

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) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКА ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Применение технологии бесконтактного электротушения пожара на объектах
нефтегазовой промышленности

Обучающийся

М.А. Балушкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н, доцент Н.Г. Яговкин

(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)

Содержание

Введение.....	3
Термины и определения	8
Перечень сокращений и обозначений	9
1 Технологии, применяемые при тушении пожаров на объектах нефтегазовой промышленности.....	10
1.1 Способы тушения, применяемые на объектах нефтегазовой промышленности.....	10
1.2 Методы организации тушения пожаров нефтепродуктов.....	27
2 Исследование и реализация существующих технологий электротушения.....	32
2.1 Показатели оценки функционирования систем электротушения, их достоинства и недостатки.....	32
2.2 Эффективность и рамки применения бесконтактного электротушения.....	42
3 Опытнo-экспериментальная апробация предлагаемых способов и средств электротушения.....	51
3.1 Разработка процедур, повышающих эффективность электротушения.....	51
3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых способов и средств электротушения.....	58
Заключение.....	66
Список используемых источников.....	69

Введение

За последние десятилетия возросла роль обеспечения безопасности на всех уровнях производственного процесса. Это, пожарная и промышленная безопасности, система охраны труда, безопасность технологических процессов и производств. Все эти направления входят в общее понятие техносферной безопасности.

Объекты нефтегазовой промышленности – одни из самых опасных при возникновении на их территории аварийных ситуаций, в том числе пожаров. Таким образом, автоматически объекты нефтегазового комплекса являются потенциально-опасными. Это обусловлено сложностью технологического процесса, многозадачностью операций, характером и количеством обращающихся веществ (газ, нефтепродукты).

Аварии на объектах нефтегазового комплекса следует рассматривать, как опасные явления, сопровождающиеся образованием горючей среды на огромной площади. Таким образом, это пожароопасная зона со взрывоопасной смесью в условиях технологического процесса. Отягчающим фактором является условие изменения давления, температуры. Все эти факторы могут негативно сказаться на функционирование городской инфраструктуры. Пожар, взрыв, нарушение технологического процесса, приведшие к аварии – все это необходимо рассмотреть.

Пожары на предприятиях нефтегазового комплекса происходят не так часто в силу обеспеченности процесса, тем не менее, при возникновении проходят не бесследно. Таким образом, актуальным вопросом является определение тактических методов и способов тушения объектов нефтегазового комплекса. Конкретным примером, требующим изучения, является способ бесконтактного электротушения.

«Применяемые средства тушения пожаров (вода, пена и т.д.) не всегда позволяют эффективно бороться с пожарами, особенно с теми, которые имеют большую площадь горения и большую интенсивность. Чтобы решить

данную проблему, необходимо создавать принципиально новые технологии тушения пожаров» [1].

В данном диссертационном исследовании определены возможности тушения электрическим полем высокой напряженности, что кажется невероятным даже в наше время (поскольку практический опыт таких методов минимален).

Актуальность и научная значимость настоящего исследования состоит в:

- малой изученности и необходимости детальной проработки использования методов электротушения;
- возможном определении такого необычного способа тушения, результат которого превосходит все ныне существующие и практикуемые средства тушения;
- необходимости совершенствования способов тушения пожаров нефтепродуктов [37].

Объект - технические средства, пути и методы решения.

Предмет - система бесконтактного тушения.

Целью диссертационной работы является разработка методов бесконтактного электротушения пожара на объектах нефтегазовой промышленности.

Гипотеза исследования состоит в том, что можно разработать процедуры, повышающие эффективность электротушения, если:

- определить все теоретические основы этой реализации;
- подобрать показатели и характеристики согласно методам электротушения в расчете;
- исследовать апробацию системы.

Для достижения данной цели следует решить следующие задачи исследования:

- провести теоретический обзор о технологиях, применяемых при тушении пожаров на объектах нефтегазовой промышленности;
- исследовать и определить методы реализации существующих технологий электротушения;
- разработать процедуры, повышающие эффективность электротушения.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: федеральные законы, постановления Правительства и другие источники нормативно-правовой документации в сфере пожаротушения, данные о свойствах нефтепродуктов, правоустанавливающие документы о требованиях и нормах пожарной безопасности, основные тактические методы пожарной тактики о тушении пожаров объектов нефтегазового комплекса, рассматриваемые приказами и методическими рекомендациями МЧС России.

Базовыми для настоящего исследования явились также: научные статьи по теме исследования, доклады научных конференций по теме пожаротушения, теоретические сведения о практических мероприятиях (тренировки, учения, отработка действий на объектах нефтехимии).

Для решения указанных задач были использованы следующие методы исследования: аналитический, библиографический, метод от простого к сложному, сравнение, статистический.

Опытно-экспериментальная база исследования – подразделения 31 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России, а также Институт инженерной и экологической безопасности Тольяттинского Государственного Университета.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- совершенствование способов тушения пожаров нефтепродуктов, свойствах материалов [4];

- обобщении данных о электротушении поскольку тема достаточно новая, малоизученная, особенно сотрудниками пожарной охраны;
- разработке методологии тушения электричеством объектов нефтегазовой промышленности;
- предложению по внедрению технических средств и методов электротушения.

Теоретическая значимость исследования заключается в:

- совершенствовании способах тушения пожаров нефтепродуктов, свойствах материалов;
- обобщении данных о электротушении поскольку тема достаточно новая, малоизученная, особенно сотрудниками пожарной охраны;
- разработке методологии тушения электричеством объектов нефтегазовой промышленности;
- предложении по внедрению технических средств и методов электротушения.

Практическая значимость работы заключается в обоснованном применении приведенных методов и средств к тушению пожаров электричеством.

Практическая значимость исследования состоит в описании методов бесконтактного электротушения теоретического исследования в целях практического применения. Кроме того, существует возможность повысить эффективность тушения объектов нефтегазовой отрасли.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

- ссылкой на источники нормативно-правовой документации;
- общими выводами и заключениями авторов научных работ по теме бесконтактного электротушения.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в определении сути электротушения, исследовании методов

реализации и расчете эффективности.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования.

Ее результаты отражены в публикации:

1. Технология бесконтактного электротушения пожара, в том числе на объектах нефтегазовой промышленности [Электронный ресурс] : учебное пособие /М.А. Балушкин, 2022. URL: <https://os-russia.com/SBORNIKI/SN-2022-09-1.pdf> (дата обращения: 03.11.2022).

На защиту выносятся:

- проведенный теоретический обзор о технологиях, применяемых при тушении пожаров на объектах нефтегазовой промышленности;
- исследованные методы реализации существующих технологий электротушения;
- разработанные процедуры, повышающие эффективность электротушения.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, содержит 2 рисунка, 4 таблицы, список использованной литературы (41 источник). Основной текст работы изложен на 74 страницах.

Термины и определения

«Зона пожара – территория, на которой существует угроза причинения вреда жизни и здоровью граждан, имуществу физических и юридических лиц в результате воздействия опасных факторов пожара и (или) осуществляются действия по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожара» [8].

«Объект защиты – продукция, в том числе имущество граждан или юридических лиц, государственное или муниципальное имущество (включая объекты, расположенные на территориях поселений, а также здания, сооружения, транспортные средства, технологические установки, оборудование, агрегаты, изделия и иное имущество), к которой установлены или должны быть установлены требования пожарной безопасности для предотвращения пожара и защиты людей при пожаре» [22].

«Локализация пожара – действия, направленные на предотвращение возможности дальнейшего распространения горения и создание условий для его ликвидации имеющимися силами и средствами» [9].

«Пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства» [8].

«Пожарная опасность объекта защиты – состояние объекта защиты, характеризующееся возможностью возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и имущество опасных факторов пожара» [21].

«Тушение пожаров – действия, направленные на спасение людей, имущества и ликвидацию пожаров. Тушение пожаров осуществляется в соответствии с настоящим Боевым уставом с учетом специфики зданий (сооружений), в которых произошел пожар» [10].

Перечень сокращений и обозначений

АПС – автоматическая система пожарной сигнализации

АУПТ – автоматическая система пожаротушения

АСР – аварийно-спасательные работы

ВМП – воздушно-механическая пена

КПД – коэффициент полезного действия

ГЖ – горючая жидкость

ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость

ОВ – огнетушащее вещество

ОТ – охрана труда

ПБ – пожарная безопасность

ПВ – противопожарный водоем

ПГ – пожарный гидрант

ПО – пожарная охрана

СОУЭ – система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре

ТБ – техника безопасности

ЧС – чрезвычайная ситуация

1 Технологии, применяемые при тушении пожаров на объектах нефтегазовой промышленности

1.1 Способы тушения, применяемые на объектах нефтегазовой промышленности

Развитие техносферного пространства определенно негативно сказывается на повышенном обеспечении безопасности: пожарной, промышленной, охраны труда и других смежных отраслей. Объекты нефтегазовой промышленности занимают особую нишу в обеспечении пожарной безопасности, поскольку защита таких объектов строится на узкоспециализированном применении огнетушащих веществ, отличных от воды, а это уже проблематичная сторона вопроса. Кроме того, это опасность воздействия опасных факторов в результате возникновения пожара на таких объектах.

Перед исследованием способов тушения пожаров на объектах нефтегазовой отрасли, необходимо описать свойства веществ и материалов, обращающихся на рассматриваемых объектах.

Нефтепродукты представляют собой вещества, состоящие из смеси углеводородов. Это различные виды топлива (бензин, керосин, дизельное топливо, смазочные материалы, нефтехимическое сырье, растворители). Процесс получения нефтепродуктов связан с перегонкой нефти при различных температурах, в зависимости от этого происходит отделение необходимых веществ в парообразном агрегатном состоянии.

Итак, первое, определим основные опасные параметры веществ, которые определяют потенциальную опасность самих объектов нефтегазового комплекса.

Основные опасные и вредные химические факторы нефтепродуктов и их паров:

- высокая токсичность вещества, относят к категории сильно-отравляющих;
- огнеопасные свойства, присущие ЛВЖ (вещества с температурой вспышки до 61°C) и ГЖ (вещества с температурой вспышки соответственно выше 61°C);
- невозможность тушения водой, поскольку нерастворима в воде;
- возникновение гетерогенного слоя в глубине прогрева при пожаре;
- высокая скорость выгорания;
- опасность выброса опасных веществ при горении в атмосферу, почву и гидросферу принята как чрезвычайно-опасная;
- при полном сгорании наблюдается выделение окислов металлов (кремния, кальция), а также оксиды углерода, водорода, сероводорода, синильная кислота, формальдегиды;
- опасность влияния паров нефти в условиях технологического процесса (давление на стенки сосуда/резервуара, не до конца заполненные емкости, концентрация паров и совокупность этих факторов приводят к взрыву);
- тем не менее сам нефтепродукт не относится к взрывоопасным, наибольшую опасность представляют пары нефтепродукта;
- риск возникновения статического электричества (трения вещества о трубы, воздух, стенки резервуаров);
- способность светлых нефтепродуктов к испарению за счёт большого количества в составе нефти испаряющихся углеводородов;
- высокая вязкость паров при низких температурах (фактор в пожароопасном смысле не отягчающий).

Далее, поскольку в рамках темы рассматривается категория предприятий нефтегазового комплекса, определим основные сведения о газах.

«Углеводородные газы находят применение при производстве пластмасс, синтетических каучуков, химических волокон. К таким газам можно отнести метан, этан, пропан, бутан, этилен, ацетилен. Водород, хлористый водород, оксид углерода и другие широко используются при получении продуктов органического синтеза. Аммиак применяется в холодильной технике, при производстве удобрений» [17].

Промышленные газы, в частности, бутан и пропан используют в быту.

Основные опасные и вредные факторы газа в условиях функционирования объектов газораспределения:

- концентрационные пределы воспламенения (горение смеси газа с воздухом возможно в определенных пределах);
- энергия воспламенения (характеризуется минимальной энергией искры электрического разряда, воспламеняющей данную газоздушную смесь, которая зависит от природы газа и концентрации);
- энергия и температура горения (описывается температурой продуктов при сгорании смеси без учета тепловых потерь, колеблется от 1600°С до 2000 °С);
- нормальная скорость распространения пламени (зависит от природы газа и его концентрации в смеси, колеблется в пределах 0,3 - 0,8 м/с);
- нормальная скорость распространения пламени (зависит от природы газа и концентрации его в смеси, варьируется в пределах 0,3 - 0,8 м/с.).

Деформация и повреждение газопроводов низкого давления рассматривается как аварийная ситуация, где наблюдается образование горючей среды с большим количеством газа. Эта зона является пожароопасной, она может простираться на большие расстояния. Параметрами, от которых зависит концентрация и условия пожарной

опасности зоны являются диаметр газопровода, данные метеорологической обстановки, а также рельеф местности. При внесении в зону источника зажигания происходит взрыв паровоздушной смеси.

Далее сформулируем условия недопущения аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса.

Параметры устойчивого равновесия по недопущению аварийной ситуации на объектах нефтегазовой промышленности:

- соблюдение герметичности емкостей и резервуаров с нефтепродуктом во избежание аварийной ситуации и ухудшения свойств технологического вещества на всех стадиях от транспортировки до хранения;
- контроль над температурой вспышки паров на риск возникновения аварийных ситуаций – самый низкий предел температуры, при котором смесь паров с воздухом при наличии источника зажигания вспыхивает и затем затухает [38];
- недопущение нагрева нефтепродукта, поскольку согласно свойствам ЛВЖ, ГЖ возможен физико-химический процесс горения;
- организация технических средств и устройств, представляющих собой электрически непрерывную заземленную цепь;
- отсутствие так называемого источников зажигания, окислителя, горючего вещества в совокупности;
- установка предохранительных клапанов;
- устройство автоматического пожаротушения (порошковое).

В связи с вышеуказанными параметрами необходимо отметить разделение нефтепродуктов на классы по температуре вспышки, где бензины и лигроины (I - температура до 28°), керосины (II - 28°-45°), мазуты (III - 45°-120°), масла, битумы (IV - свыше 120°). Таким образом, выходит, что первые две вышеуказанные группы – бензины и керосины относят к ЛВЖ, а остальные мазуты и битумы – к ГЖ.

Параметры устойчивого равновесия по недопущению аварийной ситуации на объектах газораспределения:

- контроль концентрации газа с окислителем выше предела воспламенения;
- контроль давления газа, в том числе посредством установки автоматических устройств контроля регуляции давления газа;
- наличие средств автоматического отключения по прекращению подачи газа;
- использование флегматизирующих добавок в технологическом процессе, которые способны снижать чувствительность ко внешним воздействиям (удару, трению или искре) [11];
- обязательное условие продувки технологического оборудования, устройств и элементов трубопроводов перед началом работы;
- обязательное условие сохранения рабочих параметров среды технологического процесса (технологический контроль, режим);
- организация системы приточной и аварийной вентиляции;
- организация системы контроля газовой смеси – газоанализаторов;
- устройство предохранительной арматуры и клапанов;
- внедрение системы АУПТ;
- устройство источников заземления.

«Тушение пожаров на газопроводах представляет собой сложный процесс, который занимает продолжительное время. Кроме того, газопроводы низкого давления имеют развитую сеть и могут располагаться в жилых, административных, общественных и складских зданиях. В зависимости от места расположения газопровода пожар может привести к значительному социальному и материальному ущербу. В связи с этим актуальной темой является разработка новых быстродействующих способов тушения пожара на газопроводах, в том числе с применением электрического поля высокой напряженности» [29].

Таким образом, сформулируем особенности предпосылки (причины) развития пожара.

Возникновение и развитие пожара на объектах нефтегазового комплекса зависит от:

- места первоначального возникновения (очага пожара), а также причинах его образования;
- размере очага пожара – месте первоначального возникновения;
- особенностей конструкции (форма, материал, размеры, условия эксплуатации);
- наличия и расположения соседних резервуаров и технологического оборудования (форма, материал, размеры, условия эксплуатации);
- сезонности и метеорологических условий;
- наличия систем АПС, АУПТ, средств противопожарной защиты и предохранительных устройств (дыхательные клапаны, механизмы управления - электродвигатели, запорная арматура, патрубки, люки, понтоны и крыши) [12];
- оснащенности объекта стационарными установками пожаротушения (пенотушение);
- условие наличия пожарной охраны на объекте (как правило, создается частный вид ПО при условии большой мощности техносферного пространства);
- при отсутствии ПО на территории объекта, расстояние до ближайшего пожарного подразделения (по техническому регламенту это время должно составлять не более 10 минут в условиях городской местности; до 20 минут – в сельской местности);
- тактических действий пожарных подразделений и выбора решающего направления – во многом развитие пожара зависит от начальных действий;

– качества профилактических мероприятий на объекте и системе обеспечения пожарной безопасности со стороны руководства объекта и контролирующих органов надзора (органы исполнительной власти РФ, субъектов, муниципальных образований).

«Огонь возникает в результате взаимодействия физических и химических процессов при горении. Наиболее высокотемпературная поверхность пламени находится в поверхностном слое, ограждающем пламя, где протекают окислительно-восстановительные реакции (ОВР), называется фронтом. Во фронте пламени протекают окислительные реакции с выделением продуктов горения и выделением теплоты, а также ионизация продуктов горения. При горении не перемешанной горючей смеси важную роль играют процессы диффузии окислителя, газов и паров в пламени. Интенсивность диффузии кислорода в зону горения определяется его концентрацией внутри пламени и в окружающем воздухе. С уменьшением этой разности концентраций скорость диффузии кислорода уменьшается, и при ее снижении горение прекращается» [20].

Борьба с пожарами – первоочередная задача при обеспечении безопасного функционирования общества, как со стороны органов исполнительной власти, так и со стороны должностных лиц профессиональной пожарной охраны. Между тем, определенно необходимо задуматься над совершенствованием тактической подготовки пожарных. Это обусловлено тем, что развивается техносферное пространство и возрастает риск возникновения крупных пожаров, аварий и ЧС.

Целью тактической подготовки пожарных подразделений является теоретическое и практическое обучение личного состава приемам и тактике тушения в определенных, порой даже стесненных условиях (на высоте, в условиях низких температур, в зданиях сложной планировки, на энергетических объектах и объектах нефтехимии).

Тактическая подготовка – это комплекс методов по тушению пожара, основанный на практическом опыте, теоретических данных и знаниях

классических законов фундаментальных наук. То есть, знания, получаемые в ходе обучения, необходимо грамотно применить в условиях экстремальной обстановки, которая возникает при пожаре.

Таким образом, при помощи грамотно сформированной тактической подготовки, реализуют эффективное тушение пожара в кратчайшие сроки. Появляется вопрос поиска решающего направления в сложившихся условиях (каждый пожар представляет собой отдельный случай, сценарий, особенности и параметры процесса которого неповторимы и едины по происхождению).

Также хотелось бы отметить, что понятие пожарной тактики схоже с терминами «стратегия», «план», «подготовка», «решение».

Тактика основана на активных решительных действиях и правильно выбранном решающем направлении.

Способы тушения пожаров, используемые в настоящее время при ТП в зданиях и сооружениях:

- охлаждение места первоначального возникновения пожара (очага);
- разбавление (удаление твердых веществ);
- химическое торможение при помощи внесения реагентов в очаг пожара, так называемый срыв пламени;
- устройство преград, препятствующих распространению пламени из очага пожара.

Конкретизируем более детально возможность для способов тушения пожаров:

- необходимость прекращения подачи кислорода (окислителя) в пожароопасную среду;
- снижение скорости реакции горения или ее прекращение методом внесения в очаг хладагентов;

- подача водяной струи (также возможно применение тонкораспыленной воды, пенных стволов, углекислоты) в очаг пожара;
- покрытие зоны горения негорючими материалом, полотном, пенным раствором, тем самым прекращая доступ кислорода;
- разбавление веществ в очаге пожара.

Далее проведем обзор и конкретизацию темы методов тушения пожара, выделив особую категорию объектов нефтехимического комплекса.

Основа методов тушения пожаров на объектах нефтехимии – это применение ОТВ, отличных от воды (это, в основном пенообразователь), далее, это обеспечение безвоздушной среды (удаление окислителя – второй компонент так называемого треугольника процесса горения), а также уменьшение концентрации паров нефтепродукта, которые способны к самовоспламенению.

На рисунке 1 приведена схема способов тушения пожара, адаптированная в рамках рассматриваемой темы.

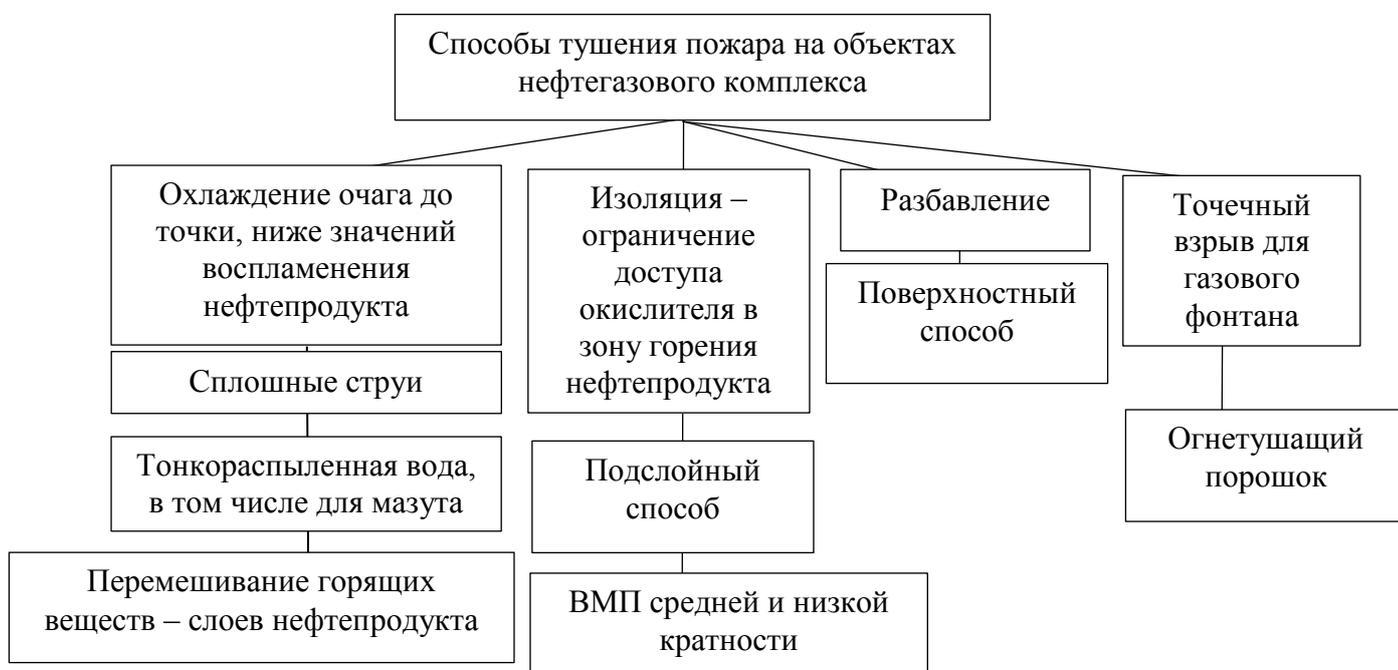


Рисунок 1 - Схема способов тушения пожара на объектах нефтегазового

Таким образом, при совокупности нескольких способов (метод комбинированного действия) мы можем получить необходимый результат при различных условиях горения.

Далее рассмотрим способы тушения пожара с применением (подачей в очаг пожара) огнетушащего вещества изолирующего действия – воздушно-механической пены низкой и средней кратности. Из способов тушения пожара – это разбавление, а также изоляция горящего вещества от окислителя (прекращение подачи кислорода в горящей среде).

При тушении пожаров на объектах нефтехимии, как правило, принято использовать:

- воздушно механическую пену низкой и средней кратности;
- ТРВ только для тушения мазутов;
- сплошные струи воды для охлаждения соседних элементов конструкций, зданий или сооружений;
- порошки для ликвидации сравнительно малых очагов пожара, а также резервуаров с инертными газами;
- перемешивание ГЖ (происходит с наличием пены и воздуха путем смешения слоями из-за разности температуры вспышки этих веществ).

Для подачи ВМП основными условиями и характеристиками выбора являются:

- физико-химические свойства горящего вещества, а также выбранного ОВ;
- условия горения и основные параметры той стадии пожара, которая проходит к моменту пенной атаки.

Действие ВМП основано на изоляции поверхностного слоя нефтепродукта от пламени. Далее снижается скорость испарения жидкости и сокращается уровень концентрации горючей паровоздушной смеси. Но, в условиях реального времени, картина пожара меняется в зависимости от

специфических особенностей (свойства имеющегося нефтепродукта, вид и концентрация ВМП, способ подачи ВМП).

При попадании ВМП на слой горячей жидкости нефтепродукта одновременно происходит ее разрушение от пламени. Происходит экранирование поверхности горящего материала (то есть наблюдается значительное снижение температуры и количества паров горящего слоя).

Таким образом, снижается интенсивность горения и происходит охлаждение нефтепродукта раствором ВМП. Также происходит тепловой массообмен с выравниваем температурного режима на поверхности и в толще, избегая так называемых зон «карманов».

При горении резервуаров с нефтепродуктом подается пенообразователь, как изолирующий слой, таким образом, что через 15 минут температура кипящей жидкости снижается и выравнивается по площади покрытия. Этот показатель времени принимается как расчётный при вычислении необходимого количества пенообразователя (при том, что нормативный запас на тушение принимают в трехкратном размере).

При исследовании расчетных данных горения и растекания ГЖ и ЛВЖ, а также согласно физико-химическим свойствам нефтепродукта выяснено, что жидкость растекаться способна не более, чем на 30 метров.

Поскольку пену подают в нижний пояс РВС, то естественно необходимо использование пенообразователя низкой кратности (состоящий из фторсодержащих добавок) методом подслоного тушения. Фторсодержащие и пленкообразующие пенообразователи обязательно используют при тушении нефтепродуктов из-за того, что пена инертна к углеводородам. При использовании обычного пенообразователя в слой горящего нефтепродукта (при насыщении паров углеводородов) теряется его огнетушащая способность.

Попадая на слой горящего нефтепродукта, быстро происходит изолирование из-за образования саморастекающейся пленки (в растворе

пенообразователя). Также быстрая изоляция связана с различным показателем поверхностного натяжения водной пленки и горячей ЛВЖ.

Далее возникает процесс тепломассообмена, снижается температура в прогревом объеме РВС. Но интенсивные прогретые участки и объемы нефтепродукта приводят к неравномерному образованию так называемых «бурунов» (локальные участки горения в слое горящего нефтепродукта). Чем выше находятся такие участки, тем больше необходимо подать пенообразователя при полном покрытии слоя горящего нефтепродукта. Опытным путем доказано, что подавать пенообразователь через насадки с наименьшей скоростью. Выходит, что при изоляции (метод прекращения процесса горения) пенообразователь растекается по поверхности горючего.

Путем расчетных вычислений и опытных данных выяснено, что интенсив горения снижается через 2-2,5 минуты с момента его подачи. В это время и появляются очаги горения (места интенсивного теплового воздействия), «буруны», описанные ранее. Пенообразователь благодаря своим свойствам способен растекаться по поверхности нефтепродукта, обтекать все детали и карманы оборудования и емкости. Далее наступает фаза уменьшения и стабилизации температурного режима по всей площади горящего нефтепродукта, этот процесс действует на протяжении 1,5-2 минут с момента подачи пены. Далее, через 3-5 минут происходит процесс затухания и прекращения горения.

При образовании устойчивого слоя пены (около 10-12 см на поверхности), слой нефтепродукта полностью защищен от повторного процесса горения на 3 часа. Но при том, что в составе подаваемого пенообразователя нет примесей нефтепродукта. Также запрещено использовать оборотную и жесткую воду имеющегося технологического процесса.

При длительном пожаре в резервуаре с нефтепродуктом, где наблюдается изменение высоты горящего продукта, необходимо постоянно корректировать величину слоя пенообразователя.

Таким образом, определим основные достоинства применения ВМП для нефтепродуктов:

- изоляция поверхностного слоя нефтепродукта от пламени;
- снижение интенсивности горения;
- охлаждение нефтепродукта раствором ВМП;
- экранирование слоя горящего вещества от пламени;
- достижение уменьшения температуры [40];
- уменьшение количества паров, попадающих в горящий слой;
- невозможность тушения горящего нефтепродукта водой.

«Для тушения пожара предусматривается:

стационарные установки автоматического пожаротушения;

стационарные установки неавтоматического пожаротушения (полустационарные, то есть требуется присоединение к передвижной пожарной технике через рукава)» [33].

Пенообразователь низкой кратности подают через слой ЛВЖ, ГЖ посредством передвижной техники с интенсивностью подачи 30-46 л/с.

«Подача пены в резервуар осуществляется следующими способами:

- переносными пенноподъемниками;
 - автоподъемниками (с использованием выдвижных лестниц и т.п.)
- через стационарные пеннокамеры» [39].

Пенную атаку производят непрерывно в течение 15 минут по 3-5 раз, либо импульсно по 15 секунд около 7-12 раз в зависимости от характера горения.

«Импульсный способ подачи пены используется при тушении темных нефтепродуктов во избежание перелива. Количество импульсов зависит от свойств горючего и колеблется от 4 до 8, увеличиваясь при повышении плотности горючего (кг/м³) и соответственно средней температуры кипения. Продолжительность подачи пены в каждом импульсе не должно превышать 30 секунд. Продолжительность пауз между импульсами равна времени

оседания, вспенившегося горючего интенсивность подачи пены определяется согласно нормативным данным. В последнем цикле пена подается, не прекращаясь до полной ликвидации горения» [3].

При ликвидации пожара темных нефтепродуктов проверяют условие безопасности, так как существует вероятность вскипания при подаче пенообразователя. Проверка осуществляется путем замера высота свободного края РВС, которая должна быть втрое больше, чем прогретый слой ЛВЖ.

«Если не соблюдать данное условие, то может произойти перелив горючего через борт резервуара. В этом случае пену необходимо подавать из-за обвалования, одновременно обеспечив расчетное количество сил и средств для тушения внутри обвалования. Перед проведением пенной атаки территорию, между подъемником и резервуаром покрывают пеной и предусматривают стволы на защиту пеноподъемников» [33].

Первоочередной задаче пожарных подразделений по прибытии к месту является разведка места пожара, оценка площади и зоны опасности, а также организация охлаждения горящего РВС и соседних объектов (строений, коммуникаций). Охлаждение принято проводить с наветренной стороны по направлению ветра, а также согласно уже просчитанным данным плана тушения пожара.

«На горящий резервуар первые стволы подаются на наветренный и подветренные участки резервуара. Используются лафетные стволы и стволы «А», а на резервуары объемом более 10000 м³ – только лафетные. Количество подаваемых стволов определяется расчетом, но не менее двух для негорящего и не менее трех для горящего резервуара. Расчет для негорящих резервуаров проводят на половину периметра резервуара» [5].

«При горении в обваловании, охлаждение стенки резервуара, находящегося под воздействием пламени осуществляется лафетными стволами. При этом охлаждают узлы управления коренными задвижками, хлопушками и фланцевые соединения. Необходимо обозначить периметры

горящего и соседних резервуаров при тушении пожаров в подземных резервуарах. Производится охлаждение дыхательной и другой арматуры, установленной на крышах соседних заглубленных железобетонных резервуаров» [35].

Для проведения пенной атаки сначала принято охлаждать стенки РВС, емкости с нефтепродуктом, где размещен и установлен пеноподъемник при расстановке сил и средств руководителем тушения пожара. Далее охлаждают (струи воды направляют выше) верхние слои. Процесс охлаждения можно и следует проводить с начала пожара, при достижении локализации и ликвидации, далее до остывания РВС.

«При решении вопроса об откачке нефтепродукта учитывается:

- откачка легких нефтепродуктов из соседних резервуаров, находящихся под воздействием теплоты, может привести к образованию в них взрывоопасных концентраций
- откачка из горящего резервуара проводится в резервуары, не связанные с ним газоуравнительной системой» [37].

Из-за опасных свойств паров ЛВЖ попадание пены в паровоздушное пространство недопустимо и опасно. Это может привести к воспламенению и последующему пожару или взрыву.

«Тушение пожара при горении паров над арматурой или отверстиями в кровле путем их закрытия кошмой, брезентом или асбестовым полотном проводится, если температура жидкости выше верхнего предела воспламенения. Можно определить по цвету и плотности дыма (густой и черный). Закрытие проводится под прикрытием распыленных струй воды. Если горение происходит со светло-желтым цветом пламени при незначительном выделении дыма, закрывать отверстия опасно, так как это может привести к взрыву внутри резервуара» [33].

Ликвидацию пожара осуществляют водяными струями по направлению к основанию факела.

«Для прекращения течи жидкости из пробоин используют деревянные пробки. При истечении жидкости из поврежденного трубопровода накладывают хомуты, в отдельных случаях для прекращения горения (успешного тушения) проводят засыпку отдельных участков задвижек грунтом, песком или щебнем» [38].

Для подготовки к проведению пенной атаки необходимо:

- подготовить план расстановки сил и средств техники, подающей пенообразователь (как описывалось ранее с учетом трехкратного запаса, на 35-50 минут);
- организовать сборку схемы подачи пены;
- проверить качество пенообразователя (содержащий фторные добавки, и исключаящий в своем составе примеси воды и нефтепродукта);
- определить общие сигналы по подаче и прекращению пенообразователя, а также отвода личного состава от зоны тушения;
- проводить атаки методом непрерывной подачи по 15 минут до полного прекращения или импульсно 5-10 раз по 30 секунд в зависимости от выбора руководителем тушения пожара.

По окончании пенной атаки (через 15-30 минут) горение должно быть прекращено, в противном случае необходимо выяснить причины сложившейся обстановки, пенную атаку завершают. Причинами горения могут быть нарушение в расчетах интенсивности подачи ОТВ, качества или состава пены или расположение пеноподъемников и стволов подачи пены.

«При наличии плавающей крыши в начальной стадии пожара в зазор между стенками и крышей пену подают немедленно независимо от количества сил и средств. При тушении пожаров в резервуарах с вязкими и легкозастывающими продуктами (мазут, масла и нефть) возможно применение распыленной воды для охлаждения поверхностного слоя горячей жидкости до температуры ниже их температуры вспышки [9].

Необходимым условием тушения распыленной водой является низкая среднеобъемная температура горючего (ниже температуры вспышки). Интенсивность подачи распыленной воды следует принимать $0,2 \text{ л} \times \text{м}^{-2} \times \text{с}^{-1}$ [33].

Также помимо применения пенообразователей, возможен вариант использования порошковых составов для тушения в обваловании резервуаров с нефтепродуктом или непосредственно самих емкостей. Порошковые составы могут применяться также для малых очагов горения, возникающих на запорной арматуре РВС, технологического оборудования и установок, а также местах соединения элементов технологического процесса нефтехимии.

«Главную роль в механизме тушения порошками играет ингибирование пламени. Порошки не обладают охлаждающим действием. Поэтому после тушения пламени возможно повторное воспламенение горючего. Чтобы это предотвратить, целесообразно применять комбинированные методы тушения, сочетая подачу порошков с подачей пенных средств:

- основное тушение пеной с дотушиванием порошком отдельных очагов горения;
- основное тушение порошком небольших очагов горения, затем подача пены для предотвращения повторного воспламенения» [36].

Интенсивность подачи огнетушащего вещества рассчитывают при использовании одного или нескольких ОТВ одинаково. Применяют комбинированные методы использования нескольких ОТВ, но поскольку наблюдается большой расход, необходимо это применение обосновать.

И поэтому необходимо целесообразно применять комбинированный метод. Обычно его используют, когда ликвидировать пожар не удастся одним ОТВ и требуется применение нескольких.

1.2 Методы организации тушения пожаров нефтепродуктов

Необходимость совершенствования организации тушения пожаров нефтепродуктов обусловлена:

- недопущением развития пожара нефтепродуктов и минимизации его распространения (зависит от тактических действий личного состава);
- опасностью риска получения травмы (а в дальнейшем ее недопущении и минимизации) в ходе практической работы;
- получением обязательных и необходимых знаний для успешной работы;
- применением теоретических знаний на практике;
- необходимостью работы в команде (караул, звено ГДЗС) и способностью не подвести в задымленной среде и стесненных условиях;
- рамками профессиональной деятельности МЧС России (органы исполнительной власти, органы Государственной Противопожарной службы) [6].

«Специфика боевых действий подразделений ГПС по тушению пожаров в резервуарах и резервуарных парках, как правило, зависит от условий возникновения и развития пожара, к которым относятся:

- образование «карманов», в которые не может быть подана пена;
- образование прогретого слоя горючей жидкости толщиной 1 м и более;
- низкая температура окружающей среды;
- горение в обваловании;
- одновременное горение двух и более резервуаров» [32].

Осуществляют тушение нефтепродуктов путем применения метода подслоного тушения ВМП низкой и средней кратности. Попадая на слой горящего нефтепродукта, пенообразователь изолирует горящий слой

нефтепродукта, происходит выравнивание и постепенной снижение температуры. И постепенно горящая жидкость охлаждается.

Но, исходя из специфических особенностей возникшего пожара зависимость опасных факторов разная. Например, при различной скорости подачи пены и состава пенообразователя время тушения будет различно. При подаче пенообразователя на слой горючего, пламя разрушается.

Выделим основные параметры при тушении нефтепродуктов.

- качество пенообразователя;
- скорость подачи огнетушащего вещества;
- температура горячей жидкости;
- особенности конструкции резервуара с нефтепродуктом;
- соотношение объема горячей жидкости в объеме резервуара;
- скорость выравнивания температура на слое горючего вследствие подачи пены;
- интенсивность подачи пены.

При разработке комплекса организационно-технических мероприятий по совершенствованию тушения пожара на объектах нефтехимического комплекса важно:

- стратегическое направление РФ по обеспечению ПБ – планирование деятельности по тушению пожаров (обеспечение тактической подготовки);
- контроль над соблюдением ТБ при тушении пожаров;
- предупреждение пожаров путем установления особого противопожарного режима;
- использование в работе современных средств пожаротушения;
- разработка инструкций по ОТ согласно специфике тушения пожара в зависимости от объекта;

- определение методов обеспечения пожарной безопасности во многом зависит от пожароопасных свойств веществ, материалов и среды;
- определение уровня риска возникновения пожара – исходные критерии для разработки и технического оснащения подразделений по ТП пожаров [1];
- наличие и исправность первичных средств пожаротушения (огнетушители; пожарный инвентарь; подручные средства – лопаты, ломы, песок, телефон экстренной связи, таблички с номерами экстренных служб; средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения).

Комплекс организационно-технических мероприятий по совершенствованию пожарно-тактической подготовки:

- проверка боеготовности с решением ПТЗ в ночное время суток;
- проведение ПТЗ, ПТУ с привлечением администрации объекта, города и служб жизнеобеспечения для наглядного представления и моделирования ситуации;
- освещение в СМИ методов и мер по подготовке;
- постановка нестандартных задач и вводных в ходе проведения ПТУ, ПТЗ;
- строительство модульных тренажеров;
- приобретение видеокамер на каски для анализа действий пожарного;
- приобретение тепловизоров для определения очага пожара в НДС;
- внедрение планшета с картой района выезда (где нанесены не только ПГ, ПВ, адрес, но и данные из ПТП – характеристика здания);
- приобретение светоотражающих рукавов для ориентации в НДС (здания сложной планировки – ГСК, тоннели, коллекторы, а также в ночное время).

В качестве расчетного времени тушения, который используют в качестве исходных данных – 15 минут.

Тушение пожаров с наличием нефтепродукта осуществляется с наличием трехкратного запаса пенообразователя. При этом дальность растекания не превышает 30 метров от очага пожара. Пенообразователь низкой кратности подают в нижний пояс резервуара с содержанием фтора из-за инертности пены к углеводородному сырью.

Таким образом, наблюдается процесс изоляции пенообразователя на слой горячей жидкости.

Для того, чтобы уменьшить так называемые горки состав пенообразователя подают через насадки с наименьшей скоростью подачи. Приготовленный специальный состав пенообразователь позволяет пене растекаться по всей площади горючего, обходя все препятствия в виде элементов конструкции РВС на своем пути. Для того, чтобы снизить температуру горючего и полностью потушить пожара, потребуется несколько часов.

Пожары в резервуарах с нефтепродуктами тушат чаще всего способом подачи среднекратной пены в очаг горения сверху резервуара стандартными пенокамерами, которые из-за высоких температур в зоне горения нефтепродуктов - до 1200°C, часто выходят из строя и не обеспечивают тушение пожара, а при наличии взрыва - повреждаются или срываются.

Пеноподъемники допускается использовать для тушения резервуаров объемом не более 700 м³.

Необходимо предусмотреть один лафетный или ручной ствол для защиты пеноподъемников с пеногенераторами при проведении пенной атаки.

При тушении пеной низкой кратности следует использовать пенные лафетные стволы или мониторы, устанавливаемые на обваловании или перед ним. Тушение пожара в резервуарах с понтоном следует осуществлять как в резервуарах со стационарной крышей без понтона.

При развитии пожара за пределами кольцевого пространства тушение должно производиться как в обычных резервуарах со стационарной крышей.

При развившемся затяжном пожаре с наличием нефтепродукта, где невозможна подача пены, по согласованию с должностными лицами и участниками тушения по решению руководителя тушения пожара подаются ручные порошковые или пенные стволы через стенки или карманы.

При развитии пожара за пределами кольцевого пространства тушение должно производиться как в обычных резервуарах со стационарной крышей. Также существует практика вырезки отверстий в стенках РВС.

Выводы к разделу 1:

- определены основные сведения о веществах, обращающихся на объектах нефтегазового комплекса – нефтепродуктах и газах;
- определены основные опасные параметры веществ, которые определяют потенциальную опасность самих объектов нефтегазового комплекса;
- выявлены и обобщены параметры устойчивого равновесия по недопущению аварийной ситуации на объектах нефтегазовой промышленности;
- описаны огнетушащие вещества, применяемые при пожарах на объектах нефтегазовой промышленности;
- определен принцип действия ВМП при тушении нефтепродукта;
- конкретизированы основные способы прекращения горения веществ на объектах нефтегазового комплекса;
- описаны методы организации тушения нефтепродуктов [41].

Способы тушения, применяемые на объектах нефтегазовой промышленности:

- нефтепродукты – методом разбавления (поверхностный), а также изоляции (подслойный);
- газы – газовыми составами (азот, углекислота), методом точечного взрыва.

2 Исследование и реализация существующих технологий электротушения

2.1 Показатели оценки функционирования систем электротушения, их достоинства и недостатки

Объекты нефтегазовой промышленности – одни из самых опасных при возникновении на их территории аварийных ситуаций, в том числе пожаров. Таким образом, автоматически объекты нефтегазового комплекса являются потенциально-опасными. Это обусловлено сложностью технологического процесса, многозадачностью операций, характером и количеством обращающихся веществ (газ, нефтепродукты).

Аварии на объектах нефтегазового комплекса следует рассматривать, как опасные явления, сопровождающиеся образованием горючей среды на огромной площади. Таким образом, это пожароопасная зона со взрывоопасной смесью в условиях технологического процесса. Отягчающим фактором является условие изменения давления, температуры. Все эти факторы могут негативно сказаться на функционирование городской инфраструктуры. Пожар, взрыв, нарушение технологического процесса, приведшие к аварии – все это необходимо рассмотреть.

Пожары на предприятиях нефтегазового комплекса происходят не так часто в силу обеспеченности процесса, тем не менее, при возникновении проходят не бесследно. Таким образом, актуальным вопросом является определение тактических методов и способов тушения объектов нефтегазового комплекса. Конкретным примером, требующим изучения, является способ бесконтактного электротушения.

Согласно наблюдениям 200-летней давности электричество может влиять на форму пламени, заставляя пламя изгибаться, скручиваться, поворачиваться, мерцать и даже гасить его. Впервые это изучено исследователями из Гарвардского университета. Они выяснили, что

электрические волны могут быть эффективными средствами пожаротушения. Ведущий исследователь национального собрания Американского химического общества Людовико Кадемартини определил, что их исследования показали, что, применяя большие электрические поля, можно очень быстро подавить пламя.

Методы электротушения бесконтактным путем – тема обсуждаемая и интересна, но неприменяемая вследствие малого опыта практического применения.

«Более 20 лет назад профессор Дудышев разработал способ, при помощи которого можно ликвидировать возгорания. Гарвардские ученые тоже недавно подтвердили этот факт, показав устройство для ликвидации небольшого возгорания. Гарвардец Кадемартини сообщил, что сильное осциллирующее поле может подавить пламя. По его мнению, это достигается за счет изменение траектории передвижений в пламени заряженных частиц, которые изменяют направление потоков газов, отделяя от источника возгорания. В целях американских ученых – дальнейшая разработка электрического ранца-огнетушителя или потолочных устройств-разбрызгивателей силового поля, напоминающих спринклерные системы [35]. Если не удастся погасить охваченное пламенем здание, то, по крайней мере, ученые рассчитывают проделывать своеобразные коридоры в «стене» пламени для прохода огнеборцев или спасаемых людей. Как полагают американцы, таким способом тушить пожары в лесных массивах или торфяниках невозможно. Для тушения пожара ученые из Гарварда представили своеобразный обстреливающий стержень, работающий в импульсном режиме» [18].

Технологии В.Д. Дудышева (основатель патентов по рассматриваемой теме, автор научных статей и монографий) при исследовании методов бесконтактного электротушения описал теоретические основы и сущность практического применения. В основе метода лежит принцип применения и

использования электричества высокого напряжения с прерыванием цепных реакций горения для ТП.

«Данная разработка была запатентована в СССР в 1988 г., но почему-то широкого применения не получила. Хотя несомненные удобства, исключаящие необходимость подзарядки, отсутствие причинения вреда имуществу вследствие воздействия гасящих веществ, удобство в эксплуатации и многофункциональность должны были побудить внедрить ее в классическую систему пожаротушения. Электропожаротушитель Дудышева состоит из нескольких частей. В зависимости от задач, поставленных перед огнеборцами, линейные конструктивные решения выполнения устройств изменяются пропорционально площадям тушения огня. Основными частями электропожаротушающей системы являются аккумулятор, преобразователь с конденсатором, высоковольтный кабель и непосредственно рабочая часть, которая посылает электромагнитные импульсы в зону возгорания. Для поворотного устройства предназначена штанга, позволяющая направить облако положительно заряженных частиц в сторону факела огня. При подаче высоковольтного электрического потенциала в виде облака удастся в считанные секунды ликвидировать возгорание и убрать задымление» [18].

Стоимость такого технического устройства высока, но при массовых оборотах ее можно снизить в несколько раз.

«Что касается тушения лесных пожаров, торфяников, то тут задачу можно упростить, снабдив воздухоплавающий аппарат подобным устройством. Главная задача пилотируемого средства или беспилотника – возможность зависать над площадями возгорания, соблюдая дистанцию до пламени 1 м и воздействуя электромагнитными импульсами с металлического кабеля. При необходимости следует корректировать штангой направление импульсов, разворачивая каркас в разные стороны. Так что гарвардские ученые повторили то, что придумал советский профессор более четверти века тому назад. Ведь тоже относительно не так давно Дудышев

доказал, что для ликвидации больших возгораний его изобретение также можно применять [41]. Особенно ценно в этом то, что такое тушение огня в больших массивах лесов России исключает необходимость подзарядки огнетушащими средствами, и, соответственно, минимизирует расходы на ликвидацию огня. Возможно, следует изменить размеры оборудования, хотя бы в опытном порядке, и применить на определенных площадях, в наиболее пожароопасных районах тайги данный метод, оснатив электротушителями вертолетную базу, беспилотники, адаптировав и установив аналогичные устройства на самолетах Авиалесоохраны» [18].

Исследователи под руководством профессора химии Джорджа Уайтсайда смогли потушить 45-сантиметровое пламя горящего метана с помощью наэлектризованного провода. Оборудование было простым. Подключили выход 600-ваттного коммерческого усилителя мощности к тонкому изолированному металлическому проводу длиной 10 сантиметров.

Чтобы потушить пламя, стратегия заключается в том, чтобы подойти очень близко к пламени, прямо перед ним и направить проволоку на пламя. Концентрированное электрическое поле, возникающее на кончике проволоки, подталкивает пламя до тех пор, пока оно не оторвется от источника топлива. Эффект, по его словам, «был очень неожиданным».

Усилители, которые производят высокое напряжение (до 50 киловольт) и частоты в килогерцах, необходимые для тушения пламени, стали доступны только в последние три года. Электрическое поле силой в миллион вольт на метр воздействует на заряженные частицы в пламени. Положительные и отрицательные частицы начинают ускоряться в противоположных направлениях. Когда поток зарядов становится достаточно высоким, пламя отталкивается от источника метана. Эту технику можно использовать для разработки устройства для тушения и контроля внутренних пожаров, но многое будет зависеть от размера пламени, условий пожара и топлива.

«Ученый предлагает создать для дистанционного тушения огня в лесной зоне вертолет-робот, который будет укомплектован видеокамерами на

борту и работать по принципу удаленного управления, с диспетчерского пункта. Малая скорость передвижения и подача импульсного разряда в очаг возгорания и далее, по местности, где имеется пламя, позволят в быстрые сроки ликвидировать возгорание. Для этого каркас должен иметь линейные размеры в пределах 7 – 10 м одна сторона, общей площадью – до 70 м². Развитые страны, куда входят США и Китай, тратят огромные средства для разработки дешевых и максимально эффективных устройств, позволяющих быстро ликвидировать пожар. Необходимость этого обуславливает и резкое потепление, которое приводит к частым пожарам ввиду аномально высоких температур. Поэтому технология Дудышева, предполагающая минимальные финансовые затраты, апробированная в различных условиях, должна быть внедрена в работу пожарных служб» [12].

Преимущества способа бесконтактного электротушения над классическими (с применением воды, пены и других ОТВ):

- недорогая стоимость электродов и оборудования для создания импульсов;
- минимальных расход материалов по сравнению с водой, порошками, пеной;
- отсутствие негативного воздействия огнетушащих веществ на объекты пожара;
- экологичность метода;
- Быстрота тушения;
- отсутствие зависимости от источников противопожарного водоснабжения.

«Проверка технологии доказала возможность применения предложенного способа для тушения обширных зон возгорания, будь то торфяники, леса, поля, если устройствами возможно оснастить воздухоплавающие судна. В мобильном наземном варианте ее могут

применять как пожарный расчет, так и на автотранспортных средствах. Для частного использования ее легко и допустимо модифицировать» [18].

Экспериментальное устройство содержит 10 накопительных конденсаторов общей емкостью 40 мкФ и работает при напряжении 15 кВ. С помощью этого устройства тушили гептановые, дизельные и керосиновые материалы, а также форсированные участки пламени пропана и бутана. Установка может быть использована для изучения тушения уже существующих пожаров, а также для изучения смягчения последствий взрыва. Кроме того, была разработана, изготовлена и испытана специализированная версия для практического применения (0,5 мкФ на 35 кВ). Есть несколько методов пожаротушения, в которых используются электростатические поля. В отличие от этих методов, настоящее устройство использует электромагнитный импульс. Длительность этого ЭМ-импульса составляет всего несколько микросекунд. Было достигнуто время нарастания импульса менее 100 наносекунд. Настоящий способ является единственным известным на сегодняшний день практическим способом тушения пожаров без применения химических реагентов. Кроме того, это единственный известный в настоящее время процесс, который является достаточно быстрым, чтобы его можно было рассматривать для использования по снижению взрывоопасности.

«Несомненным плюсом этой технологии является то, что устройства электротушения не нуждаются в подзарядке огнетушащими средствами и очень просты в реализации. Вышеперечисленные результаты исследований раскрывают преимущества электротехнологии и тем самым побуждают к предложениям по внедрению ее в промышленность и по распространению ее на уязвимых пожароопасных объектах для эффективного бесконтактного тушения пожаров и предотвращения их возгорания, частности на объектах нефтегазовой промышленности. Применение технологии бесконтактного электротушения пожара особенно важно для объектов нефтегазовой отрасли, так как они располагаются в местах, удаленных от источников воды. А нова

технология позволяет проводить эффективное тушение без применения воды, используя лишь источник высоковольтного напряжения» [1].

Устройство ограждения электрического поля необходимо для ТП, который обеспечивает защиту собранным установкам бесконтактного электротушения. Обеспечивается бесперебойная работа технической системы, таким образом достигается ликвидация пожара в кратчайшие сроки с наименьшими затратами.

«Особенности и проблематичные стороны рассматриваемого способа тушения:

- тушение пожаров лишь на ограниченных площадях [7];
- необходим опыт в производстве расчетов физических характеристик электромагнитного и электрического полей;
- метод практически не применяется, поскольку имеются теоретические знания и небольшой практический опыт в использовании электротушения.

Достоинства применения бесконтактного электротушения:

- сокращение затрат на огнетушащее вещество, пожарную технику, пожарно-техническое вооружение, трудозатраты личного состава, поскольку затраты на осуществление способа несопоставимо малы с реальными и существующими способами;
- решение задачи по тушению пожаров в зданиях и сооружениях нефтегазовой и любой другой отрасли, труднодоступных местах с помощью введения робототехники;
- экологичность по применению;
- современное техническое решение;
- высокая эффективность тушения по сравнению с известными прототипами» [23].

Таким образом, показателями оценки функционирования систем электротушения являются:

- уровень насыщенности пламени ионами;
- показатель напряженности, исходя из типа пламени и его насыщенности;
- качественный подбор элементов системы тушения: электроды, источник напряжения;
- различное применение схем и устройства применяемых электродов;
- правильное разрушение цепных реакций горения;
- наличие электрополевого ограждения.

Тем не менее, функционирование вышеперечисленных показателей возможно только при изучении того или иного объекта пожара, а также обосновании выбора технических характеристик предлагаемого способа электротушения.

Достоинства применения способа электротушения:

- достижение желаемого результата путем применения высоковольтного электричества, где определенные параметры поля выдергивают электрические частицы, прерывая очаги цепных реакций горения;
- использование метода и способа тушения без применения и расхода ОТВ;
- широкий спектр использования на различных объектах пожара: от небольших зданий и сооружений до ландшафтных пожаров;
- многофункциональность и эффективность;
- безопасность для участников тушения пожара поскольку есть возможность производить тушение на расстоянии.

«Если сравнить экономическую эффективность технологии, мизерные затраты на оборудование и электроэнергию для создания импульсов и сопоставить с расходами на пенообразователи, порошковые тушители, не говоря уж об убытках, полученных при порче имущества огнегасящими

веществами. Применять бесконтактный способ, это дешево, экологично и быстро, позволяет погасить метровый факел за пару миллисекунд. А уж если рассмотреть зоны, где есть проблемы с заправкой водой, то тут просто нет альтернативы» [31].

«В мобильном наземном варианте ее могут применять как пожарный расчет, так и на автотранспортных средствах. Для частного использования ее легко и допустимо модифицировать» [31].

При любой складывающейся обстановке на пожаре характерны процессы паники, большого скопления людей, многозадачность действий, требующих немедленного выполнения. Поэтому законодательно определено, что все работы проводятся на принципах единоначалия руководства. Иерархическая структура руководства, представляющая схематично пирамиду или треугольнике, вершину которого занимает старшее должностное лицо. Следовательно, все указания руководителя тушения пожара должны неукоснительно выполняться всеми участниками тушения пожара. Контроль за всеми действиями, ответственность за выполнение боевой задачи и выбор решающего направления всецело лежит на РТП.

Недостатки применения способа электротушения:

- малая изученность способа;
- отсутствие опытных данных, поскольку способ не применяется ни в России, ни за ее пределами [41];
- требует определенных расчетов и подбора технического устройства для того или иного объекта пожара;
- опровержение достоинств на практике, поскольку доказано только теоретически.

Показатели оценки функционирования систем электротушения:

- носители положительного электрического заряда;
- объемная плотность диффузионного пламени;
- энергия электрического поля;

- отклонение факела пламени от оси конвективной колонки;
- скорость распространения горения;
- разность абсолютных температур в пламени;
- состояние ионизации;
- напряженность электрического поля.

Таким образом, положительный эффект от современных методов тушения нефтепродуктов обусловлен:

- сокращением человеческих жертв и минимизацией ущерба для здоровья людей;
- сокращением времени локализации и ликвидации пожара объектов нефтегазовой отрасли;
- сокращением площади очага пожара;
- снижением материального ущерба;
- снижением негативного влияния пожаров и их факторов на окружающую среду.

Анализ методов и принципов ведения подготовки выявил следующие особенности:

- пожаротушение нефтепродуктов строится на изучении теоретических методов тушения и принципах тушения пожара и ликвидации ЧС;
- структура работы и ведения действий строится на принципах единоначалия руководства [27];
- прежде всего, изучаются нормативы по охране труда и техники безопасности, поскольку все виды работ относят к опасным и экстремальным;
- подготовка личного состава зависит от практических тренировок личного состава руководителями (опытными профессионалами своего дела);

- важность становления личностного роста по критериям самообладания, стрессоустойчивости, ответственности и психологического равновесия;
- важность практического опыта предыдущих поколений и передача его молодым сотрудникам [11].

В результате теоретического исследования по оценке показателей оценки функционирования системы электротушения можно сформулировать следующие выводы работы:

- необходимым, а также достаточным условием тушения пожаров является убывание показателя концентрации носителей электрического заряда в зоне первичной реакционной зоны факела пламени вследствие вынужденной диффузии носителей электрического заряда;
- протекание процесса осуществляется в диапазоне времени, не превышающем время критической продолжительности пожара как в I, так и во II фазах развития горения;
- выявлена сравнительно большая эффективность тушения пожаров при воздействии на область первичной реакционной зоны факела пламени неоднородным статическим электрическим полем;
- необходимо определить достоверность и степень валидности полученных результатов с экспериментальными данными;
- для частного использования технологию необходимо модифицировать, что при должных расчетах представляется достаточно несложным;
- необходимо разработать метод экспериментально-эмпирической оценки показателей эффективности тушения пожаров статическим электрическим полем.

2.2 Эффективность и рамки применения бесконтактного электротушения

Предотвращение пожара должно достигаться предотвращением образования горючей среды и предотвращением образования в горючей среде источников зажигания.

«Предотвращение образования горючей среды должно обеспечиваться одним из следующих способов или их комбинаций:

- максимально возможным применением негорючих и трудногорючих веществ и материалов;
- максимально возможным по условиям технологии и строительства ограничением массы и (или) объема горючих веществ, материалов и наиболее безопасным способом их размещения;
- изоляцией горючей среды (применением изолированных отсеков, камер, кабин и т.п.);
- поддержанием безопасной концентрации среды в соответствии с нормами и правилами и другими нормативно-техническими, нормативными документами и правилами безопасности;
- достаточной концентрацией флегматизатора в воздухе защищаемого объема (его составной части);
- поддержанием температуры и давления среды, при которых распространение пламени исключается;
- максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов, связанных с обращением горючих веществ;
- установкой пожароопасного оборудования по возможности в изолированных помещениях или на открытых площадках;
- применением устройств защиты производственного оборудования с горючими веществами от повреждений и аварий, установкой отключающих, отсекающих и других устройств» [4].

Что касается о свойствах нефтепродуктов, касающихся технологии электротушения.

«Дудышев В.Д. утверждает, что, исходя из типа пламени, его размера и его интенсивности, требуемая напряженность электрического поля может изменяться в пределах от 1 до 3 кВ/см. Анализируя способ тушения пламени, электрическим полем, следует признать его эффективным, но только в случае тушения открытого пламени. Он не будет эффективным при тушении беспламенного горения (тлении). При тлении образуются продукты неполного горения, при определенных условиях, которые, способны привести к пламенному горению. Устройство, созданное на основе способа тушения 15 пламени электрическим полем, может обеспечить возможность спасателю пройти в горящее здание и вывести из него людей, то есть спасти их от гибели и самому не погибнуть» [40].

Учитывая, что человеческая жизнь бесценна, такое устройство окупит затраты на его производство. Автор способа тушения пламени электрическим полем предложил переносной электроогнетушитель для его реализации.

«При движении нефтепродуктов по трубам и при прохождении их через слой воздуха в виде капель (например, при наливке в железнодорожные цистерны, танкеры и т. д.) возникает статическое электричество. Оно образуется вследствие трения нефтепродуктов в первом случае о стенки труб, а во втором — о воздух (эффект Ленарда). Нефтепродукт получает заряды электричества одного знака, трубопроводы и воздух — другого. Являясь хорошими диэлектриками, нефтепродукты сохраняют электрические заряды в течение длительного времени. Разряды статического электричества между изолированными трубопроводами, автоцистернами на шинах и заземленными предметами могут повлечь за собой загорание или взрыв паров нефтепродуктов. Для предупреждения скопления статического электричества необходимо, чтобы трубопроводные сети, соединяющие различные объекты нефтебаз, представляли электрически непрерывную заземленную цепь» [24].

Для наземного использования устройство оснащают телескопической штангой с металлическим каркасом, сделанным в виде сетки или ажурного изделия, способным разворачиваться по принципу зонта.

«На вертолетах и беспилотниках каркас, размещенный на платформе, прикрепляют к прочному тросу. Последовательность работы устройства включает генерацию электрических зарядов, их преобразование в импульсную форму, накопление и непосредственную подачу к пламени через каркас» [25].

Ученый предлагает создать для дистанционного тушения огня в лесной зоне вертолет-робот, который будет укомплектован видеокамерами на борту и работать по принципу удаленного управления, с диспетчерского пункта [30].

«Малая скорость передвижения и подача импульсного разряда в очаг возгорания и далее, по местности, где имеется пламя, позволят в быстрые сроки ликвидировать возгорание. Для этого каркас должен иметь линейные размеры в пределах 7 – 10 м одна сторона, общей площадью – до 70 м². Развитые страны, куда входят США и Китай, тратят огромные средства для разработки дешевых и максимально эффективных устройств, позволяющих быстро ликвидировать пожар. Необходимость этого обуславливает и резкое потепление, которое приводит к частым пожарам ввиду аномально высоких температур. Поэтому технология Дудышева, предполагающая минимальные финансовые затраты, апробированная в различных условиях, должна быть внедрена в работу пожарных служб» [25].

Способы тушения пожаров, используемые в настоящее время при ТП в зданиях и сооружениях – это охлаждение места первоначального возникновения пожара (очага) или, а также разбавление (удаление твердых веществ) и химическое торможение при помощи внесения реагентов в очаг пожара, так называемый срыв пламени.

«Если сравнить экономическую эффективность технологии, мизерные затраты на оборудование и электроэнергию для создания импульсов и

сопоставить с расходами на пенообразователи, порошковые тушители, не говоря уж об убытках, полученных при порче имущества огнегасящими веществами. Вывод напрашивается сам – применять бесконтактный способ, это дешево, экологично и быстро, позволяет погасить метровый факел за пару миллисекунд. А уж если рассмотреть зоны, где есть проблемы с заправкой водой, то тут просто нет альтернативы. Проверка технологии доказала возможность применения предложенного способа для тушения обширных зон возгорания, будь то торфяники, леса, поля, если устройствами возможно оснастить воздухоплавающие суда. В мобильном наземном варианте ее могут применять как пожарный расчет, так и на автотранспортных средствах. Для частного использования ее легко и допустимо модифицировать» [26].

Основные классические огнетушащие вещества при этом – вода, воздушно-механическая пена, порошки, углекислота.

Технология бесконтактного электротушения существенно отличается от применяемых ныне методов. Этот метода основан на свойстве электрического силового поля, природой которого являются электромагнитные импульсы.

«Данная технология воздействия на пламя горящего вещества вплоть до его исчезновения состоит в воздействии на пламя сильным электрическим полем с электрической напряженностью от 1 до 3 кВ/см. Сущность предлагаемого метода заключается в том, что любое пламя содержит заряженные частицы, а значит с помощью электрического поля можно управлять горением, в частности тушить пламя. Исследования показали, что электрическое поле способно гасить пламя на безопасном расстоянии для человека» [28].

Применение электрода позволяет разделить источник пламени от зоны пожара, тем самым поток заряженных частиц позволяет прекращать процесс горения, пожар затухает.

«Тушить возгорания при помощи данной технологии можно будет на расстоянии. А это не только создаст безопасные условия для пожарных, но и избавит их от необходимости подвода воды и прочих огнетушащих веществ к месту пожара. В любом случае, традиционных огнетушащих веществ пожаротушения потребуется меньше, чем применяется в настоящее время. Предложенная новая технология пожаротушения электрическим полем высокой напряженности более прогрессивна по сравнению с аналогами, поскольку не требует расходных материалов и проста в реализации [34]. Данная технология обладает высоким быстродействием» [20].

Приведем сравнительные данные изобретенных средств электротушения в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные данные средств электротушения (изобретения Дудышева)

Известное устройство-прототип	Устройство	Достоинства	Недостатки
Устройство безрасходного электрического пожаротушения	Транспортное средство с источником постоянного напряжения	Мобильность, эффективность тушения, обеспечение безопасности для личного состава	Недостаточная универсальность, т.к. он не может использоваться для пожаров на большой территории открытой местности
Переносная установка электрического пожаротушения	Блок высокого напряжения и огнетушительный электрод	Эффективность тушения гашения пламени, снижение образования дыма	Возможность использования вариантов расположения весьма ограничена
Переносной огнетушитель	Электронный блок высокого напряжения и пламегаситель	Снижение себестоимости за счет внедрения способа системы зажигания	Недостаточная универсальность

Многофункциональность данного способа позволяет его эффективно использовать в различных ситуациях.

«Так, ученый предлагает ограждать зоны возгорания своеобразным сетчатым забором, который несет на себе высокий заряд и образует мощное силовое поле. Через такой забор пламя не пройдет, так как будет тухнуть на расстоянии до 1 м в зоне поля» [31].

Что касается тушения лесных пожаров, торфяников, то тут задачу можно упростить, снабдив воздухоплавающий аппарат подобным устройством [5].

«Главная задача пилотируемого средства или беспилотника – возможность зависать над площадями возгорания, соблюдая дистанцию до пламени 1 м и воздействуя электромагнитными импульсами с металлического кабеля. При необходимости следует корректировать штангой направление импульсов, разворачивая каркас в разные стороны» [31].

Рамки применения системы электротушения:

- тушение пожара на ограниченной площади;
- необходимы опытно-экспериментальные данные по расчету физических характеристик электромагнитного и электрического полей;
- малый практический опыт применения.

Таким образом, основные достоинства применения – это минимальные энергозатраты, тушение обширных областей, а недостатки - низкая степень моделирования условий, имеющих место в реальной обстановке, сложность в технической установке.

Далее определим особенности применения способа электротушения и существующих методов тушения объектов нефтехимии:

- бесспорно, при теоретической обоснованности и расчетных данных эффективности применения электротушения, этот метод является наиболее эффективным;

- тем не менее, сложность по технической реализации электротушения не позволяет пользоваться этим методом на практике;
- для внедрения метода электротушения на практике необходимо создание апробированной системы, которая выявит все особенности и позволит определить уровень безопасности применения устройства.

Выводы к разделу 2

Технологии В.Д. Дудышева (основатель патентов по рассматриваемой теме, автор научных статей и монографий) при исследовании методов бесконтактного электротушения описал теоретические основы и сущность практического применения. В основе метода лежит принцип применения и использования электричества высокого напряжения с прерыванием цепных реакций горения для ТП.

Исследована реализация существующих технологий электротушения, определены показатели оценки функционирования систем электротушения, выявлены их достоинства и недостатки. Определена эффективность и рамки применения бесконтактного электротушения.

Способы тушения пожаров, используемые в настоящее время при ТП в зданиях и сооружениях – это охлаждение места первоначального возникновения пожара (очага) или, а также разбавление (удаление твердых веществ) и химическое торможение при помощи внесения реагентов в очаг пожара, так называемый срыв пламени.

Особенностями рассматриваемого способа тушения являются тушение пожаров лишь на ограниченных площадях, необходимость опыта в произведении расчетов физических характеристик электромагнитного и электрического полей и то, что метод практически не применяется, поскольку имеются теоретические знания и небольшой практический опыт в использовании электротушения.

Основные классические огнетушащие вещества при этом – вода, воздушно-механическая пена, порошки, углекислота.

Технология бесконтактного электротушения существенно отличается от применяемых ныне методов. Этот метод основан на свойстве электрического силового поля, природой которого являются электромагнитные импульсы.

Бесконтактное тушение электричеством, то есть под воздействием электрического поля, вызванного электромагнитными импульсами совсем не распространено в настоящее время. Тушение пожаров как в нашей стране, так и за рубежом осуществляется традиционными способами привычными огнетушащими веществами.

Показателями функционирования систем электротушения являются:

- уровень насыщенности пламени ионами;
- правильность выбранных параметров и целесообразное применение систем электротушения с точки зрения обеспечения безопасности для участников тушения;
- показатель напряженности, исходя из типа пламени и его насыщенности;
- качественный подбор элементов системы тушения: электроды, источник напряжения;
- различное применение схем и устройства применяемых электродов;
- правильное разрушение цепных реакций горения;
- наличие электрополевого ограждения.

Достоинством применения бесконтактного электротушения является сокращение затрат на огнетушащее вещество, пожарную технику, пожарно-техническое вооружение, трудозатраты личного состава, поскольку затраты на осуществление способа несопоставимо малы с реальными и существующими способами.

3 Опытнo-экспериментальная апробация предлагаемых способов и средств электротушения

3.1 Разработка процедур, повышающих эффективность электротушения

Аварии на объектах нефтегазового комплекса следует рассматривать, как опасные явления, сопровождающиеся образованием горючей среды на огромной площади. Таким образом, это пожароопасная зона со взрывоопасной смесью в условиях технологического процесса. Отягчающим фактором является условие изменения давления, температуры. Все эти факторы могут негативно сказаться на функционирование городской инфраструктуры. Пожар, взрыв, нарушение технологического процесса, приведшие к аварии – все это необходимо рассмотреть. Таким образом, автоматически объекты нефтегазового комплекса являются потенциально-опасными. Это пожароопасная зона со взрывоопасной смесью в условиях технологического процесса. Отягчающим фактором является условие изменения давления, температуры. Все эти факторы могут негативно сказаться на функционирование городской инфраструктуры. Пожар, взрыв, нарушение технологического процесса, приведшие к аварии – все это необходимо рассмотреть.

Методы электротушения бесконтактным путем – тема обсуждаемая и интересна, но неприменяемая вследствие малого опыта практического применения.

Необходимое и достаточное условие тушения пожаров – убывание показателя концентрации носителей электрического заряда в зоне первичной реакционной зоны факела пламени вследствие вынужденной диффузии носителей электрического заряда. Процесс осуществляется в диапазоне времени, не превышающем время критической продолжительности пожара во всех фазах развития горения.

Наблюдается сравнительно большая эффективность тушения пожаров при воздействии на область первичной реакционной зоны факела пламени неоднородным статическим электрическим полем.

Для использования технологию необходимо модифицировать, что при должных расчетах представляется достаточно несложным, а также необходима разработка метода экспериментально-эмпирической оценки показателей эффективности тушения пожаров статическим электрическим полем.

Установлено, что при увеличении межэлектродного расстояния на 1 см, наблюдается повышение требуемого напряжения гашения в диапазоне от 1,37 до 1,71 кВ.

«Разработан способ ликвидации открытого горения газопроводов с применением электрического поля, включающие 3 основных этапа - тушение пламени электрическим полем охлаждение и перекрывание газопровода. Рассчитана скорость охлаждения стенки газопровода при различных способах охлаждения. Наиболее высокая скорость наблюдается при охлаждении аммиачной установкой – 66,6 К/мин. При охлаждении водой – 55 К/мин. Без охлаждения – 53,6 К/мин» [16].

3.1.1 Устройство электрического пожаротушения

Объекты нефтегазового комплекса являются потенциально-опасными из-за сложности технологического процесса, многозадачности операций, характера и количества обращающихся веществ (газ, нефтепродукты).

Пожары на таких объектах сопровождаются образованием горючей среды на огромной площади. Это пожароопасная зона со взрывоопасной смесью в условиях технологического процесса. Отягчающим фактором является условие изменения давления, температуры. Все эти факторы могут негативно сказаться на функционирование городской инфраструктуры.

Пожар, взрыв, нарушение технологического процесса, приведшие к аварии – все это необходимо рассмотреть.

Это обусловлено рядом факторов, которые не всегда зависят от одного человека – это место расположения очага пожара, характер его развития и объемно-планировочные решения здания или сооружения. Как правило, такие знания теоретической подготовки подкрепляются тренировками, учениями и занятиями совместно с подразделениями пожарной охраны. Это позволяет отработать действия до автоматизма, а самое важное, сохранить самообладание в стрессовой ситуации и экстремальных условиях. Таким образом, рассмотрим устройство электрического пожаротушения.

Полезная модель относится к системам пожаротушения, конкретнее, к электрическим устройствам пожаротушения.

Целью настоящего технического решения является повышение эффективности тушения пламени без применения традиционных пенопламегасящих веществ.

Рамки применения при помощи бесконтактного электротушения обоснованы:

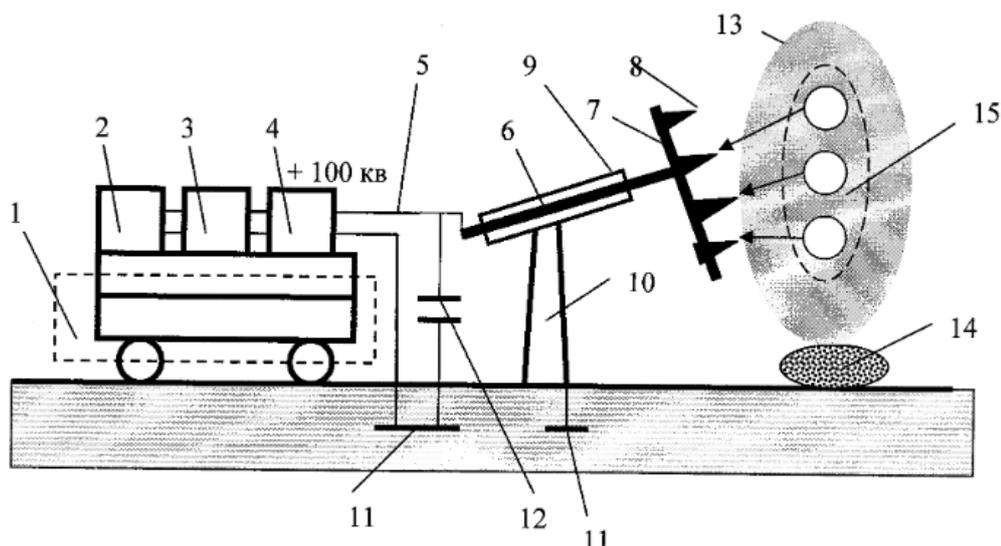
- быстрым гашением и срывом пламени посредством увеличения напряженности электрического поля;
- повышением площади поверхности средств электротушения, а конкретно электродов.

Тушение пожара при помощи бесконтактного электротушения осуществляется только при наличии источника высокого напряжения и подвижных гасящих электродов и высоковольтных проводов повышенной прочности.

А при помощи электрополя, которое, в конце концов, будет применено в качестве катализатора горения, можно как раз сделать процесс сжигания горючего прямо в камере сгорания на выпускном такте мотора наиболее интенсивным. Несомненно, стоит упомянуть и то, что из-за этого эффективность преобразования теплоты существенно возрастает,

таким образом, это в 2-3 раза увеличивает КПД обычного теплового мотора, поднимая его до 70-80%. Также из-за этого возрастает экономия горючего, приблизительно 30-40% от его объёма. При всем этом все рабочие свойства топлива отлично сохраняются без изменения каких-либо конфигураций.

На рисунке 2 приведено устройство электрического пожаротушения.



1 – передвижное транспортное средство; 2 – первичный источник напряжения ; 3 – регулятор напряжения; 4 – преобразователь напряжения; 5-высоковольтный кабель; 6 - электрод; 7 – деталь-головка; 8 – иглы; 9 – телескопическое устройство; 10 - основание; 11 - контур; 12 - конденсатор; 13 – факел горения; 14 – возгораемое вещество; 15 - облако

Рисунок 2 - Устройство электрического пожаротушения

Тушение пожара при помощи бесконтактного электротушения осуществляется только при наличии источника высокого напряжения и подвижных гасящих электродов и высоковольтных проводов повышенной прочности.

«Устройство электрического пожаротушения, содержащее передвижное средство, накопитель пламегасящего вещества, нагнетатель этого вещества в зону горения и устройство подачи пламегасящего вещества в зону пламени, соединенные между собой регулируемым по длине эластичным проводником, и выдвижное устройство, обеспечивающее

доставку этого устройства подачи в зону воздействия на очаг возгорания пламени, отличающееся тем, что в известном устройстве в качестве пламегасящего вещества использовано сильное электрическое постоянное поле положительного электрического потенциала, в качестве накопителя пламегасящего вещества использован источник электроэнергии, например бортовая аккумуляторная батарея, в качестве нагнетателя этого вещества использован высоковольтный преобразователь постоянного напряжения, в качестве устройства подачи гасящего вещества использован подвижный высоковольтный электрод с острием на конце, в качестве подвижного соединения между ними - высоковольтный кабель, а в качестве выдвижного устройства использовано телескопическое устройство подачи высоковольтного электрода в зону очага пламени, причем устройство дополнено накопителем электроэнергии высокого напряжения в виде высоковольтного конденсатора, присоединенного к выходу преобразователя высокого напряжения, и регулятором напряженности электрического поля в зоне горения» [15].

Если под коэффициентом полезного действия энергетической установки понимать отношение полезной работы к затраченной первичной энергии (химической энергии топлива и энергоносителя), то получается безрадостная картина крайней невыгодной реальной энергетики. Так, например, реальный КПД современных тепловых машин, включая и ДВС не более 30 %. Поэтому для того, чтобы резко облегчить проблему энергетического кризиса цивилизации надо срочно и эффективно заняться усовершенствованием самих энергетических преобразователей и потребителей энергии.

Устройство электрического пожаротушения заключается в применении высоковольтных электродов и созданием электрического поля для процесса гашения пламени.

«Технический положительный результат достигается в предлагаемой полезной модели модернизируемого известного устройства пожаротушения,

содержащем передвижное средство, накопитель пламегасящего вещества, нагнетатель этого вещества в зону горения и устройство подачи пламегасящего вещества в зону пламени, соединенные между собой регулируемым по длине эластичным проводником и выдвижное устройство, обеспечивающее доставку этого устройства подачи в зону воздействия на очаг возгорания пламени тем, что в качестве пламегасящего вещества использовано сильное электрическое постоянное поле положительного электрического потенциала, в качестве накопителя пламегасящего вещества использован источник электроэнергии, например бортовая аккумуляторная батарея, в качестве нагнетателя этого вещества использован высоковольтный преобразователь постоянного напряжения, в качестве устройства подачи гасящего вещества использован подвижный высоковольтный электрод с острием на конце, в качестве подвижного соединения между ними - высоковольтный кабель, а в качестве выдвижного устройства использовано телескопическое устройство подачи высоковольтного электрода в зону очага пламени, причем устройство дополнено накопителем электроэнергии высокого напряжения в виде высоковольтного конденсатора, присоединенного к выходу преобразователя высокого напряжения и регулятором напряженности электрического поля в зоне горения» [15].

Электротушение существенно отличается от применяемых способов тушения нефтепродуктов, где задействовано электрическое силовое поле, природой которого являются электромагнитные импульсы.

«Таким образом, для осуществления поставленной цели - бесконтактного быстрого тушения пламени предлагаемым устройством в этой полезной модели создают внешнее сильное однополярное постоянное электрическое поле, которое затем подают подвижным электродом в зону горения пламени. Напряженность этого сильного постоянного электрического поля в зоне горения пламени создают от маломощного высоковольтного источника постоянного напряжения, удаленного от зоны горения, и соединенного плюсовым высоковольтным электрическим

потенциалом высоковольтным кабелем в жаропрочной оболочке, с подвижным электродом с острием на конце, причем выбирают исходя из типа пламени и его интенсивности, напряженность в зоне пламени в пределах 7-30 кВ/см, исходя из типа пламени и его интенсивности. Такой метод тушения пламени основан на том, что во внешнем сильном электрическом поле, легкие и подвижные отрицательно заряженные электроны, и содержащиеся в пламени, начинают отклоняться к упомянутому положительно заряженному электроду и удаляются этим электрическим полем из зоны горения. В результате, нарушаются предельные критические параметры цепных реакций горения в зоне очага горения, и пламя быстро тухнет» [15].

Предлагаемый способ электротушения (основанный на электроугнетении факела пламени) позволяет быстро, эффективно и надежно, без проявления побочных эффектов предотвращать любое возгорание с любой интенсивностью горения, а разработанная электроогневая установка обеспечивает бесконтактное тушение пламени без использования каких-либо пламегасящих веществ (вода, пена, порошок и др.).

Эффективность тушения пожара при помощи бесконтактного электротушения предлагаю повысить следующими действиями:

- быстро гасить и срывать пламя можно посредством увеличения напряженности электрического поля, таким образом и достижение ликвидации пожара будет быстрее;
- повышая площадь поверхности средств электротушения, а конкретно электродов, тем с большей площади будет тушение пожара;
- для пожаров на открытой местности возможно применения способа только при наличии источника высокого напряжения (параметр напряжения которого можно регулировать);

- при устройстве способа необходимо наличие подвижных гасящих электродов и высоковольтных проводов повышенной прочности (как места укрепления электродов);
- показатель электрической мощности источника напряжения тушения не зависит от мощности пламени.

3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых способов и средств электротушения

Достоинства способа электротушения:

«Особенности и проблематичные стороны рассматриваемого способа тушения:

- тушение пожаров лишь на ограниченных площадях [33];
- необходим опыт в произведении расчетов физических характеристик электромагнитного и электрического полей;
- метод практически не применяется, поскольку имеются теоретические знания и небольшой практический опыт в использовании электротушения.

Преимущества применения бесконтактного электротушения:

- сокращение затрат на огнетушащее вещество, пожарную технику, пожарно-техническое вооружение, трудозатраты личного состава, поскольку затраты на осуществление способа несопоставимо малы с реальными и существующими способами;
- решение задачи по тушению пожаров в зданиях и сооружениях нефтегазовой и любой другой отрасли, труднодоступных местах с помощью введения робототехники;
- экологичность по применению;
- современное техническое решение;

– высокая эффективность тушения по сравнению с известными прототипами» [23].

Таким образом, показателями оценки функционирования систем электротушения являются:

- уровень насыщенности пламени ионами;
- показатель напряженности, исходя из типа пламени и его насыщенности;
- качественный подбор элементов системы тушения: электроды, источник напряжения;
- различное применение схем и устройства применяемых электродов;
- правильное разрушение цепных реакций горения;
- наличие электрополевого ограждения [7].

«Новую технологию пожаротушения можно использовать в качестве эффективного противопожарного средства, подавляющего процесс горения и обеспечивающего предотвращение возгорания ценных объектов. Несомненным плюсом этой технологии является то, что устройства электротушения не нуждаются в подзарядке огнетушащими средствами и очень просты в реализации» [2].

Площадь поверхности электродов должна быть равна площади проекции возникшего пламени в плоскости, а также для пожаров на открытой местности возможно применения способа.

Исследована реализация существующих технологий электротушения, определены показатели оценки функционирования систем электротушения, выявлены их достоинства и недостатки. Определена эффективность и рамки применения бесконтактного электротушения.

План финансового обеспечения мероприятия представлен в таблице 2 и 3.

Таблица 2 – План финансового обеспечения мероприятия

Наименование мероприятия	Основание	Стоимость, руб.	Срок реализации	Ответственный
Устройство электрического пожаротушения Пат. 69754 Российская Федерация, МПК А62С 37/08 (2006.01). СПК А62С 37/08 (2021.08). (54) Устройство электрического пожаротушения / Куприн Г.Н., Колыхалов Д.Г. и др	План мероприятий по улучшению условий труда на 2023-2024г.	120000	4 кв. 2023.	Главный инженер

Таблица 3 – Смета расходов на мероприятие

Наименование рабочей зоны	Устройство электрического пожаротушения
Стоимость оборудования, руб.	120000
Стоимость проектирования, руб.	40000
Стоимость монтажных работ, руб.	50000
Итоговая стоимость оснащения, руб.	210000

Экономический эффект измеряется разностью между денежным доходом от реализации мероприятия (предотвращенный ущербом) и денежными расходами на осуществление мероприятия:

$$Э_r = П - З, \quad (1)$$

где $Э_r$ – годовой экономический эффект, руб.;

$П$ – величина полученного дохода (прибыли) от реализации мероприятия, принимаем 4000000 (среднегодовой ущерб, который наносят пожары в нефтегазовой отрасли, исходя из площади и характеристики объекта);

З – затраты на реализацию мероприятия, руб.

$$\mathcal{E}_r = 4000000 - 210000 = 3790000 \text{ руб.}$$

Основной целью расчета экономического эффекта является определение эффективности.

Эффективность, стоит реализовывать мероприятие или нет, повлияет ли оно позитивно на обеспечение безопасности в организации:

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

где \mathcal{E} – экономическая эффективность мероприятия.

$$\mathcal{E} = \frac{4000000}{210000} = 19,047$$

Технический положительный результат заключается в устройстве пожаротушения, которое обеспечивает ТП при помощи подачи сильного электрического поля в очаг пожара (с положительными потенциалами).

В качестве источника электроэнергии применима аккумуляторная батарея.

Показатели, используемые для расчетов, оформлены в виде таблицы 3 с исходными данными.

Чистый экономический эффект:

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

где \mathcal{E}_t – результаты (эффекты, предотвращенный ущерб), достигнутые на t-ом шаге расчета;

\mathcal{Z}_t – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения.

$$\text{ЧЭЭ} = 600000 - 210000 = 390000 \text{ руб.}$$

Чистый дисконтированный доход ЧДД (другие названия - ЧДД, интегральный эффект, Net Present Value, NPV), это накопленный дисконтированный эффект за расчетный период:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (\text{Э}_t - \text{З}_t + \text{А}_t) \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (4)$$

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (600000 - 210000 + 15000) \frac{1}{(1+1,12)^t} = 218000 \text{ руб}$$

где Э_t – результаты (эффекты, предотвращенный ущерб), достигнутые на t -ом шаге расчета;

З_t – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения;

А_t – амортизационные отчисления, осуществляемые на этом шаге;

T – горизонт расчета;

E – норма дисконта.

Чем больше ЧДД, тем эффективнее проект. При отрицательном значении ЧДД проект неэффективен.

Срок окупаемости:

$$T_{\text{ок}} = T - \frac{\text{ЧДД}_T}{\text{ЧДД}_{T+1} - \text{ЧДД}_T}, \quad (5)$$

$$T_{\text{ок}} = 1 - \frac{218000}{325000 - 218000} = 3,1 \text{ года,}$$

где T – год, в котором значение чистого дисконтированного дохода последний раз отрицательное;

ЧДД_T – последнее отрицательное значение чистого дисконтированного дохода в период времени T ;

$ЧДД_{t+1}$ – первое положительное значение чистого дисконтированного дохода.

$$A = \frac{C-L}{n}, \quad (6)$$

где A – амортизационные отчисления;

C – стоимость оборудования;

L – ликвидационная стоимость;

n – нормативный срок службы.

$$A = \frac{210000-45000}{5} = 33\,000 \text{ руб.}$$

Ставка амортизации ($1/5=20\%$)

Индекс доходности ИД, или индекс рентабельности капвложений, рассчитывается как:

$$ИД = \frac{\sum_{t=0}^T (\Delta_t + A_t)(1+E)^{t-1}}{\sum_{t=0}^T K_t(1+E)^{t-1}}, \quad (7)$$

$$ИД = \frac{\sum_{t=0}^T (6000000 + 33000)(1 + 1,12)^{t-1}}{\sum_{t=0}^T K_t(1 + 1,12)^{t-1}} = 3,5$$

Таким образом, $ИД > 1$, то программа мероприятий в пределах горизонта планирования окупается, и соответственно, проект принимается.

Аварии на объектах нефтегазового комплекса следует рассматривать, как опасные явления, сопровождающиеся образованием горючей среды на огромной площади. Таким образом, это пожароопасная зона со взрывоопасной смесью в условиях технологического процесса. Отягчающим фактором является условие изменения давления, температуры. Все эти факторы могут негативно сказаться на функционирование городской инфраструктуры.

Объекты нефтегазового комплекса являются потенциально-опасными. Это обусловлено сложностью технологического процесса, многозадачностью

операций, характером и количеством обращающихся веществ (газ, нефтепродукты).

Расчет ЧЭЭ, ЧДД и срок окупаемости мероприятия представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Интегральные показатели эффективности мероприятия

Наименование показателей	Значение показателей по годам, д. е.				
	1	2	3	4	5
Капитальные вложения	120000	-	-	-	-
Ежегодные затраты	90000	-	-	-	-
Амортизация	33000	33000	33000	33000	33000
Эффект	390000	390000	390000	390000	390000
ЧЭЭ	390000	390000	390000	390000	390000
Коэффициент дисконтирования	1,89	1,78	1,68	1,54	1,47
ЧДД с нарастающим итогом	218000	218000	218000	218000	218000
Ток	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Дисконтированные капитальные вложения	120000	120000	120000	120000	120000
Дисконтированный доход	3250000	2200000	1560000	950000	830000
Индекс доходности	3,5				

Пожар, взрыв, нарушение технологического процесса, приведшие к аварии – все это необходимо рассмотреть.

Пожары на предприятиях нефтегазового комплекса происходят не так часто в силу обеспеченности процесса, тем не менее, при возникновении проходят не бесследно. Таким образом, актуальным вопросом является определение тактических методов и способов тушения объектов нефтегазового комплекса. Конкретным примером, требующим изучения, является способ бесконтактного электротушения.

Выводы к разделу 3

По результатам расчетов - рассчитанный показатель ЧДД (218000) показывает высокую эффективность.

Эффективность тушения пожара при помощи бесконтактного электротушения предлагается повысить следующими действиями:

- быстро гасить и срывать пламя можно посредством увеличения напряженности электрического поля, таким образом и достижение ликвидации пожара будет быстрее;
- повышая площадь поверхности средств электротушения, а конкретно электродов, тем с большей площади будет тушение пожара;
- для пожаров на открытой местности возможно применения способа только при наличии источника высокого напряжения (параметр напряжения которого можно регулировать);
- при устройстве способа необходимо наличие подвижных гасящих электродов и высоковольтных проводов повышенной прочности (как места укрепления электродов);
- для развития тематики исследования необходимо изучить поведение плоскостных электродов, которые противоположно заряжены и присоединены к источнику электрического поля.

Заключение

В ходе проделанной работы были изложены разработка проекта технического решения, направленного на улучшение техносферной безопасности и определены методы и разработка программы научных исследований, а также структура содержания ВКР. Кроме того, были проанализированы данные исследования и реализации ныне существующих технологий электротушения, приведены показатели оценки функционирования систем электротушения и достоинства и недостатки способа электротушения. Также показана эффективность и рамки применения бесконтактного электротушения.

В ВКР даны следующие теоретические данные:

- определены основные сведения о веществах, обращающихся на объектах нефтегазового комплекса – нефтепродуктах и газах;
- определены основные опасные параметры веществ, которые определяют потенциальную опасность самих объектов нефтегазового комплекса;
- выявлены и обобщены параметры устойчивого равновесия по недопущению аварийной ситуации на объектах нефтегазовой промышленности;
- описаны огнетушащие вещества, применяемые при пожарах на объектах нефтегазовой промышленности;
- определен принцип действия ВМП при тушении нефтепродукта;
- конкретизированы основные способы прекращения горения веществ на объектах нефтегазового комплекса;
- описаны методы организации тушения пожаров нефтепродуктов.

Отрицательным фактором является условие изменения давления, температуры. Все эти факторы могут негативно сказаться на функционирование городской инфраструктуры. Пожар, взрыв, нарушение

технологического процесса, приведшие к аварии – все это необходимо рассмотреть. Методы электротушения бесконтактным путем – тема обсуждаемая и интересна, но неприменяемая вследствие малого опыта практического применения.

Способы тушения, применяемые на объектах нефтегазовой промышленности:

- нефтепродукты – методом разбавления (поверхностный);
- нефтепродукты – методом изоляции (подслойный);
- газы – газовыми составами (азот, углекислота), методом точечного взрыва.

Анализ методов и принципов ведения подготовки выявил следующие особенности:

- пожаротушение нефтепродуктов строится на изучении теоретических методов тушения и принципах тушения пожара и ликвидации ЧС;
- структура работы и ведения действий строится на принципах единоначалия руководства [41];
- прежде всего, изучаются нормативы по охране труда и техники безопасности, поскольку все виды работ относят к опасным и экстремальным;
- подготовка личного состава зависит от практических тренировок личного состава руководителями (опытными профессионалами своего дела);
- важность становления личностного роста по критериям самообладания, стрессоустойчивости, ответственности и психологического равновесия;
- важность практического опыта предыдущих поколений и передача его молодым сотрудникам [11].

Технологии В.Д. Дудышева (основатель патентов по рассматриваемой теме, автор научных статей и монографий) при исследовании методов бесконтактного электротушения описал теоретические основы и сущность практического применения. В основе метода лежит принцип применения и использования электричества высокого напряжения с прерыванием цепных реакций горения для ТП.

Технология бесконтактного электротушения существенно отличается от применяемых ныне методов. Этот метода основан на свойстве электрического силового поля, природой которого являются электромагнитные импульсы.

Исследована реализация существующих технологий электротушения, определены показатели оценки функционирования систем электротушения, выявлены их достоинства и недостатки. Определена эффективность и рамки применения бесконтактного электротушения.

Показателями оценки функционирования систем электротушения являются:

- уровень насыщенности пламени ионами;
- показатель напряженности, исходя из типа пламени и его насыщенности;
- качественный подбор элементов системы тушения: электроды, источник напряжения;
- различное применение схем и устройства применяемых электродов;
- правильное разрушение цепных реакций горения;
- наличие электрополевого ограждения.

По результатам расчетов – рассчитанный показатель ЧДД (218000) показывает высокую эффективность. Положительный эффект заключается во внедрении устройства бесконтактного электротушения, где используется высоковольтное электричество.

Список используемых источников

1. Васильева Т.В., Хафизов Ф.Ш., Пермяков А.В., Хафизов И.Ф., Бакиров И.К. Применение технологии бесконтактного электротушения пожара на объектах нефтегазовой промышленности// Нефтегазовое дело. 2020. №3. С. 32-41. [Электронный ресурс]. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/4_2019/ogbus_4_2019_p32-41.pdf (дата обращения: 03.11.2022).
2. Васильева Т.В., Хафизов Ф.Ш. Электрическая технология бесконтактного тушения // Нефтегазовое дело. 2020. №3. С. 206-203. [Электронный ресурс]. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/4_2019/ogbus_4_2019_p32-41.pdf (дата обращения: 12.09.2022).
3. ГОСТ Р 51858-2002 Нефть. Общие технические условия. – Введ. 2002–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 2007. – 32 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028839> (дата обращения: 15.03.2022).
4. ГОСТ Р 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 1992–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 2020. – 27 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 15.09.2022).
5. ГОСТ Р 51858-2002. Нефть. Общие технические условия. – Введ. 2002–01–07 (актуализация 01.01.2022). – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 27 с.: [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028839> (дата обращения: 15.09.2022).
6. Кропотова Н.А., Топоров А.В. Аналитический обзор бесконтактных способов тушения и управления процессами горения // Пожаровзрывозащита. 2020. №3. С. 323-325. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskiy-obzor-beskontaktnyh-sposobov-tusheniya-i-upravleniya-protsessami-goreniya/viewer> (дата обращения: 15.09.2022).

7. О газоснабжении в РФ [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 31.03.1999 № 69 (ред. от 11.06.2021). URL: <https://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-31.03.1999-N-69-FZ/> (дата обращения: 15.09.2022).

8. О пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 21.12.1994 № 69 (ред. 11.06.2021). URL: <https://docs.cntd.ru/document/9028718> (дата обращения: 15.10.2022).

9. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 21.07.1997 № 116 (ред. от 11.06.2021). URL: <https://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-21.07.1997-N-116-FZ/> (дата обращения: 15.10.2022).

10. Об утверждении Боевого устава подразделений ПО, определяющего порядок тушения пожара [Электронный ресурс]: Приказ МЧС России от 16.10.2017 №444. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-MCHS-Rossii-ot-16.10.2017-N-444/> (дата обращения: 10.10.2022).

11. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» [Электронный ресурс] : Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 534. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573230594> (дата обращения: 15.10.2022).

12. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления» [Электронный ресурс] : Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 531. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573264156?ysclid=lexx1bcuod41076279> (дата обращения: 15.10.2022).

13. Охрана труда для нефтегазовых колледжей : учеб. пособие / авт.-сост. И. М. Захарова. — Ростов н/Д : Феникс, 2018. — 382 с.

14. Пат. 2754440 Российская Федерация, МПК А62С 37/08 (2006.01). СПК А62С 37/08 (2021.08). (54) Быстродействующая автоматическая

пожаротушащая система / Куприн Г.Н., Колыхалов Д.Г. и др. ; заявитель и патентообладатель ООО «НПО «Современные пожарные технологии»». - № 2020135702; заявл. 29.10.2020; опубл. 02.09.2021, Бюл. № 25. – 6 с. [Электронный ресурс] — URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2754440C1_20210902 (дата обращения: 15.10.2022).

15. Пат. 69754 Российская Федерация, МПК А62С 37/08 (2006.01). СПК А62С 37/08 (2021.08). (54) Устройство электрического пожаротушения / Куприн Г.Н., Колыхалов Д.Г. и др. ; заявитель и патентообладатель ООО «НПО «Современные пожарные технологии»». - № 2020135702; заявл. 29.10.2020; опубл. 02.09.2021, Бюл. № 25. – 6 с. [Электронный ресурс] — URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU69754U1_20080110 (дата обращения: 15.02.2023).

16. Пермяков А.В. Разработка электрического способа тушения пожара на газопроводах низкого давления [Электронный ресурс] : Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / 14. Пермяков А.В. Уфа, 2019. URL: https://rusoil.net/files/1006/PermyakovAV/1568902043_PermyakovAV-diss.pdf (дата обращения: 03.11.2022).

17. Пожарная безопасность технологии производств ведущих отраслей промышленности [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/1359489/> (дата обращения: 03.03.2022).

18. Пожарная тактика. Особенности ведения тактических действий по тушению пожаров на различных объектах [Электронный ресурс] : учебное пособие /Н. Ю. Клименти, О. С. Власова. М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. URL: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> (дата обращения: 15.10.2022).

19. Радикальное энергетическое и экологическое совершенствование теплоэнергетики, транспорта и промышленности на основе электроогневой

технологии Дудышева [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/techn/tec6626.htm> (дата обращения: 15.10.2022).

20. Разработка электрического способа тушения пожара на газопроводах низкого давления [Электронный ресурс]. URL: https://rusoil.net/files/1006/PermyakovAV/1568902043_PermyakovAV-diss.pdf (дата обращения: 15.10.2022).

21. Руководство по тушению нефтепродуктов: [Электронный ресурс]. URL: <https://goo.su/Lo8lR6> (дата обращения: 15.10.2022).

22. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках от 01.01.2000 (ред. от 12.05.2018) : [Электронный ресурс]. URL: <https://vzrk.ru/public/images/31.pdf?ysclid=lexz7z1myi785279017> (дата обращения: 15.10.2022).

23. Свод правил. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности. – Введ. 2014-01-01 (актуализация 01.01.2022). – М. : СП 155.13130.2014. – 27 с.: [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108948?ysclid=lexydmkng063979111> (дата обращения: 05.03.2023).

24. Специфические свойства нефтепродуктов [Электронный ресурс]. URL: <https://www.himstalcon.ru/articles/spetsificheskie-svoystva-nefteproduktov?ysclid=lexvtvlx8r446960760> (дата обращения: 15.02.2023).

25. Средства пожаротушения: чем и как тушат пожары [Электронный ресурс]. URL: <https://zarya.one/blog/sredstva-pozharotusheniya/> (дата обращения: 15.10.2022).

26. Степанов, Е.М. Ионизация в пламени и электрическое поле / Е.М. Степанов, Б.Г. Дьячков. – М.: Металлургия, 1968. – 201 с.

27. Технический регламент о безопасности зданий сооружений [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 30.12.2009 № 384 (ред. от 02.07.2013). URL: <https://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-30.12.2009-N-384-FZ/> (дата обращения: 15.10.2022).

28. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 28.07.2008 № 123 (ред. от 30.04.2021). URL: <https://rulings.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-22.07.2008-N-123-FZ/> (дата обращения: 15.10.2022).

29. Технология бесконтактного электротушения пожара, в том числе на объектах нефтегазовой промышленности [Электронный ресурс] : учебное пособие /М.А. Балускин, 2022. URL: <https://os-russia.com/SBORNIKI/SN-2022-09-1.pdf> (дата обращения: 03.11.2022).

30. Тимофеева С.С., Дроздова Т.И., Плотникова Г.В., Гольчевский В.Ф. Физико-химические основы развития и тушения пожаров : учеб. пособие. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2013. – 178 с.

31. Тушение огня при помощи электричества [Электронный ресурс]. URL: <http://pojarunet.ru/tushenie-ognya-pri-pomoshchi-elektrichestva> (дата обращения: 10.03.2023).

32. Тушение пожаров в резервуарах и резервуарных парках [Электронный ресурс]. URL: <https://gazovik-neft.ru/directory/info/fire-fighting/03.html> (дата обращения: 15.10.2022).

33. Тушение пожаров на нефтехимических объектах [Электронный ресурс]. URL: <https://fireman.club/presentations/tushenie-pozharov-na-neftehimicheskikh-obektah/> (дата обращения: 15.10.2022).

34. Фрюнгель, Ф. Импульсная техника. Генерирование и применение разрядов конденсаторов / Ф. Фрюнгель. - М.-Л.: Звезда, 1965. – 642 с.

35. Хафизов, Ф. Ш. Исследование влияния электромагнитного поля высокой напряженности на пламя / Ф. Ш. Хафизов [и др.] // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2016. – № 2. – С. 105-110.

36. Fire alarm system design with Safety Systems Designer. – URL: <https://www.boschsecurity.com/xc/en/solutions/fire-alarm-systems/fire-alarm-system-design/> (дата обращения: 20.01.2022).

37. Fire Protection Technology. – URL: <https://www.usfa.fema.gov/prevention/technology/> (дата обращения: 20.01.2022).

38. Fire technology news & articles. – URL: <https://www.firerescue1.com/fire-products/technology/articles/> (дата обращения: 20.01.2022).

39. Information inversion and dynamic analysis of video-driven fire detection based on object-oriented segmentation Cheng Y., Bai H., Li Z., Zhang Y., Chen L., Chen K. 1599-1616.

40. ISO 25523-1:2020. Information about fire and objects. – Fires at chemical plants – Part 1: Thesauri for information retrieval. – URL: <https://www.iso.org/standard/53657.html> (дата обращения: 20.01.2022).

41. Public Fire Information Websites. – URL: <https://www.fs.usda.gov/science-technology/fire/information> (дата обращения: 20.01.2022).