестве огнезащитных материалов в кабельных шахтах гражданских зданий было довольно ограниченным из-за их горючести, полученные результаты открывают новые горизонты для применения таких материалов [3].

В данной работе использовался метод полного факторного эксперимента, что позволило систематически исследовать влияние различных компонентов на свойства замедлителя горения и создать трудногорючий ППУ марки «Изолан-125». Это дает возможность более точно настроить рецептуру и, как следствие, повысить ее огнезащитные характеристики. Проведенные испытания показали, что трудногорючий ППУ способен эффективно ограничивать распространение огня в кабельных шахтах, что имеет критическое значение для обеспечения безопасности гражданских зданий.

Сравнение показало, что огнетушащая эффективность трудногорючего ППУ превосходит эффективность воды и растворов с поверхностно-активными веществами, а также сопоставима с эффективностью специализированных жидкостных синтетических средств, таких как АН60–КМ и Тофасил. При тушении пожаров класса А эффективность использования нового материала была доказана, а для пожаров класса В требуется меньший удельный расход, что является важным фактором для практического применения. Одним из значительных преимуществ трудногорючего ППУ является его высокая диэлектрическая устойчивость. Это открывает возможности его применения в ситуациях, где использование воды или водосодержащих составов может привести к короткому замыканию или другим электроопасным последствиям.

Процесс разработки и испытаний трудногорючего ППУ «Изолан-125» продемонстрировал, что использование таких материалов в роли огнезащитных преград в кабельных шахтах может значительно повысить уровень безопасности помещений.

Разработка и внедрение подобного материала в практику способно существенно увеличить безопасность гражданских зданий, что делает эту работу очень актуальной и значимой для области пожарной безопасности [3].

Замкнутые циклы воды: некоторые технологии работают на основе использования замкнутых циклов воды и пены. Такие системы могут эффективно использовать минимальное количество материала для достижения оптимального огнетушащего эффекта при минимальных отходах.

Смеси с добавками для улучшенной адгезии. Современные составы огнетушащих пенных материалов часто включают специальные добавки, которые увеличивают их адгезию к различным поверхностям. Это позволяет пене оставаться на горящем материале дольше, обеспечивая более эффективное тушение.

Таким образом, инновационные огнетушащие пенные составы продолжают развиваться, сочетая в себе улучшенные характеристики тушения с учетом экологической безопасности.

Новые технологии направлены на создание более эффективных, безопасных и экологически чистых решений для борьбы с пожарами в различных сферах использования [42].

2.2 Разработка рекомендаций по применению предлагаемых огнетушащих пенных составов

На основе проведенных испытаний и анализа свойств, необходимо сформулировать ряд рекомендаций по их эффективному применению в качестве огнетушащих средств. При выборе огнетушащего пенного состава следует учитывать следующие факторы.

Для противопожарной защиты в кабельных шахтах рекомендуется использовать трудногорючие пенные составы, так как они обеспечивают высокую степень огнезащиты и эффективны против электрических пожаров, а также горючих жидкостей [45].

Следует выбирать составы с высоким содержанием активных компонентов, так как они обеспечивают лучшую адгезию к поверхности и более длительное время действия. Перед применением огнетушащих пенных составов необходимо убедиться в правильной подготовке оборудования и пенных составов к тушению пожара.

Это может включать предварительное смешение, если это требуется по технологии.

Дозировка воды к пенному составу должна строго соответствовать рекомендациям производителя для достижения оптимальных характеристик пены [46].

Рекомендуется использовать установленные методы распыления, такие как механические или воздушные пены, так как они обеспечивают лучший выход пены и ее равномерное распределение по поверхности.

Положение распыляющего устройства: для достижения наилучшего эффекта огнетушащие составы следует применять сверху вниз, что позволяет максимально эффективно заполнять объем и ограничивать распространение огня [47].

Обшивка и защита: изготавливать защитные конструкции из трудногорючих ППУ вокруг объектов, подверженных риску возгорания, для создания дополнительного барьера.

Для эффективного использования предлагаемых огнетушащих пенных составов необходимо:

- проведение обучающих семинаров: регулярные тренировки для персонала по правилам применения огнетушащих составов, оценке их эффективности и действиям в случае возникновения пожара;

- разработка инструкций: создание подробных руководств по использованию огнетушащих средств для различных сценариев, включая особенности работы с трудногорючими ППУ [48].

Важно проводить периодические проверки состояния огнетушащих средств и их запасы, чтобы гарантировать их работоспособность и эффективность.

Обновление состава: учитывая развитие технологий, периодически пересматривать и обновлять рецептуры пенных составов на основе новых исследований и технологических достижений [49].

Регулярные симуляционные испытания на основе реальных сценариев возгорания важны для совершенствования методов тушения пожаров с помощью пенных составов. Они не только помогают определить наиболее эффективные технологии, но и способствуют повышению безопасности как для сотрудников, так и для окружающей среды.

Интеграция полученных данных в рекомендации по обращению с огнетушащими средствами приведет к созданию более надежных и эффективных протоколов безопасности [50].

Выводы по разделу 2

В исследовании определено, что инновационные огнетушащие пенные составы продолжают развиваться, сочетая в себе улучшенные характеристики тушения с учетом экологической безопасности.

Новые технологии направлены на создание более эффективных, безопасных и экологически чистых решений для борьбы с пожарами в различных сферах использования.

Инновационные огнетушащие пенные составы представляют собой результат множества научных исследований и разработок, направленных на повышение эффективности пожаротушения и уменьшение негативного влияния на окружающую среду.

Применение таких составов позволяет решать сложные задачи, связанные с различными типами пожаров и общими требованиями к безопасности.

Постоянное развитие технологий и внедрение новых компонентов обеспечивают надежность и эффективность таких передовых пенных средств. В исследовании определено, что инновационные огнетушащие пенные составы продолжают развиваться, сочетая в себе улучшенные характеристики тушения с учетом экологической безопасности.

Современные технологии пенного тушения включают применение передвижной пожарной техники, оснащенной специальными емкостями для пенообразователя и насосными установками. Такие автомобили обеспечивают высокую мобильность и возможность быстрого реагирования в критических ситуациях. На сегодняшний день существуют модели с различными характеристиками, включая грузовые шасси и улучшенные насосные установки, которые могут обеспечивать подачу пены с необходимой интенсивностью.

Современные составы часто обладают многофункциональными свойствами, позволяя эффективно тушить не только углеводороды, но и другие типы пожаров (например, металлы или жидкости с высоким температурным уровнем).

Это расширяет диапазон их применения и делает их более универсальными.

В зависимости от типа пожара и условий окружающей среды важно учитывать специфику каждого материала и места возможного пожара, чтобы выбрать наиболее подходящее средство и метод его применения, это позволит значительно повысить уровень безопасности как при предотвращении возникновения огненных ситуаций, так и в процессе их ликвидации.

Для обеспечения безопасности необходимо комплексное понимание потенциально опасных ситуаций и вариантов их развития.

Это позволяет не только эффективно реагировать на ситуации, но и контролировать и предотвращать их, минимизируя риски для людей и окружающей среды.

3 Опытнo-экспериментальная апробация предлагаемых инновационных огнетушащих пенных составов и рекомендаций по их применению

3.1 Программа опытнo-экспериментальной апробации инновационных огнетушащих пенных составов и рекомендаций по их применению

Для того, чтобы предложить программу опытнo-экспериментальной апробации инновационных огнетушащих пенных составов, необходимо обозначить статистику пожаров на примере Североуральского городского округа и провести анализ применения пенных составов на примере 15 Пожарно-спасательном отряде федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы Главного управления Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по Свердловской области.

За 2022 год обстановка с пожарами на территории Североуральского городского округа по сравнению с аналогичным периодом характеризуются следующими основными показателями зарегистрировано 97 пожаров (в 2021 г. – 106 пожаров (снижение на 9 %)), при пожарах погиб 1 человек (в 2021 г. – 3 человека (снижение на 25 %)), 3 человека получили травмы различной степени тяжести (в 2021 г. – 1 человек (увеличение в 3 раза)).

Подразделениями пожарной охраны на пожарах спасено 13 человек (в 2021г. – 8 человек (увеличение на 63 %)), в том числе 3 ребенка (в 2021г. – 2 детей (уменьшение в 1,5 раза)).

На город пришлось 41 % от общего количества пожаров в городе (40 пожаров), (в 2021г. – 58% от общего количества пожаров в городе (61 пожар)), на сельскую местность пришлось 59 % от общего количества пожаров в селе (57 пожаров) (в 2021г. – 42% от общего количества пожаров в селе (45 пожаров) [27].

В 2023 году ситуация по-прежнему оставалась сложной: укрепление противопожарной безопасности: В ответ на предыдущие происшествия власти города начали реализовывать меры по повышению уровня безопасности. Важными шагами стали проверки состояния пожарных систем в жилых домах и учреждениях, а также организация специальных тренировок и учений для пожарных служб. В 2023 году также было уделено внимание профилактики. Учитывая, что большой объем пожаров был обусловлен человеческим фактором, проводились информационные кампании, направленные на повышение осведомленности граждан о правилах обращения с огнем, особенно в весенне-летний период.

За 12 месяцев 2023 года в Североуральском городском округе произошло 69 пожаров. Из них 36 – в городе, 10 – в Черемухово, 7 – в посёлке Третий Северный, 7 – в Калье, 2 – на территории Покровска-Уральского, 1 — в Бокситах, 1 – в Баяновке, 5 – лесных. В пожарах погибли 2 человека [16].

По информации на 23 сентября 2024 года, в Североуральском городском округе произошёл крупный пожар с гибелью [17]. Возгорание случилось по адресу: посёлок Бокситы, улица Речная, дом 18. На площади 150 квадратных метров сгорел частный дом и надворные постройки [28].

30.05.2024г. в 10:37 (мест) поступило сообщение о пожаре по адресу: Свердловская область, Североуральский городской округ, ул. Каржавина. На площади 10 кв.м повреждены внутренняя отделка, домашнее имущество в квартире, расположенной на 2-м этаже муниципального 5-и этажного жилого дома коридорного типа.

Самостоятельно до прибытия пожарно-спасательных подразделений по лестничным маршам эвакуировались 4 человека.

Спасены с помощью спасательных устройств 2 человека. Пострадавших нет. В тушении пожара были задействованы 4 единицы техники, 12 человек личного состава. В 10:53 (мест) огонь локализован, в 11:05 (мест) открытое горение ликвидировано, проливка и разбор сгоревших конструкций завершены в 11:46 (мест) [35].

На вооружении 15 Пожарно-спасательном отряде федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы Главного управления Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по Свердловской области - автомобиль пенного тушения АЦ-3,0-40 NATISK, 076-3ПВ (рисунок 10):



Рисунок 10 – Автоцистерна пожарная АЦ-3,0-40 NATISK (5557).

Данное устройство предназначено для создания и подачи пены для пожаротушения, обеспечивая высокую эффективность в борьбе с пылающими материалами, особенно с горючими жидкостями.

Основные характеристики АЦ-3,0-40 NATISK, 076-3ПВ:

– АЦ-3,0-40 NATISK способен обеспечивать производительность до 3,0 м³/ч. Это означает, что устройство может подавать значительное количество пены за единицу времени, что крайне важно при тушении крупных очагов возгорания;

– устройство может работать при различных давлениях, позволяя адаптировать его под специфические условия эксплуатации. Обычно давление в системе может достигать 0,4-0,6 Мпа;

– устройство совместимо с биоразлагаемыми и синтетическими пенообразователями, что делает его универсальным инструментом для комбинированных систем тушения;

В настоящее время при пожаротушении используется компрессионная пена ООО «Синтез ПАВ» – синтетическое углеводородное пенообразователи общего назначения типа s (рисунок 11). ООО «Синтез ПАВ» – это российский производитель, который занимается разработкой и производством поверхностно-активных веществ (ПАВ), в том числе синтетических углеводородных пенообразователей общего назначения.

Пенообразователь, используемый в 15 Пожарно-спасательном отряде федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы Главного управления Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по Свердловской области обладает высокой эффективностью, так как обеспечивает быстрое образование пены, которая создает пленку над горючими жидкостями, предотвращая доступ кислорода, подходит для различных видов пожаров и условий эксплуатации.



Рисунок 11– Компрессионная пена ООО «Синтез ПАВ»

Однако, с практической точки зрения, при использовании пенообразователя для пожаротушения ООО «Синтез ПАВ» могут возникнуть отрицательные экологические последствия: пенообразователь приятно воздействует на окружающую среду, но не является полностью биоразлагаемыми.

Представляется, использование устройства АЦ-3,0-40 NATISK, 076-3ПВ в системах пожаротушения с пенообразователями на основе биоразлагаемых компонентов имеет значительные преимущества:

- эффективность пенообразователей на основе биоразлагаемых компонентов;

- экологическая безопасность: биоразлагаемые пенообразователи разлагаются в окружающей среде без негативного влияния на экосистему. Это особенно важно в современных реалиях, когда соблюдение экологических стандартов становится приоритетом для многих организаций.

- Пожаротушение в различных условиях: пенообразователи эффективно работают на разных типах материалов, включая горючие жидкости (нефть, масла) и твердые вещества, они образуют устойчивую пену, которая препятствует доступу кислорода к огню, тем самым быстро подавляя пламя.

Пожар – это одно из опасных происшествий, в связи с чем возникает разрушение, которое, может быть, не восстановлено, поскольку огонь распространяется быстро и причиняет вред и убытки как имуществу, так и человеческим жизням. Нельзя не отметить, что для тушения пожаров существует много вариантов, включая применение огнетушащих пенных составов. Эффективность использования инновационных пенных составов является эффективным при тушении пожара. Одним из наиболее важных составляющих при тушении пожара является выбор пенообразователя.

Биоразлагаемые пенные составы, используемые при тушении пожара, представляют собой инновационное решение, которое сочетает в себе экологическую безопасность и эффективность при ликвидации очагов возгорания.

Методы анализа эффективности внедрения инновационных огнетушащих пенных составов играют «важную роль при оценке результатов и последующем улучшении процессов пожаротушения на основе синтетического углеводородного пенообразователя» [35].

Для проведения такого анализа «необходимо использовать различные подходы и инструменты, которые позволяют оценить 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 нового пенного огнетушащего состава, что позволяет определить изменения в процессе пожаротушения. Другим методом анализа является экономическая оценка эффективности внедрения инновационного пенного огнетушащего состава» [31].

Проведение «финансового анализа позволяет определить затраты на новую технологию относительно получаемых выгод, этот подход поможет оценить целесообразность инвестиций в разработку и внедрение инновационных огнетушащих пенных составов на основе синтетического углеводородного пенообразователя» [32].

Как уже отмечалось, анализ эффективности внедрения инновационных огнетушащих пенных составов, особенно на основе синтетического углеводородного пенообразователя, требует комплексного подхода, который включает как количественные, так и качественные методы. Контроль за внедрением и оценка эффективности новых огнетушащих составов — это сложный и многоступенчатый процесс.

Используя комбинацию методов, таких как сравнительный анализ, экономическая оценка, экспериментальное тестирование и социальная оценка, можно получить полное представление о потенциальных выгодах от внедрения инновационных технологий, а также оптимизировать процессы пожаротушения для обеспечения безопасности населения и защиты окружающей среды.

В таблице 1 определены параметры, описание и цель проекта.

Таблица 1 – Исходные параметры и цели Проекта

Параметры	Описание	Цель
Наименование проекта	Внедрение инновационных пенных составов на основе биоразлагаемых компонентов	Разработка инновационного решения для повышения эффективности и экологической безопасности пожаротушения.
Пилотный проект	Тестирование инновационных огнетушащих пенных составов в условиях, максимально приближенных к реальным	Данные об эффективности применения инновационного пенного огнетушащего состава на основе биоразлагаемых компонентов
Предлагаемый вид пенообразователя	Синтетический углеводородный пенообразователь	Сравнение экологических и эксплуатационных характеристик с новыми биоразлагаемыми составами
Основные характеристики	Степень биодegradации, скорость тушения, затраты на использование, воздействие на экосистему	Установить критерии для выбора оптимального пенного состава
Экономические затраты	Затраты на внедрение, стоимость пенного состава, экономия времени на тушение	Провести экономический анализ в целях определения целесообразности инвестиций в новую технологию
Метод и действия	Анализ научных работ, наблюдение и эксперимент	Определить реальную эффективность внедряемых технологий и их целесообразность для применения.
Критерии оценки эффективности	Уровень тушения, время реакции, экологические последствия	Измерить улучшения в отношениях к традиционным методам и составам
Ожидаемые результаты	Снижение времени тушения, уменьшение воздействия на окружающую среду, увеличение безопасности пожароопасных объектов	Улучшение общей безопасности и эффективности процессов пожаротушения на объектах повышенного риска.

Применение инновационных пенных огнетушащих составов на основе биоразлагаемых компонентов представляет собой шаг вперёд в области пожарной безопасности и охраны окружающей среды.

В таблице, представленной выше изложены параметры и цели применения инновационного пенного огнетушащего состава на основе биоразлагаемых компонентов, что, несомненно, подтверждает значимость применения научных

исследований для внедрения инновационных пенных огнетушащих составов.

Обоснование выбора определяется следующими составляющими:

– важно учитывать научные исследования, подтверждающие эффективность биоразлагаемых пенных составов, которые должны быть обоснованы как с точки зрения пожарной безопасности, так и экологических норм;

– исследование и тестирование: перед полным внедрением необходимо провести полевые испытания, чтобы собрать данные о производительности новых пенных составов в различных условиях;

– оценка долгосрочных эффектов применения биоразлагаемых пенных составов, включая их влияние на экосистемы, на которых происходили пожары.

В таблице 2 представлен анализ эффективности внедрения биоразлагаемых пенных составов.

Таблица 2 – Анализ эффективности внедрения

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение	Примечание
Стоимость состава «Аквафом» типа s, \$	150 000	201 450	+51,450	Обновление пенообразующего состава
Время реакции на возгорание, мин	5	2	-3	Быстрее реагирование на возгорание
Расход состава 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	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

Продолжение таблицы 2

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение	Примечание
Срок службы системы пожаротушения, лет	10	15	+5	Увеличение из-за качественного пенного состава

Согласно таблице, представленной выше, можно оценить эффективность применения инновационного пенного огнетушащего состава на основе биоразлагаемых компонентов и сравнить показатели до и после ее внедрения. К основным выводам необходимо отнести следующие (рисунок 12):

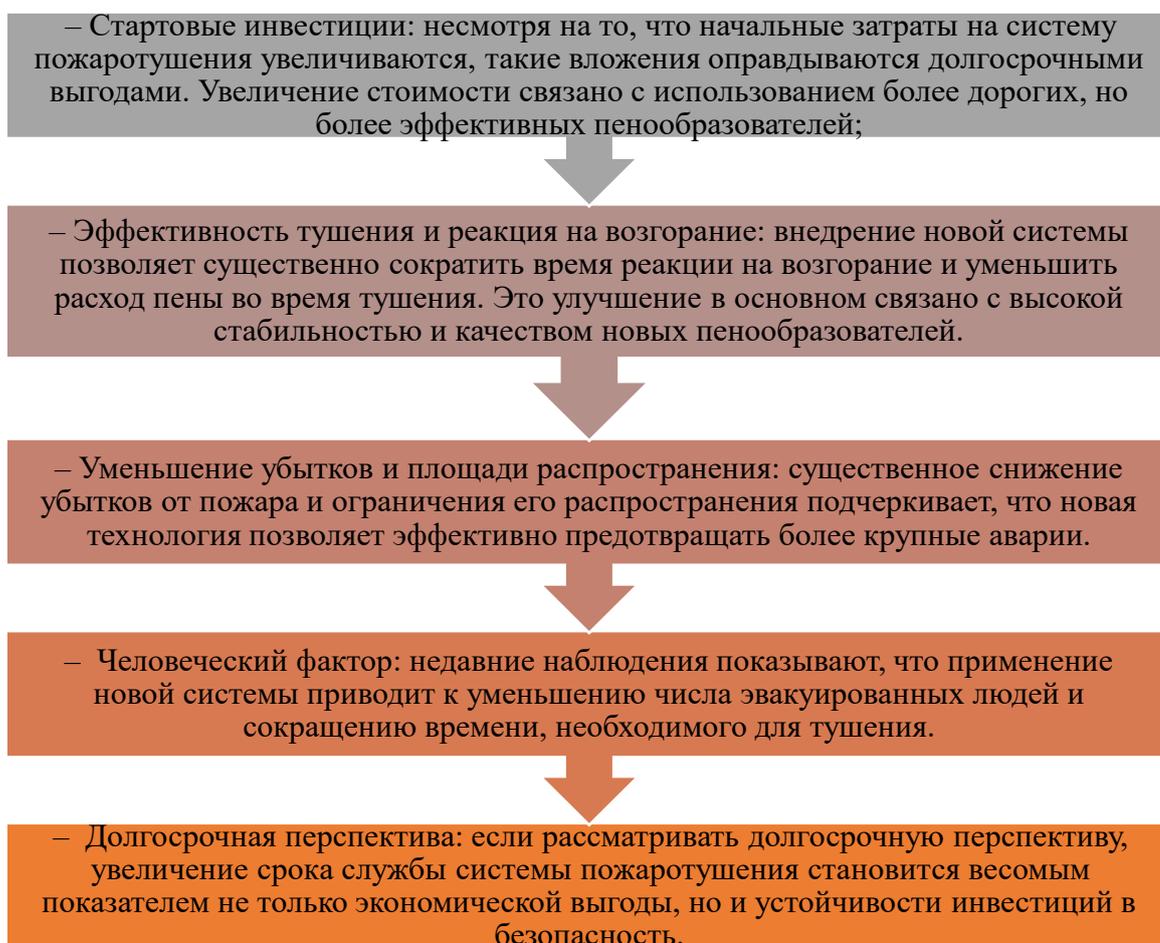


Рисунок 12 – Оценка эффективности применения инновационного пенного огнетушащего состава на основе биоразлагаемых компонентов

Анализ таблиц подчеркивает, что внедрение синтетического углеводородного пенообразователя целевого назначения «Аквафом» типа s имеет значительный потенциал для повышения эффективности и безопасности при тушении пожаров в пожарных частях. 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.

Внедрение биоразлагаемых огнетушащих пенных составов представляет собой значительный шаг вперед в обеспечении пожарной безопасности. Основные выводы свидетельствуют о том, что этот проект не только оправдывает начальные инвестиции, но и приносит долгосрочные выгоды.

Хотя первоначальные расходы на установку и внедрение новых технологий выше, увеличенные расходы значительно компенсируются снижением эксплуатационных затрат, сокращением количества используемых материалов и уменьшением убытков от огня. Долгосрочные экономические выгоды должны стать приоритетом при принятии решений о внедрении новой технологии.

Биоразлагаемые пенные составы продемонстрировали высокую эффективность в тушении возгораний, что позволяет значительно сократить время реагирования. Это означает, что пожары могут быть локализованы на более ранней стадии, что в свою очередь снижает риск их распространения и потенциальный ущерб. Использование новых пенообразователей уменьшает вероятность экологического ущерба и вреда для здоровья людей. Это особенно важно в современных условиях, когда внимание к сохранению окружающей среды и защите здоровья становится все более актуальным. Понижение числа эвакуаций и рисков для людей, а также уверенность населения в эффективности новых средств пожаротушения способствуют повышению общего уровня безопасности. Таким образом, использование биоразлагаемых огнетушащих пенных составов является оправданным решением, которое не только защищает

имущество, но и способствует экологической устойчивости и социальной ответственности. Рекомендуется продолжать исследование и развитие этой технологии для дальнейшего улучшения систем пожаротушения.

Минимизация вторичного загрязнения: после тушения огня, остатки биоразлагаемых пенообразователей могут безопасно удалить, что уменьшает риск загрязнения почвы и водоемов.

Снижение затрат на реагирование: с использованием биоразлагаемых пенообразователей, затраты на очистку после пожара могут быть значительно снижены, так как их остатки не требуют специальной утилизации и легко растворимы в воде. Для более ясного понимания необходимо сравнить два типа пенообразователей: компрессионную пену ООО «Синтез ПАВ» и синтетический углеводородный пенообразователь целевого назначения «Аквафом» типа S.

Таблица 3 – Сравнительный анализ пенообразователей

Критерии	Компрессионная пена ООО «Синтез ПАВ»	Синтетический углеводородный пенообразователь «Аквафом» типа S
Химический состав и свойства	Включает в себя синтетические поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые могут содержать сложные химические компоненты, требующие специальной утилизации. В результате, остатки данного пенообразователя могут быть токсичны для окружающей среды и представлять риск для здоровья человека;	Известен своей биоразлагаемостью и водорастворимостью. Остатки данного пенообразователя легко разлагаются и не требуют специальной утилизации, что значительно упрощает процесс очистки.
Затраты на очистку и утилизацию	Степень токсичности остатков пены может требовать применения специализированного оборудования для очистки. Дополнительные расходы могут включать транспортировку остатков на промышленные свалки или в специальные организации, занимающиеся утилизацией токсичных материалов. В среднем, затраты на очистку могут варьироваться и требовать значительных средств, учитывая необходимость организации процесса утилизации.	Остатки этого пенообразователя легко растворимы в воде и могут быть очищены с помощью обычных водяных струй. При этом затраты на очистку значительно снижаются, так как нет необходимости в специальной технике или процедурах для удаления остатков. На практике, это может привести к уменьшению затрат на ликвидацию последствий пожара до 30-50%.

Предположим, что затраты на очистку при использовании компрессионной пены составляют: затраты на специальные услуги по утилизации (например, 2000 единиц за 1 кубометр оставшихся пенных составов).

Предположим, использовалось 10 кубометров пены (общие затраты = $2000 \times 10 = 20000$). Теперь, при использовании «Аквафом»: для очистки требуется только вода и базовое оборудование (например, насос).

Затраты могут составить примерно 300 единиц на весь процесс (при условии, что используются только стандартные ресурсы и вода), (общие затраты = $300 \times 10 = 3000$).

Сравнительный анализ показывает, что применение синтетического углеводородного пенообразователя «Аквафом» типа S позволяет значительно сократить затраты на очистку после пожара по сравнению с компрессионной пеной ООО «Синтез ПАВ».

Учитывая дополнительные преимущества от снижения риска для здоровья и охраны окружающей среды, использование биоразлагаемых пенообразователей кажется более целесообразным и эффективным выбором для современного процесса пожаротушения.

Снижение опасности для людей, так и для животных, что особенно важно в городских условиях или в местах с высокой плотностью населения;

Предлагается внедрить использование синтетический углеводородный пенообразователь целевого назначения «Аквафом» типа s, сертификат ТР ЕАЭС 043/2017 № ЕАЭС RU C-RU.ЧС13.

Синтетические пенообразователи «Аквафом» типа S, не содержащие фторированные поверхностно-активные вещества, представляют собой водный раствор углеводородных поверхностно-активных веществ со стабилизирующими добавками и морозостойкими присадками.

Представляется, биоразлагаемые пенообразователи, как правило, менее токсичны по сравнению с традиционными средствами, это делает их более эффективными (рисунок 13):



Рисунок 13 – Синтетический углеводородный пенообразователь целевого назначения «Аквафом» типа s

Таким образом, инновационный синтетический углеводородный пенообразователь общего назначения типа S представляет собой одно из наиболее эффективных и универсальных решений для борьбы с пожарами. Его преимущества, такие как высокая производительность, устойчивость к высоким температурам и безопасность, делают его идеальным выбором для различных отраслей.

Механизм действия данного типа пенообразователей – изоляция горючего вещества слоем пены, прекращение доступа кислорода в очаг пожара и снижение температуры за счёт охлаждения выделяющимся из пены раствором пенообразователя.

Пенообразователи «Аквафом» типа S используются для получения пены различной кратности и растворов смачивателей при тушении горючих жидкостей, твёрдых горючих материалов, волокнистых и тлеющих веществ, для

защиты строительных конструкций, технологических аппаратов и хранящихся материалов от воздействия тепловых потоков.

Модификации «Аквафом» по объёмной концентрации пенообразователя в рабочем растворе и температуре застывания:

– 1% с температурой застывания от не выше минус 3 °С до не выше минус 15 °С;

– 3% с температурами застывания в диапазоне от не выше минус 3 °С до не выше минус 50 °С;

– 6% с температурами застывания в диапазоне от не выше минус 3 °С до не выше минус 50 °С.

Для создания программы апробации модификаций пенообразователя «Аквафом» с заданными характеристиками, необходимо разработать таблицу, в которой будут структурированы мероприятия, исполнители, а также критерии выполнения.

Таблица 4 – Программа апробации модификаций пенообразователя «Аквафом»

Мероприятия	Исполнитель	Критерии
Подготовка образцов пенообразователей 1%, 3%, 6%	Лаборатория химии	Образцы должны соответствовать заданным концентрациям.
Проведение тестов на температуре застывания для 1% пены	Научно-исследовательская группа	Температура застывания должна быть в пределах от -3 °С до -15 °С.
Проведение тестов на температуре застывания для 3% пены	Научно-исследовательская группа	Температура застывания должна быть в диапазоне от -3 °С до -50 °С.
Проведение тестов на температуре застывания для 6% пены	Научно-исследовательская группа	Температура застывания должна быть в диапазоне от -3 °С до -50 °С.
Анализ результатов тестов	Лаборатория аналитики	Доклад о результатах, соответствующих критериям застывания.
Подготовка отчета по апробации	Проектная группа	Отчет должен включать все результаты испытаний.
Проектирование рекомендаций по использованию	Команда предложения	Рекомендации должны основываться на полученных данных о пенообразователе.

Таким образом, подготовка образцов является важным первичным шагом, определяющим успешность дальнейших испытаний, проведение тестов на температуры застывания обусловлено тем, что каждая концентрация требует отдельных испытаний, что позволит оценить их эффективность.

Анализ результатов тестов определяет успешность прохождения требуемых критериев, кроме того, подготовка отчета необходима для документирования результатов и анализа данных.

Проектирование рекомендаций основывается на фактических данных о работе пенообразователя для последующего использования в реальных ситуациях.

Внедрение пенообразователей на основе биоразлагаемых компонентов приводит к значительному сокращению времени тушения пожаров и снижению затрат на очистку после них.

Таким образом, внедрение таких пенообразователей является выгодным и эффективным решением для пожарных частей.

3.2 Анализ и оценка эффективности внедрения предлагаемых огнетушащих пенных составов и рекомендаций по их применению

Применение биоразлагаемых пенных огнетушащих составов может не только повысить эффективность тушения пожаров, но также способствовать защите окружающей среды и улучшению здоровья населения.

Тем не менее, для достижения максимальной эффективности необходимо проводить всесторонние исследования и обеспечивать грамотное внедрение данных технологий.

Разработанный план финансового обеспечения представлен в таблице 5.

Таблица 5 – План финансового обеспечения мероприятия

Наименование мероприятия	Основание	Стоимость, руб.	Срок реализации	Ответственный
Внедрение использования синтетического углеводородного пенообразователя целевого назначения «Аквафом» типа s	Внедрение огнетушащих пенных составов, направленных для улучшения условий труда и эффективности пожаротушения на 2025 г.	201 450	4 кв. 2025 г.	Главный инженер

Смета расходов на мероприятие представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Смета расходов на мероприятие

Наименование рабочей зоны	Стоимость, руб.
Стоимость пены, руб.	171 450
Стоимость доставки, руб.	30 000
Итого, руб.	201 450

Экономический эффект:

$$\mathcal{E}_g = Y - Z \quad (1)$$

где « \mathcal{E}_g – годовой экономический эффект, руб.;

Y – величина потерь организации при пожаре, руб.;

Z – затраты на реализацию мероприятия, руб» [3].

$$\mathcal{E}_g = 450000 - 201450 = 248550 \text{ руб.}$$

Итак, предварительно экономический эффект является положительным значением. Экономическая эффективность мероприятия:

$$\mathcal{E}_g = \frac{Y}{Z} \quad (2)$$

где « \mathcal{E}_g – годовой экономический эффект, руб.;

У – величина потерь организации при пожаре, руб.;

З – затраты на реализацию мероприятия, руб» [3].

$$\mathcal{E}_z = \frac{450000}{201450} = 2,23$$

Данные, которые были использованы для последующего расчета представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Исходные данные для расчета эффективности

Наименование показателя	Условное обозначение	Единица измерения	Данные	
			Базовый вариант	Проектный вариант
«Годовая среднесписочная численность работников» [1].	ССЧ	чел.	114	114
«Число пострадавших от несчастных случаев на производстве» [1].	Чнс	чел.	4	1
«Количество дней нетрудоспособности в связи с несчастными случаями» [1].	Днс	дн	51	14
«Ставка рабочего» [1].	Т _{чс}	руб/час	120	120
«Коэффициент доплат» [1].	<i>k_{допл.}</i>	%	0,3	0,3
«Продолжительность рабочей смены» [1].	Т	час	8	8
«Количество рабочих смен» [1].	S	шт	22	22
«Коэффициент материальных затрат в связи с несчастным случаем» [1].	μ	-	1,5	1,5
«Единовременные затраты» [1].	Зед	руб.	52200	24500

Чистый экономический эффект:

$$ЧЭЭ = \sum \mathcal{E}_t - Z_t, \quad (3)$$

где « \mathcal{E}_t – результаты, достигнутые на t-ом шаге расчета;

Z_t – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения» [3].

Чистый дисконтированный доход:

$$ЧДД = \sum_{i=0}^T (\mathcal{E}_i - \mathcal{Z}_i + A_i) \frac{1}{(1+E)^i} \quad (4)$$

где « \mathcal{E}_i – результаты, достигнутые на i -ом шаге расчета;

\mathcal{Z}_i – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения» [3].

Срок окупаемости:

$$T_{ок} = T - \frac{ЧДД_T}{ЧДД_{T+1} - ЧДД_T}, \quad (5)$$

где «ЧДД – чистый дисконтированный доход» [3].

Индекс доходности:

$$ИД = \frac{\sum_{i=0}^T (\mathcal{E}_i + A_i)(1+E)^{T-i}}{\sum_{i=0}^T K_i (1+E)^{T-i}}, \quad (6)$$

где « \mathcal{E}_i – результаты, достигнутые на i -ом шаге расчета» [3].

Результаты расчет экономической эффективности предлагаемого мероприятия представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Интегральные показатели эффективности мероприятия

Наименование показателей	Значение показателей по годам, руб.				
	1	2	3	4	5
«Капитальные вложения» [1].	201 450	0	0	0	0
Наименование показателей	1	2	3	4	5
«Ежегодные затраты» [1].	-	12500	12500	12500	12500
Амортизация	-	2500	2500	2500	2500
Эффект	248550	248550	248550	248550	248550
ЧЭЭ	47100	236050	236050	236050	236050
ЧДД с нарастающим итогом	37680	190840	190840	190840	190840
Срок окупаемости	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Индекс доходности	1,27				

Выводы по третьему разделу

В исследовании определено, что инновационный синтетический углеводородный пенообразователь общего назначения типа S представляет собой одно из наиболее эффективных и универсальных решений для борьбы с пожарами. Его преимущества, такие как высокая производительность, устойчивость к высоким температурам и безопасность, делают его идеальным выбором для различных отраслей.

Пенообразователи «Аквафом» типа S используются для получения пены различной кратности и растворов смачивателей при тушении горючих жидкостей, твёрдых горючих материалов, волокнистых и тлеющих веществ, для защиты строительных конструкций, технологических аппаратов и хранящихся материалов от воздействия тепловых потоков.

Эффективность внедрения синтетического углеводородного пенообразователя целевого назначения «Аквафом» типа S определена повышением эффективности пожаротушения, поскольку пенообразователь «Аквафом» типа S обеспечивает быстрое распределение и отличную адгезию к горючим поверхностям, что способствует образованию защитного слоя пены.

Кроме того, данный пенообразователь может выдерживать высокие температуры, что увеличивает его эффективность при тушении сложных классов пожаров, включая пожары классов А (твёрдые вещества), В (жидкости) и С (газ).

Использование «Аквафом» позволяет снизить потребление воды при тушении, так как пена эффективно изолирует огонь и препятствует его распространению. Оптимизация расхода: благодаря высокой эффективности пенообразования, меньшие объёмы продукта способны защищать большие площади, что в свою очередь ведёт к снижению финансовых затрат на материалы.

«Аквафом» типа S разлагается в окружающей среде и не наносит вреда экосистемам после применения, что соответствует современным экологическим стандартам и требованиям по охране окружающей среды. Низкая токсичность:

пенообразователь безопасен для здоровья людей и животных, что важно в контексте применения на объектах с массовым скоплением людей.

Упрощенная эксплуатация направлена на сокращение требования, предъявляемого к специальному оборудованию.

Внедрение пенообразователей на основе биоразлагаемых компонентов приводит к значительному сокращению времени тушения пожаров и снижению затрат на очистку после них. Таким образом, внедрение таких пенообразователей является выгодным и эффективным решением для пожарных частей.

Посредством повышенного уровня безопасности снижен риск повторного возгорания. Пена «Аквафом» предотвращает доступ кислорода к источнику тления, который влияет как на скорость, так и на контроль самого процесса тушения.

Пена «Аквафом» направлена на экономию финансовых ресурсов, а также на обеспечение высокой степени защиты окружающей среды.

Предлагаемый пенообразователь при затратах равных 201450 руб. сможет получить чистый экономический эффект в размере 236050 руб. на пятый год.

Заключение

Выбранная тема магистерской диссертации: «Исследование инновационных огнетушащих пенных составов и разработка рекомендаций по их применению».

При выборе пенного состава необходимо придерживаться правильного выбора, учитывая риски возникновения пожарных ситуаций.

В исследовании определены такие способы, как: комбинированный, генерации пены компрессионным способом, использование мобильных огнетушителей, правильный выбор пенного состава является основополагающим в системе пожарной безопасности.

В исследовании определено, что инновационные огнетушащие пенные составы продолжают развиваться, сочетая в себе улучшенные характеристики тушения с учетом экологической безопасности.

Новые технологии направлены на создание более эффективных, безопасных и экологически чистых решений для борьбы с пожарами в различных сферах использования. Инновационные огнетушащие пенные составы представляют собой результат множества научных исследований и разработок, направленных на повышение эффективности пожаротушения и уменьшение негативного влияния на окружающую среду. Применение таких составов позволяет решать сложные задачи, связанные с различными типами пожаров и общими требованиями к безопасности. Постоянное развитие технологий и внедрение новых компонентов обеспечивают надежность и эффективность таких передовых пенных средств. В исследовании определено, что инновационные огнетушащие пенные составы продолжают развиваться, сочетая в себе улучшенные характеристики тушения с учетом экологической безопасности. Современные составы часто обладают многофункциональными свойствами, позволяя эффективно тушить не только углеводороды, но и другие типы пожаров (например, металлы или жидкости с высоким температурным уровнем). Это расширяет диапазон их применения и делает их более универсальными. В

зависимости от типа пожара и условий окружающей среды важно учитывать специфику каждого материала и места возможного пожара, чтобы выбрать наиболее подходящее средство и метод его применения. Это позволит значительно повысить уровень безопасности как при предотвращении возникновения огненных ситуаций, так и в процессе их ликвидации. Для обеспечения безопасности необходимо комплексное понимание потенциально опасных ситуаций и вариантов их развития. Это позволяет не только эффективно реагировать на ситуации, но и контролировать и предотвращать их, минимизируя риски для людей и окружающей среды.

В исследовании определено, что инновационный синтетический углеводородный пенообразователь общего назначения типа S представляет собой одно из наиболее эффективных и универсальных решений для борьбы с пожарами. Его преимущества, такие как высокая производительность, устойчивость к высоким температурам и безопасность, делают его идеальным выбором для различных отраслей.

Пенообразователи «Аквафом» типа S используются для получения пены различной кратности и растворов смачивателей при тушении горючих жидкостей, твёрдых горючих материалов, волокнистых и тлеющих веществ, для защиты строительных конструкций, технологических аппаратов и хранящихся материалов от воздействия тепловых потоков.

Эффективность внедрения синтетического углеводородного пенообразователя целевого назначения «Аквафом» типа S определена повышением эффективности пожаротушения, поскольку пенообразователь «Аквафом» типа S обеспечивает быстрое распределение и отличную адгезию к горючим поверхностям, что способствует образованию защитного слоя пены.

Кроме того, данный пенообразователь может выдерживать высокие температуры, что увеличивает его эффективность при тушении сложных классов пожаров, включая пожары классов А (твёрдые вещества), В (жидкости) и С (газ).

Использование «Аквафом» позволяет снизить потребление воды при тушении, так как пена эффективно изолирует огонь и препятствует его

распространению. Оптимизация расхода: благодаря высокой эффективности пенообразования, меньшие объемы продукта способны защищать большие площади, что в свою очередь ведет к снижению финансовых затрат на материалы.

«Аквафом» типа S разлагается в окружающей среде и не наносит вреда экосистемам после применения, что соответствует современным экологическим стандартам и требованиям по охране окружающей среды. Низкая токсичность: пенообразователь безопасен для здоровья людей и животных, что важно в контексте применения на объектах с массовым скоплением людей.

Упрощенная эксплуатация направлена на сокращение требования, предъявляемого к специальному оборудованию.

Внедрение пенообразователей на основе биоразлагаемых компонентов приводит к значительному сокращению времени тушения пожаров и снижению затрат на очистку после них. Таким образом, внедрение таких пенообразователей является выгодным и эффективным решением для пожарных частей.

Посредством повышенного уровня безопасности снижен риск повторного возгорания. Пена «Аквафом» предотвращает доступ кислорода к источнику тления, который влияет как на скорость, так и на контроль самого процесса тушения.

Пена «Аквафом» направлена на экономию финансовых ресурсов, а также на обеспечение высокой степени защиты окружающей среды.

Предлагаемый пенообразователь при затратах равных 201450 руб. сможет получить чистый экономический эффект в размере 236050 руб. на пятый год.

Список используемых источников

1. Андреев А. П., Герасимова И. С. Пенообразующие составы для тушения, изоляции и дегазации проливов экологически опасных веществ // Пожаровзрывобезопасность. 2021. № 6. – 89 с.
2. Бочаров В.В., Раевская М.В. Пенообразователи для тушения пожаров на основе перфторированных ПАВ. Оценка их биоразлагаемости и возможных методов утилизации // Вестник российских университетов. Математика. 2014. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/penoobrazovateli-dlya-tusheniya-pozharov-na-osnove-perftorirovannyh-pav-otsenka-ih-biorazlagaemosti-i-vozmozhnyh-metodov-utilizatsii> (дата обращения: 04.11.2024).
3. Богданова В.В., Тихонов М.М., Мамедов А.М. Быстротвердеющие полимерные пены для ограничения распространения и тушения пожаров [Электронный ресурс]// Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2016. №2 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bystrotverdeyuschie-polimernye-peny-dlya-ogranicheniya-rasprostraneniya-i-tusheniya-pozharov> (дата обращения: 04.11.2024).
4. Безопасность жизнедеятельности: учеб.-метод. пособие для выполнения раздела «Безопасность и экологичность» выпускной квалификационной работы [Электронный ресурс] / сост. : Е. В. Мусияченко, А. Н. Минкин. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2022. С.89.
5. Безопасность жизнедеятельности / под редакцией д-ра экон. наук, проф. С. Г. Плещица. Часть 1: Учебное пособие.- СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2024-123с.
6. Воевода С. С., Корольченко Д. А., Макаров С. А. Обзор зарубежной литературы по моделированию процесса тушения нефтепродуктов пенами // Пожаровзрывобезопасность. 2019. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-zarubezhnoy-literatury-po-modelirovaniyu-protssessa-tusheniya-nefteproduktov-penami> (дата обращения: 04.11.2024).

7. Василевич Д.В., Лахвич В.В., Миканович Д.С. Перспективные средства тушения пожаров с применением установок подачи огнетушащих веществ высокого давления // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2019. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnyye-sredstva-tusheniya-pozharov-s-primeneniem-ustanovok-podachi-ognetushaschih-veschestv-vysokogo-davleniya> (дата обращения: 26.10.2024).

8. ГОСТ Р 50588-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 14.05.2012 № 66-ст) // М.: Стандартинформ, 2012.

9. Гусаков А. Н. Использование и перспективы развития автомобилей пенного тушения // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2021. №1 (7). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-i-perspektivy-razvitiya-avtomobiley-pennogo-tusheniya> (дата обращения: 26.10.2024).

10. Дергаль, П. П. Противопожарная безопасность вчера, сегодня и завтра / П. П. Дергаль, А. Е. Фёдорова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. - 2022- № 11.2 (145.2). – С. 55-58. – URL: <https://moluch.ru/archive/145/40611/> (дата обращения: 24.03.2024).

11. Дербин, Е.А. Организационные основы обеспечения информационной безопасности предприятия: учебное пособие / Е.А. Дербин, С.М. Климов. – М.: Финансовый университет, 2023 – 266 с.

12. Деденко М. М. О результатах исследования пенообразующих составов для получения быстротвердеющей пены на основе биологически мягких пенообразователей // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2022. №3 (62). С.9-12.

13. Иванов Е.Н. Противопожарные требования к водопроводным сетям за рубежом [Текст]. ЦНИИПО. Зарубежная техника. Изд. МКХ, 2012. С.90.

14. Иванов Е.Н., Васильев А.Д., Фатеев В.П. Качество пожарных гидрантов [Текст]. В кн.: Пожарная техника. М., ВНИИПО, 2020, с. I0I-II0.

15. Жуйков Д. А., Старков Н. Н., Триполицын А. А. Повышение эффективности применения мобильных средств пожаротушения с использованием компрессионной пены для обеспечения пожарной безопасности объектов военной инфраструктуры и воинских подразделений // Военный инженер. 2019. №3 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-primeneniya-mobilnyh-sredstv-pozharotusheniya-s-ispolzovaniem-kompressionnoy-peny-dlya-obespecheniya> (дата обращения: 26.10.2024).

16. За 12 месяцев 2023 года в Североуральском округе произошло 69 пожаров. 4 - по причине поджога Текст скопирован с сайта [Электронный ресурс] <https://proseverouralsk.info/novosti/za-12-mesyatsev-2023-goda-v-severouralske-i-poselkakh-proizoshlo-64-pozhara-4-po-prichine-podzhoga/>(дата обращения: 12.10.2024).

17. Коленов А. Н. Повышение эффективности пенного пожаротушения в резервуарах // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2012. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-pennogo-pozharotusheniya-v-rezervuarah> (дата обращения: 26.10.2024).

18. Корольченко Д.А. Анализ огнетушащей эффективности пен низкой кратности, полученных из фторсодержащих и углеводородных пенообразователей // Пожары и ЧС. 2016. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ognetushaschey-effektivnosti-pen-nizkoj-kratnosti-poluchennyh-iz-ftorsoderzhaschih-i-uglevodorodnyh-penoobrazovateley> (дата обращения: 26.10.2024).

19. Корольченко А. Я., Шилина Е. Н. Газовое пожаротушение // Пожаровзрывобезопасность. 2016. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gazovoe-pozharotushenie> (дата обращения: 26.10.2024).

20. Калач А. В., Гусаков А. Н., Шарапов С. В. К вопросу о совершенствовании технологии и техники пенного пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. 2017. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-sovershenstvovanii-tehnologii-i-tehniki-pennogo-pozharotusheniya> (дата обращения: 26.10.2024).

21. Какой пенообразователь для пожаротушения лучше выбрать? // URL: <https://ivhameleon.ru/information/kakoy-penoobrazovatel-dlya-pozharotusheniya-luchshe-vybrat/> (дата обращения: 12.10.2024).

22. Кректунов А. А., Платонов Е. Ю., Торопов С. В., Хабибуллин А. Ф. Использование компрессионной пены при тушении лесных пожаров // АОН. 2016. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kompressionnoy-peny-pri-tushenii-lesnyh-pozharov> (дата обращения: 26.10.2024).

23. Копылов Н.П., Копылов С.Н., Карпов А.В., Федоткин Д.В., Сушкина Е.Ю.. Теоретическое и экспериментальное исследование пожаров в крупных топливных резервуарах и создание инновационной технологии их тушения // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2022. №76. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskoe-i-eksperimentalnoe-issledovanie-pozharov-v-krupnyh-toplivnyh-rezervuarah-i-sozдание-innovatsionnoy-tehnologii-ih> (дата обращения: 26.10.2024).

24. Лебедева Н.Ш., Таратанов Н.А. Исследование физических и огнетушащих свойств пен с целевыми добавками // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. №4 (41). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-fizicheskikh-i-ognetushaschih-svoystv-pen-s-tselevymi-dobavkami> (дата обращения: 04.11.2024).

25. Навроцкий О. Д., Заневская Ю. В., Емельянов В. К., Камлюк А. Н., Карпенчук И. В., Грачулин А. В. Пеногенерирующие системы со сжатым воздухом - средство пенного пожаротушения нового поколения // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2022. №1 (15). URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/penogeneriruyuschie-sistemy-so-szhatym-](https://cyberleninka.ru/article/n/penogeneriruyuschie-sistemy-so-szhatym-vozduhom)

vozduhom-sredstvo-pennogo-pozharotusheniya-novogo-pokoleniya (дата обращения: 26.10.2024).

26. Никитин, А. В. Современные технологии, применяемые при тушении пожаров в гарнизоне пожарной охраны г. Томска / А. В. Никитин. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2024. – № 7 (506). – С. 254-261. – URL: <https://moluch.ru/archive/506/111381/> (дата обращения: 04.11.2024).

27. Официальный сайт Администрации СГО [Электронный ресурс]// URL: <https://dumaseverouralsk.ru> (дата обращения: 12.10.2024).

28. Пожар в Североуральском городском округе [Электронный ресурс] // URL: <https://66.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/operativnaya-informaciya/5288843> (дата обращения: 12.10.2024).

29. Преснов А. И., Данилевич А. В. Системы пенного тушения пожарных автомобилей. Новые технологии, проблемные вопросы, перспективы // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2015. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-pennogo-tusheniya-pozharnyh-avtomobiley-novye-tehnologii-problemnye-voprosy-perspektivy> (дата обращения: 26.10.2024).

30. Преснов А. И., Печурин А. А., Данилевич А. В. Оборудование пенного тушения насосных установок пожарных автомобилей: состояние, инновации, проблемы, технические решения // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2020. №1. С.9-12.

31. Потеряев Ю.К., Мироньчев А.В., Ощепков А.М. Сравнение эффективности компрессионной пены и пены низкой кратности AFFF // Пожары и ЧС. 2023. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-effektivnosti-kompressionnoy-peny-i-peny-nizkoj-kratnosti-afff> (дата обращения: 26.10.2024).

32. Перица, А. И. Современные технологии пожаротушения / А. И. Перица, Б. Д. Байгасов. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2021. – № 42 (384). – С. 222–226.

33. Пожарная автоцистерна АЦ 2,0–40/2 на шасси ISUZU HQR75P [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://fireman.club/> (дата обращения: 10.02.2024 г.)

34. Пожарные машины Пожснаб ПСА 6,0–10,0 (IVECO Trakker) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://specavto.ru/> (дата обращения: 03.02.2024 г.)

35. Пожар с гибелью в городе Североуральск // URL: <https://adm-severouralsk.ru/govinfo/15otrad/> (дата обращения: 12.10.2024).

36. Состав пены для тушения пожаров // URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/penoobrazovately-i-poverkhnostno-aktivnye-veshhestva-dlya-tusheniya-pozharov/> (дата обращения: 12.10.2024).

37. Сергеев В.Т., Дмитрий Ю.П., Пустовалова Н.С. Организация подачи (транспортировки) огнетушащих веществ на тушение пожаров способом перекачки // Пожары и ЧС. 2024. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-podachi-transportirovki-ognetushaschih-veschestv-na-tushenie-pozharov-sposobom-perekachki> (дата обращения: 26.10.2024).

38. Типы пенообразователей для пожаротушения // URL: <https://www.spena.ru/articles/typy-penoobrazovately/> (дата обращения: 12.10.2024).

39. Тощев Н. А., Андреев А. П., Воевода С. С., Герасимова И. Н. Механизм тушения пеной горючих жидкостей, воспламеняющихся при контакте с водой // Пожаровзрывобезопасность. – 2022. – №2. – С.89-92.

40. Тайсумов Х. А. Пенообразующий состав термостойкой пены на основе хмеля // Пожаровзрывобезопасность. 2012. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/penoobrazuyuschiy-sostav-termostoykoj-peny-na-osnove-hmelya> (дата обращения: 04.11.2024).

41. Хиль Е. И., Саутиев М. И., Шароварников А. Ф., Бастриков Д. Л. Сравнительная огнетушащая эффективность углеводородных и фторсодержащих пенообразователей // Пожаровзрывобезопасность. 2015. №2.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-ognetushaschaya-effektivnost-uglevodorodnyh-i-ftorsoderzhaschih-penoobrazovateley> (дата обращения: 26.10.2024).

42. Яковенко Ю Ф., Яковенко К Ю. Тенденции развития современных пожарных автомобилей пенного тушения // Пожаровзрывобезопасность. 2023. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-sovremennyh-pozharnyh-avtomobiley-pennogo-tusheniya> (дата обращения: 26.10.2024).

43. Bittner A., Ballard J. The Economic Impact of Fire Damage on Wyoming's // A Regional Economic Models. 2020. Vol. 4. Pp. 6-19.

44. Cochrane H. The Economic Consequences of the Northridge Earthquake // Environmental Health Perspectives. 2020. Vol. 14. Pp. 158-175.

45. Faingloz L. Simulation Modelling Application in Real-time Service Systems // Transport and Telecommunication Institute. 2017. №17. P. 200–205.

46. Hsu W. Central Place Theory and City Size Distribution// The Economic Journal. 2019. Vol. 122. Pp. 903-932.

47. Meacham B. J., Charters D., Johnson P., Salisbury M. Building Fire Risk Analysis. // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 2021. Vol. 4. Pp. 28-35.

48. Natural Catastrophes and man-made Disasters in 2017: A year of record-breaking losses // Sigma. 2018. Vol. 1. Pp. 1-27.

49. Roy F., Ferland Y. Land-use planning for disaster risk management // Land Tenure Journal. 2020. Vol. 1. Pp. 70-103.

50. World Fire Statistics // Официальный сайт Центра пожарной статистики. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ctif.org/world-fire-statistics> (дата обращения 06.11.2023).