

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа
Кафедра «Разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Н.Д. Булчаев
«__» _____ 2017г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Методы ликвидации аварий, связанных с открытыми выбросами с возгоранием,
при разработке нефтяных месторождений

23.04.03 «Эксплуатация транспортно- технологических машин
и комплексов»

23.04.03.00.05 «Управление разработкой нефтяных месторождений»

Научный руководитель	_____	_____	<u>Н.Д.Булчаев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>О.В. Помолотова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	_____	<u>Г.Н. Булчаев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа
Кафедра «Разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Н.Д. Булчаев
«__» _____ 2017г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

Студенту Помолотовой Оксане Викторовне

Группа НМ15-05М

Направление 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Магистерская программа 23.04.03.00.05 Управление разработкой нефтяных месторождений

Тема выпускной квалификационной работы: Методы ликвидации аварий, связанных с открытыми выбросами с возгоранием, при разработке нефтяных месторождений

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель МР: Н. Д. Булчаев, кандидат технических наук, доцент, доцент, зав. кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений ИНиГ СФУ

Исходные данные для ВКР:

1. Обзор существующих способов тушения пожаров на фонтанирующих нефтегазовых скважинах и определение основных параметров пожара;
2. Описание технической реализации нового способа тушения и тактики его применения;

Перечень разделов ВКР:

Введение;

1. Обзор существующих способов воздействия на форму факела пламени и устройств для их реализации, применяемых при тушении нефтяных и газовых скважин;
2. Факельный зонт;
3. Пожарный роботизированный комплекс;

Заключение;

Список использованных источников.

Приложение

Руководитель ВКР

подпись

Н.Д. Булчаев

инициалы, фамилия

Календарный график

Выполнение этапов ВКР

Наименование и содержание этапов	Срок выполнения
Составление библиографического списка по теме магистерской диссертации	21.10.2015 – 30.01.2016
Сбор и обработка данных для проведения исследования по теме	1.02.2016- 14.03.2016
Аналитическая часть, инженерные расчеты	15.03.2016 – 14.04.2016
Написание и подача заявок на выдачу патентов	15.04.2016- 16.09.2016
Обработка полученных данных, написание и публикация статьи	17.09.2016 – 01.06.2017

Руководитель МД

подпись

Н.Д. Булчаев

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

О.В. Помолотова

инициалы, фамилия

« ___ » _____ 2017г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Методы ликвидации аварий, связанных с открытыми выбросами с возгоранием, при разработке нефтяных месторождений» содержит 97 страниц текстового документа, 55 формул, 24 рисунка, 16 таблиц, 21 использованных источников.

НЕФТЕГАЗОВАЯ СКВАЖИНА, СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ, АНАЛИЗ, ПАРАМЕТРЫ ПОЖАРА, ФАКЕЛЬНЫЙ ЗОНТ, ПОЖАРНЫЙ РОБОТ, РАСЧЕТ СИЛ И СРЕДСТВ

Объект исследования: нефтегазовая скважина с возгоранием

Целью данной магистерской диссертации является: разработка технологии ликвидации открытого выброса с возгоранием.

Задачами являются:

- выбор пожарного робота оптимально подходящего для пожарного роботизированного комплекса из существующих;
- разработка технического решения оснащения ПРК с учетом экономической целесообразности;
- разработка тактики использования ПРК.

В ходе данной работы было установлено, что треть аварий на объектах нефтегазового комплекса составляют пожары. Воздействие опасных факторов пожара на людей, работающих в непосредственной близости с очагом пожара, существенно снижает их уровень безопасности. Для решения этой проблемы был предложен инновационный способ тушения, который исключит необходимость нахождения работников противопожарной службы, пожарных в опасной зоне.

Также в ходе расчетов было установлено, что вариант тушения с использованием пожарного роботизированного комплекса является эффективным и затраты, необходимые на реализацию данного способа, целесообразны.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Обзор существующих способов воздействия на форму факела пламени и устройств для их реализации, применяемых при тушении нефтяных и газовых скважин.....	9
1.1 Особенности тушения пожаров на нефтяных и газовых скважинах.....	9
1.2 Способ воздействия на форму факела пламени посредством АГВТ	17
1.3 Сопло Лавалья	22
1.4 Тушение пожара порошковым пламеподавителем ППП 200.....	23
1.5 Способ тушения пожара посредством взрывной волны.....	27
1.6 Способы воздействия на форму факела пламени звуковыми и электромагнитными волнами.....	31
2 Факельный зонг.....	33
2.1 Газодинамическое обоснование протекающих процессов внутри факельной установки.....	34
2.2 Структура факельной установки	37
3 Пожарный роботизированный комплекс.....	39
3.1 Структура пожарного роботизированного комплекса.....	39
3.2 Обоснование физического смысла воздействия магнитного поля на пламя.....	41
3.3 Расчет сил, необходимых для реализации тушения данным способом	43
3.4 Выбор стандартных устройств в качестве структурных элементов пожарного роботизированного комплекса.....	49
3.4.1 Сравнительная характеристика пожарных роботов.....	49
3.4.2 Выбор магнита и проводов, подключающих его к источнику тока....	62
3.4.3 Выбор дистанционного пункта управления пожарным роботизированным комплексом.....	67
3.5 Тактика использования пожарного роботизированного комплекса.....	67
4 Расчет сил и средств для тушения пожара.....	69

4.1 Описание объекта в расчет основных параметров пожара.....	69
4.2 Расчет сил и средств для тушения пожара при помощи техники, имеющейся на вооружении пожарной части.....	77
4.3 Расчет сил и средств для тушения пожара при помощи пожарного роботизированного комплекса.....	84
Заключение	88
Список использованных источников	91
Приложение А	93
Приложение Б.....	95

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одними из самых опасных видов аварий на объектах нефтегазовой отрасли являются аварии, связанные с возникновением пожаров.

Из всех видов известных аварий на месторождениях углеводородов особую опасность представляют открытые газовые и нефтяные фонтаны.

Открытый фонтан (ОФ) - это неуправляемое истечение пластовых флюидов через устье скважины в результате отсутствия, технической неисправности, негерметичности, разрушения противовыбросового оборудования или вследствие грифообразования. Значительно усугубить положение может возгорание открытого газонефтяного фонтана[1].

Борьба с пожарами на нефтяных и газовых месторождениях, часто находящихся в труднодоступных регионах, требует привлечения огромных материально-технических ресурсов и может продолжаться длительное время.

Вред, нанесенный окружающей среде в зоне пожара и прилегающих районах колоссален.

Пожары на открыто фонтанирующих газонефтяных скважинах являются одними из наиболее сложных видов промышленных аварий.

Статистика аварийности свидетельствует о том, что на объектах нефтегазодобычи происходит около 30 аварий ежегодно. Основные их виды - газонефтяные выбросы и фонтаны, взрывы и пожары (в среднем 57 % от общего числа аварий). К остальным относятся падения и разрушения частей вышек (буровой, эксплуатационной), падение талевого системы при глубоком бурении и подземном ремонте скважин, Например, по сообщениям противofонтанной службы, в Западной Сибири 2007 - 2010гг. фонтаны происходили при ремонте скважин в процессе подъема насосно-компрессорных труб, при глушении скважин, прорывах газа на поверхность за обсадными трубами из-за некачественного цементного камня, при демонтаже

противовыбросового оборудования; при срыве пакера после гидроразрыва, разрыва корпуса задвижки фонтанной арматуры; при падении насосно-компрессорных труб с электроцентробежным насосом на забой с обрывом кабеля и разгерметизацией устья на вводе кабеля в скважину во время спуска электроцентробежного насоса, при гидроразрыве пласта из-за отсутствия противовыбросового оборудования на устье[1].

Более чем в 80 % случаев возникновения ЧС связаны с деятельностью человека и происходят они часто из-за низкого уровня профессиональной подготовки, а также неумения правильно и вовремя определить свое поведение в экстремальных условиях. Наиболее эффективными мероприятиями по борьбе с ЧС являются те, которые направлены на их предотвращение или максимально возможное снижение уровня проявления ЧС, т.е. это профилактические меры.

Имеются два основных пути минимизации, как вероятности возникновения, так и последствий ЧС на любом предприятии. Первое направление состоит в разработке и последующим осуществлении таких организационных и технических мероприятий, которые уменьшают вероятность проявления опасного само поражающего потенциала технических систем. Суть второго направления - подготовка объекта, обслуживающего персонала, подразделения ГО, мирного населения к действиям непосредственно в ЧС. В основе его лежит формирование планов действий в ЧС, однако для их создания нужны детальные разработки сценариев возможных аварий и катастроф на конкретных объектах [3].

Актуальность проблемы экологической и промышленной безопасности особенно возрастает на современном этапе социально-экономических преобразований и развития производительных сил. Поэтому, оперативное и своевременное тушение пожаров фонтанирующих скважин является важной задачей обеспечения безопасности на месторождении.

На сегодняшний день не существует абсолютно эффективного способа тушения пожара фонтанирующих нефтегазовых скважин, поэтому в 2016 г. в Институте нефти и газа ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» была начата разработка пожарного роботизированного комплекса, предназначенного для помощи в тушении пожаров, а также была проведена работа по усовершенствованию вытяжной факельной трубы, навешиваемой над пламенем, предложенную Булчаевым Н.Д., Безверхой Е.В. [3].

Целью данной магистерской диссертации является: разработка технологии ликвидации открытого выброса с возгоранием.

Задачами являются:

- усовершенствование факельного зонга;
- выбор пожарного робота оптимально подходящего для пожарного роботизированного комплекса из существующих;
- разработка технического решения оснащения ПРК с учетом экономической целесообразности;
- разработка тактики использования ПРК.

Актуальность работы:

Повышение уровня безопасности работников противofонтанной службы, пожарных, участвующих в ликвидации пожара нефтегазового фонтана, посредством использования инновационных способов тушения.

1 Обзор существующих способов воздействия на форму факела пламени и устройств для их реализации, применяемых при тушении нефтяных и газовых скважин

1.1 Особенности тушения пожара на нефтяных и газовых скважинах

Случаи аварийного фонтанирования встречаются в практике довольно часто и все они требуют специального изучения. Характер фонтанирования зависит от состояния устья скважины и ее конструкции, а также от вида работ на скважине.

Пожары на фонтанирующей скважине характеризуются по составу:

- нефтяные, где нефти больше 50%;
- газонефтяные, где нефти 10-50%
- газовые, где 90% газа.

По внешним признакам можно различать их по виду пламени и выпадению нефти на площадь, окружающую скважину.

По конфигурации пламени (рис. 1):

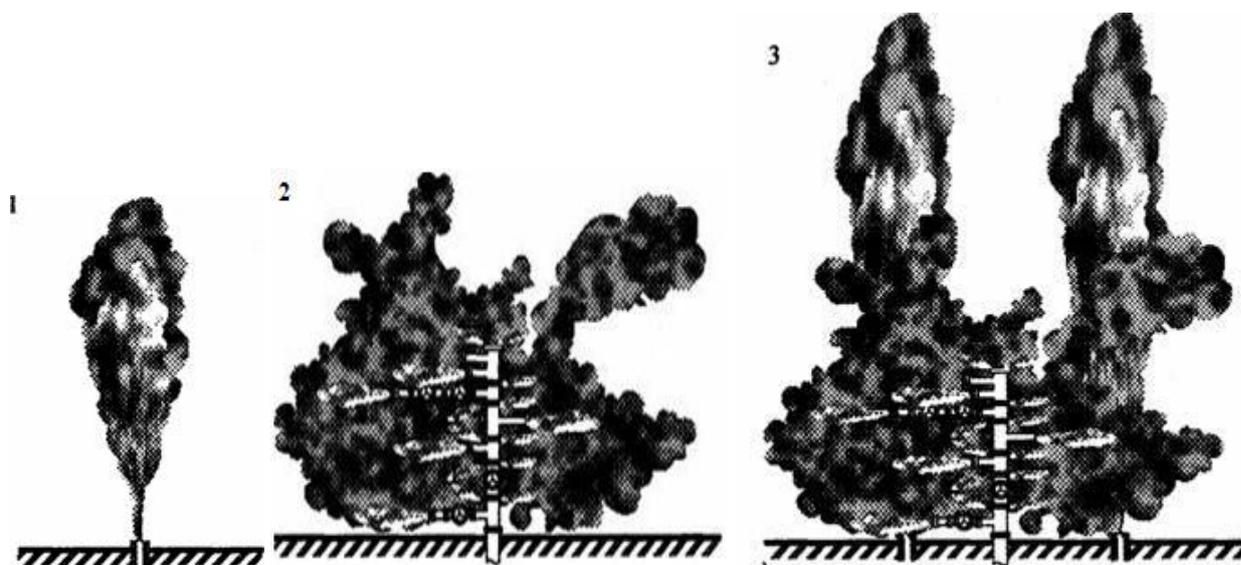
- компактные (фонтанирование происходит через открытую трубу или эксплуатационную колонку тройник, крестовину);
- распыленные (истечение происходит через неплотности в соединениях или когда устье загромождено буровым оборудованием),
- комбинированные, где имеется распыленный и компактный факел

По количеству скважин:

- одиночные
- групповые

По дебиту (расходу) фонтанирующие скважины делятся на (табл.1):

- слабые
- средние
- мощные



1 – компактная 2 – распыленная 3 - комбинированная

Рис. 1- Виды струй фонтана

Таблица 1- Деление фонтанирующих скважин по внешним признакам[7]

Вид фонтана	Дебит фонтана млн. м ³ / сутки	
	компактного	распыленного и комбинированного
Слабый	до 2	до 1
Средний	2-5	1-2
Мощный	5	2

Рассмотрим особенности горения открытого фонтана. В реальных условиях в тех случаях, когда газ или пары воспламеняются после начала их аварийного истечения, наблюдается диффузионное горение. Типичным и довольно распространенным примером является диффузионное горение при разрушении магистральных трубопроводов, на аварийной фонтанирующей морской или сухопутной скважине, на газоперерабатывающих заводах.

Известно, что при горении фонтана природного газа, основным компонентом которого является метан, горение происходит в диффузионном режиме и имеет ламинарный характер. Концентрационные пределы распространения пламени (КПРП) для метана составляют 5 - 15 % об. Изобразим структуру пламени и построим графические зависимости изменения

концентрации метана и скорости реакции горения от расстояния до осевой фонтана (рис. 2).

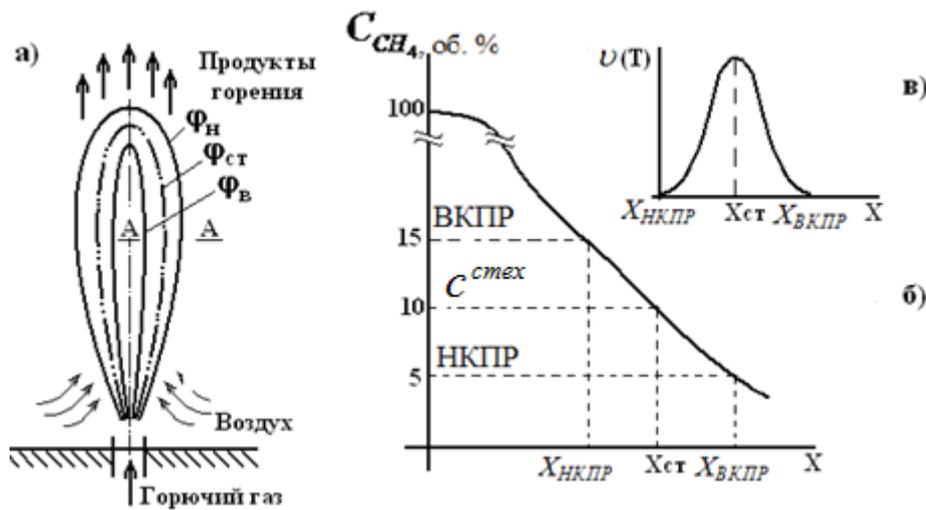


Рис.2 - Схема диффузионного ламинарного пламени газового фонтана (а), изменение концентрации горючего (б), скорости реакции горения (в) по фронту пламени.

Концентрация газа снижается от 100 % на осевой фонтана до значения верхнего концентрационного предела воспламенения и далее до НКПР на его периферии.

Горение газа будет происходить только в интервале концентраций от ВКПР до НКПР, т.е. в пределах концентрационной области его воспламенения. Скорость реакции горения $v(T)$ будет равна нулю при концентрациях, выше ВКПР и ниже НКПР, и максимальной при $C_{CH_4}^{стех}$

Таким образом, расстояние между $X_{НКПР}$ и $X_{ВКПР}$ определяет ширину фронта диффузионного пламени:

$$f_{п} = X_{НКПР} - X_{ВКПР}$$

Условия горения газовых фонтанов удобнее рассмотреть на примере газовых струй. В реальных условиях такие струи являются турбулентными. При

воспламенении струи газа, вытекающей из скважины, образуется так называемый диффузионный факел, имеющий симметричную веретенообразную форму (рис. 2). Химические реакции горения идут в тонком поверхностном слое факела, который в первом приближении можно считать поверхностью, где концентрации топлива и окислителя обращаются в ноль, а диффузионные потоки топлива и окислителя к этой поверхности находятся в стехиометрическом соотношении. Диффузионный фронт горения имеет нулевую скорость распространения, поэтому самостоятельно удержаться на текущей вверх струе не может.

Стабилизация пламени на струе происходит в самой нижней части факела, где реализуется другой механизм горения. При истечении газа из отверстия на начальном не горящем участке поверхности струи образуется турбулентный слой смешения газа и окружающего воздуха. В этом слое концентрация газа в радиальном направлении плавно падает, а концентрация окислителя нарастает. В средней части слоя смешения возникает гомогенная смесь топлива и окислителя с составом, близким к стехиометрическому. При воспламенении такой подготовленной к горению смеси фронт пламени может распространяться в слое смешения с конечной скоростью даже навстречу потоку, если скорость горения превышает по величине локальную скорость потока. Но так как по мере приближения к выходному отверстию скорость струи нарастает, то на некоторой высоте скорость струи становится равной скорости горения, и пламя стабилизируется на поверхности струи на этой высоте. Точно рассчитать скорость турбулентного горения не представляется возможным. Однако оценки показывают, что значение приблизительно равно пульсационным скоростям струи, величина которых пропорциональна осевой скорости. Из экспериментальных данных следует, что максимальные значения среднеквадратичных пульсаций продольной компоненты скорости составляют 0.2 осевой скорости. Принимая эту величину за скорость турбулентного горения, можно считать, что максимальная скорость распространения пламени навстречу фонтанирующей со скоростью 300-450 м/с струе газа будет порядка

50 м/с.

При тушении пожаров мощных газовых фонтанов возникает необходимость в оценке дебита (D) горящего фонтана, так как расход газаявляется одним из основных параметров, определяющих объемы работ и материально-технических средств, необходимых для ликвидации аварии.

Однако непосредственное измерение расхода горящего фонтана в большинстве случаев оказывается невозможным, а эффективных дистанционных способов определения расхода струи не существует. Расход мощных газовых фонтанов может быть достаточно точно определен по высоте факела (H).

Известно, что высота турбулентного факела, образующегося при горении нормально расширенных газовых струй с дозвуковой скоростью истечения, не зависит от скорости или расхода струи, а определяется лишь диаметром отверстия (d), из которого струя вытекает, теплофизическими свойствами газа и его температурой (T) на выходе из отверстия.

Известна эмпирическая формула расчёта дебита фонтана по высоте факела:

для газа

$$Q = 0,0025H \frac{2}{\phi} \quad (1)$$

для нефти

$$Q = 0,08us \quad (2)$$

где v – скорость м/с;

S – площадь сечения м²

На реальных пожарах ламинарный режим горения практически не встречается. Газ, как в пласте газового месторождения, так и в транспортных трубопроводах и в технологических установках, находится под давлением.

Поэтому расходы газа при аварийном истечении будут очень большими – до 100 м³/сутки. На пожарах фонтанирующих газовых скважин до 10 млн. м³/сутки. Естественно, что в этих условиях режимы истечения, а значит, и режимы горения будут турбулентными.

Для расчета сил и средств на тушение горящих газовых факелов необходимо знать расход газа. Исходные данные для его расчета практически всегда отсутствуют, поскольку неизвестны либо давление газа в технологическом оборудовании, либо в пласте месторождения. Поэтому на практике пользуются экспериментально установленной зависимостью высоты пламени факела от расхода газа[11]. Высоту пламени компактного фонтана можно определить по графику (рис.3).

Расстояние от устья скважины до фронта пламени оказывает влияние на способ тушения и имеет значение $l = 0,4-3,5$ м при $Q = 0,5-2$ млн м³/сутки.

Тепловые потоки, исходящие от факела горящих фонтанирующих скважин, различны и оказывают большое влияние на все, что находится в радиусе их действия. Плотность тепловых потоков зависит от ряда факторов: дебита, температуры пламени, его площади и др.

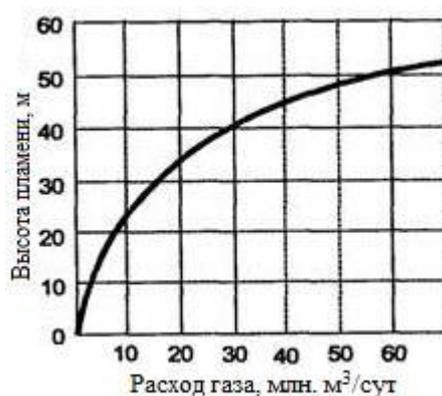


Рис.3 - Зависимость высоты факела фонтана от дебита скважины

Плотность тепловых потоков можно снизить за счет подачи воды в струю фонтана, создания экрана и применения средств индивидуальной защиты. Аварийное фонтанирование до воспламенения может продолжаться несколько суток, в результате вблизи фонтана (скважины) образуется зона загазованности

и растекания нефти (загазованность на несколько километров, а разлив на сотни метров), а если фонтанирование происходит на море, то значительная площадь поверхности воды покрывается нефтью.

После воспламенения фонтана через 15-30 мин металлоконструкции в зоне пламени теряют несущую способность, деформируются и загромождают устья. С течением времени от воздействия пламени, воды, нефти или газа может происходить ослабление крепления устьевого оборудования, повреждение скважины может привести к изменению вида фонтанирования, состава струи или дебита.

На кусте скважины располагают в 3 м друг от друга, и скорость распространения пожара значительно больше, чем в одиночной скважине. Особенностью распространения пожара в условиях моря является создание угрозы соседним сооружениям за счет перемещения пламени и нефти по воде. Когда волнение моря до 2 баллов, пленка нефти способна перемещаться по направлению ветра до 1 км/ч.

Одним из серьезных осложнений пожара может объясняться образование кратера на устье или грифонов на прилегающей территории (рис. 4).

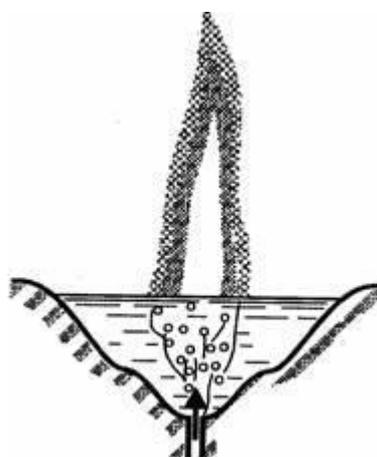


Рис.4 -Образование кратера на скважине

В целом особенности обстановки можно характеризовать следующими параметрами:

- большой скоростью распространения горения в объеме фонтанирующей Струи

- значительной скоростью стабилизации теплофизических параметров;
- возможностью распространения пожара в пределах зоны загазованности и разлива нефти;
- возможностью изменения во времени характера фонтанирования, состава, вида струи и дебита;
- образованием группового фонтанирования на кустах скважин.

Наличие кратеров или грифонов определяет формы организации, выбора способа тушения и огнетушащих средств[7].

Основному этапу ликвидации горящих фонтанов предшествует этап подготовительных работ, в течение которого определяют:

- надежность защиты соседних сооружений;
- возможность эвакуации из опасной зоны ценного оборудования;
- состояние устья скважины и установленного на ней оборудования;
- характер фонтанирования;
- источники водоснабжения и наличие запасов воды[1].

Одним из основных параметров фонтана, определяющих условия и способ тушения является дебит скважины. Дебит скважины определяет штаб соответствующей организации добычи нефти или газа и выдает данные в штаб организации борьбы с фонтанами[7].

В процессе бурения скважины при фонтанировании без возгорания фонтаны могут быть ликвидированы механическим и гидравлическим способами. Первый способ заключается в закрытии потока механическими средствами (закрытие трубного пространства заранее установленным на устье скважины превентором или с помощью специальной аварийной планшайбы, имеющей задвижку и патрубки на резьбе, соответствующей резьбе насосно-компрессорных труб, спускаемых в данную скважину).

Второй - в задавливании скважины тяжелыми растворами (применяют глинистый раствор или соляной раствор, с помощью которого создается противодействие на продуктивный пласт).

При невозможности ликвидировать открытый фонтан указанными способами применяют взрыв в призабойной зоне в целях обрушения пород в фонтанирующей скважине или пробуривают наклонную скважину к стволу фонтанирующей скважины для отвода газа и нефти[12].

До настоящего времени тушение пожаров газонефтяных фонтанов осуществлялся следующим образом: мощными водяными струями; струями огнетушащих порошков, подаваемых в факел сжатым газом; газоводяными струями, создаваемыми авиационными турбореактивными двигателями; взрывом мощного сосредоточенного заряда взрывчатого вещества, подвешиваемого вблизи основного факела.

Методы различны, что обусловлено, с одной стороны, исключительной сложностью технической проблемы, многофакторностью и разнообразием конкретных ситуаций на таких пожарах, а с другой – ограниченной эффективностью каждого из этих способов.

- закачкой воды в скважину или закрытием задвижек противовыбросового оборудования;
- струями автомобилей газоводяного тушения;
- импульсной подачей порошка специальными установками;
- водяными струями из лафетных стволов;
- взрывом заряда ВВ;
- вихрепорошковым способом;
- огнетушащим порошком с помощью пожарных автомобилей;
- бурением наклонной скважины и закачка в нее специального раствора;
- комбинированным способом.

1.2 Способ воздействия на форму факела пламени посредством АГВТ

При тушении пожаров открытых фонтанов чаще всего применяются лафетные стволы (гидромониторы), автомобили газоводяного тушения АГВТ-100 и АГВТ-150, пневматические порошковые пламеподаватели ППП-200.

На сегодняшний день наибольшее распространение получил способ тушения фонтанов с помощью АГВТ [1]. АГВТ представляет собой пожарный автомобиль, на шасси которого размещен турбореактивный двигатель. Установка имеет топливную систему питания реактивного двигателя, гидравлическую систему для управления двигателем, систему подачи воды в выхлопную струю двигателя, а также систему орошения. Управление автомобилем осуществляется с платформы или дистанционно с помощью выносного пульта. Тушение газовой струей факела осуществляется следующим образом: струя подводится под основание пламени, фиксируется относительно факела и плавно перемещается по оси факела вверх до срыва пламени, при прорыве пламени атака повторяется. Также используют комбинированное тушение совместно с лафетными стволами. Сначала подают лафетные стволы, которые поднимают фронт пламени до максимальных значений, затем включают в работу АГВТ.

Это способствует локализации фронта пламени, снижает высоту факела и ослабляет интенсивность теплового излучения.

Количество АГВТ для тушения определяется по формуле:

$$N_{\text{АГВТ}} = \frac{Q}{g}, \quad (3)$$

где Q – дебит фонтана, млн. м³/сут; g – предельный дебит, который может потушить один автомобиль, млн. м³/сут.

Обладая высокой теплоемкостью, газовой струи могут также применяться для охлаждения устьевого оборудования, металлоконструкций и прилегающей территории вокруг скважины.

Предельный дебит фонтана, который может быть потушен одним автомобилем газовой струей тушения, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Предельный дебит фонтана, который тушится одним автомобилем АГВТ-150.

Вид фонтана	Предельный дебит, млн. м ³ /сут газа
Компактный вертикальный	4,5
Компактный горизонтальный	3,5
Распыленный	2,0
Комбинированный	2,0

Расчетное время тушения 15 минут. Необходимость и продолжительность дальнейшей работы автомобиля АГВТ для охлаждения фонтана и прилегающей территории после ликвидации горения определяется РТП.

Если имеющихся автомобилей газоводяного тушения недостаточно, то тушение фонтана можно осуществить комбинированно: газоводяными струями от автомобилей АГВТ и водяными струями из лафетных стволов.

Расчет потребного количества лафетных стволов производится следующим образом. Из фактического дебита фонтана вычитают предельный дебит, который тушится автомобилями АГВТ, и по полученной разности определяют требуемое количество лафетных стволов. При этом коэффициент эффективности лафетных стволов принимают равным 0,7.

Для вывода автомобилей АГВТ на боевые позиции готовятся, как правило, две площадки: основная и запасная. Площадки должны удовлетворять следующим требованиям:

- основная площадка размещается с наветренной стороны, а запасная – с учетом возможного изменения направления ветра;
- расстояние от площадки до устья скважины должно быть не более 15 м;
- ширина площадки принимается из расчета расстановки потребного количества автомобилей с разрывами между ними не более 1,0 м;
- площадки оборудуются подъездами для автомобилей АГВТ и страхующих тракторов.

Автомобили газоводяного тушения выводятся на боевую позицию поочередно и закрепляются с помощью ручных тормозов и тормозных колодок, подкладываемых под колеса. На боевой позиции они размещаются не далее 15 м от устья скважины, причем центральный угол между крайними газоводяными струями не должен превышать 90° .

Допустимый угол между газоводяной струей и направлением ветра принимается в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 – Зависимость предельно допустимого угла между газоводяной струей и направлением ветра от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	Предельно допустимый угол
до 5	90°
5-10	30°
более 10	15°

После установки автомобилей АГВТ на боевой позиции к ним присоединяются рукавные линии, подается вода и турбореактивный двигатель выводится на заданный режим работы.

Автомобили газоводяного тушения защищают стационарной системой орошения и распыленными водяными струями из ручных стволов, обращая особое внимание на орошение резины колес. При этом, во избежание нарушения режима работы турбореактивного двигателя не следует допускать попадание воды в его приемные воздушные камеры.

Для создания газоводяной струи необходимо подать 60 л/с воды на каждый автомобиль АГВТ-100 и 90 л/с воды – на автомобиль АГВТ-150.

Потребный набор на насосах пожарных автомобилей, подающих воду в автомобили АГВТ, принимается в зависимости от схемы подачи воды и длины рукавных линий.

К тушению фонтана приступают после охлаждения устьевого оборудования и металлоконструкций и ликвидации очагов горения вокруг устья скважины. Охлаждение металлоконструкций и прилегающей территории осуществляется водяными струями из лафетных стволов; в отдельных случаях могут быть использованы газоводяные струи. Ликвидацию очагов горения нефти вокруг скважины производят водяными струями из лафетных стволов, газоводяными струями от автомобилей АГВТ, средствами пенного тушения.

При тушении компактных фонтанов газоводянная струя подводится под основание пламени, центрируется относительно факела и плавно перемещается вверх по оси фонтана до тех пор, пока не прекратится горение. В случае прорыва пламени вниз газоводянная струя возвращается в исходное положение, и атака повторяется. Если для тушения фонтана используется две и более газоводяных струй, последнее следует перемещать по оси фонтана синхронно.

В случае применения совместно с автомобилями газоводяного тушения водяных струй из лафетных стволов тушение осуществляется в следующем порядке. Лафетные стволы устанавливаются вокруг устья скважины так, чтобы газоводяные струи не могли сбить их с выбранных позиций. Водяные струи вводятся в основание пламени и постепенным перемещением вверх по оси фонтана приподнимают пламя до предельного положения, при котором оно вниз не прорывается. Затем лафетные стволы закрепляются, и личный состав отходит в безопасное место. После этого вводятся в действие газоводяные струи от автомобиля АГВТ.

Горизонтальные компактные фонтаны тушатся так же, как и вертикальные, но перемещение газоводяных струй производится не снизу вверх, а горизонтально, вдоль оси фонтана.

При тушении распыленных фонтанов газоводяную струю подводят к основанию пламени, центруют относительно фонтана и перемещением вверх (при необходимости в стороны) обрабатывают места истечения струй фонтана до полного гашения пламени. В случае порыва пламени газоводяную струю

возвращают в исходное положение, и атака повторяется. При тушении двумя и более газоводяными струями их следует располагать так, чтобы полностью обработать места истечения газа из устьевого оборудования. Газоводяные струи следует направлять перпендикулярно к боковым отводам (струнам) оборудования устья скважины, обязательно соблюдая при этом допустимые углы относительно направления ветра.

При тушении комбинированных фонтанов в первую очередь ликвидируют горение нижних факелов, а затем приступают к тушению факелов, расположенных выше. Если применяются две и более газоводяных струй, то все факела могут тушиться одновременно. Например, одна струя может быть направлена на тушение распыленной части, другая на тушение – компактной.

На кусте скважин при расстоянии между ними до 3 м потребное количество автомобилей АГВТ определяется из расчета один автомобиль на два компактных фонтана с дебитом каждого до 750 т/сут нефти и два автомобиля на три компактных фонтана с дебитами от 750 до 1500 т/сут. На проведенных огневых опытах пять компактных фонтанов было потушено тремя автомобилями АГВТ-100 в комбинации с лафетными стволами.

При тушении распыленных фонтанов количество автомобилей АГВТ определяется из расчета один автомобиль на каждый фонтан.

Учитывая близкое расположение скважин и взаимное воздействие одного фонтана на другой, тушение группы фонтанов необходимо производить одновременно. При этом требуется строгое согласование работы всех автомобилей АГВТ и тщательная защита потушенных фонтанов. Подачу огнетушащих средств в фонтан необходимо осуществлять до тех пор, пока не будут потушены все фонтаны.

Основными недостатками применения АГВТ является:

- при высоком дебете необходимо наличие нескольких единиц АГВТ;

- особенности пространственного расположения;
- высокий расход воды;
- использование дорогостоящего авиационного топлива;
- ограниченность работы по времени;
- необходимость использования дополнительной техники ПНС;
- по мере удаления от сопла содержание кислорода увеличивается и на расстоянии 12-15 метров составляет 17-18%;
- низкая дальнобойность струи.

1.3 Сопло Лавалья

Вышеизложенный способ является прототипом изобретения, в основу которого положена задача повышения эффективности тушения пожара, посредством увеличения дальнобойности струи инертного газа с хладагентом, что достигается разгоном истечения до сверхзвуковой скорости [2]. Формирование сверхзвуковой струи газа, подаваемого в зону пожара, обеспечивается наличием камеры сгорания, соединенного с ней сопла Лавалья (рис. 1). Кроме того, камера сгорания выполнена с разделительной диафрагмой в виде дозвуковой части сопла Лавалья, отделяющей зону сгорания топлива ракетного двигателя от форсунок хладагента. Данное усовершенствование является необходимым, так как эффективность тушения пожара устройством-прототипом весьма низка, ввиду наличия явления "вовлечения турбулентным диффузионным факелом в зону горения гораздо больших объемов (на 400% больше), чем требуется для простого сгорания горючей жидкости или газа". Также, известное устройство, способствует дополнительному выжиганию кислорода в зоне пожара, способствует повышению температуры в зоне пожара, что, с учетом изложенного выше, обуславливает существенное снижение эффективности пожаротушения.

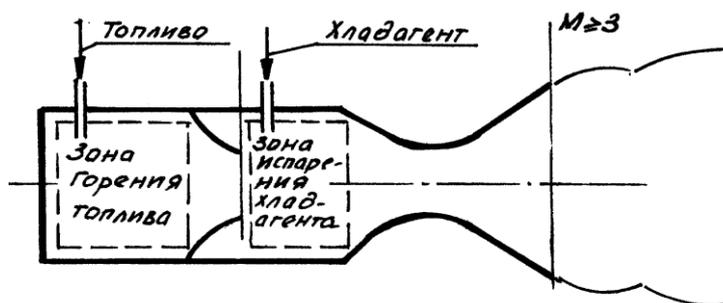


Рис. 5 - Формирование сверхзвуковой струи газа с помощью сопла Лавалья

Так как данное изобретение не было реализовано на практике, его недостатки не выявлены.

1.4 Тушение пожара газовых и нефтяных фонтанов порошковым пламеподавителем ППП – 200.

Пневматический порошковый пламеподавитель ППП – 200, полезным объемом 200 куб. дм. предназначен для тушения пожаров газовых и нефтяных фонтанов. Общий вид установки представлен на рисунке 6.

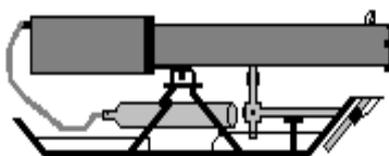


Рис. 6 – Общий вид ППП-200

Тушение пожара фонтана осуществляется за счет воздействия на факел пламени распыленного огнетушащего порошка.

Выброс порошка из пламеподавателя осуществляется энергией сжатого воздуха. При разрыве мембраны, установленной между порошковой и пневматической камерами, в зоне горения фонтана в течение короткого времени (1-2 сек.) импульсно создается огнетушащая концентрация порошка. Баллон со сжатым газом размещается на станине пламеподавателя в

специальных гнездах и комплектуется головкой ГЗСМ, что позволяет осуществлять залповый выброс порошка одновременно несколькими установками. При необходимости баллон со сжатым газом может располагаться вне установки ППП-200 и соединяться с пневмокамерой с помощью металлической трубки.

Перед тушением фонтана определяется требуемое для тушения количество установок из расчета – одна установка ППП-200 на фонтан дебитом 3 млн.куб.м. газа в сутки.

При тушении компактного вертикального фонтана установкой ППП – 200 выставляется угол возвышения ствола и определяется схема размещения. Установка ППП – 200 размещается с на ветреной стороны на расстоянии 15-20 метров от устья скважины (рис. 7.)

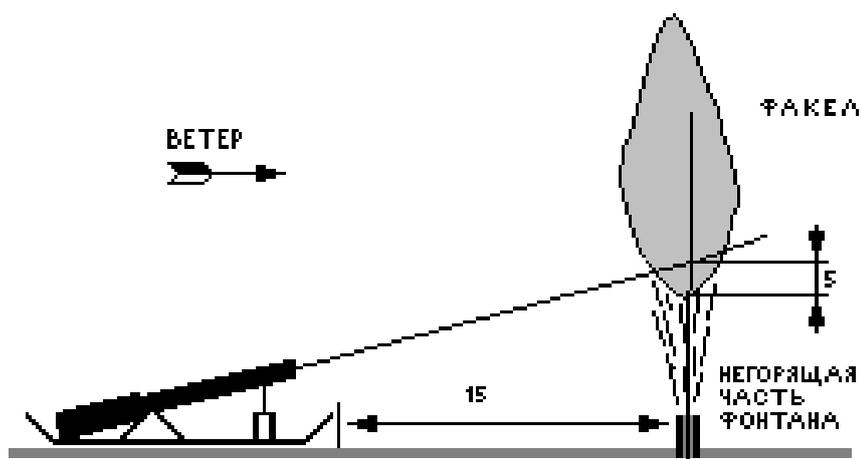


Рисунок 7 – Схема размещения установки ППП-200

На боевую позицию установки вывозится транспортным средством (трактором) с помощью троса (рис 4).

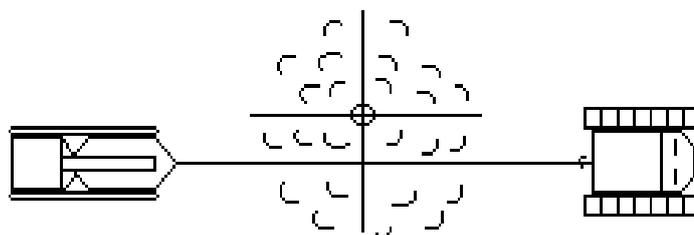


Рисунок 8 – Транспортировка установки ППП-200

Оператором производится коррекция положения ствола в вертикальной и горизонтальной плоскостях, таким образом, чтобы точка прицеливания была на 3-5 метров выше среза пламени.

По команде РТП производится подача сжатого газа для обеспечения выброса порошка.

Для повышения эффективности тушения компактных газовых фонтанов на ствол пламеподавателя может устанавливаться вертикальный поворотный или щелевой формирующий насадки. Вертикальный поворотный насадок используется для тушения компактных вертикальных фонтанов до 10 млн. м³ газа в сутки одной установкой. Насадок крепится с помощью фланцевого соединения к стволу пламеподавателя после его снаряжения. Установка подводится к устью фонтана с наветренной стороны на расстояние 0,5-1 м. Щелевой формирующий насадок применяется для повышения коэффициента использования огнетушащего порошка и увеличения дальности выброса порошка до 30 метров.

При тушении распыленного фонтана несколькими установками наведение пламеподавателей производится непосредственно в запорную арматуру с противоположных сторон. После установки пламеподавателей на боевую позицию и коррекции углов прицеливания по команде РТП производится вывод водяных струй из зоны образования порошкового облака. После залпа вода вновь подается на охлаждения арматуры и грунта в зоне пожара.

На рисунке 9 представлена схема расположения установок при тушении комбинированного фонтана.

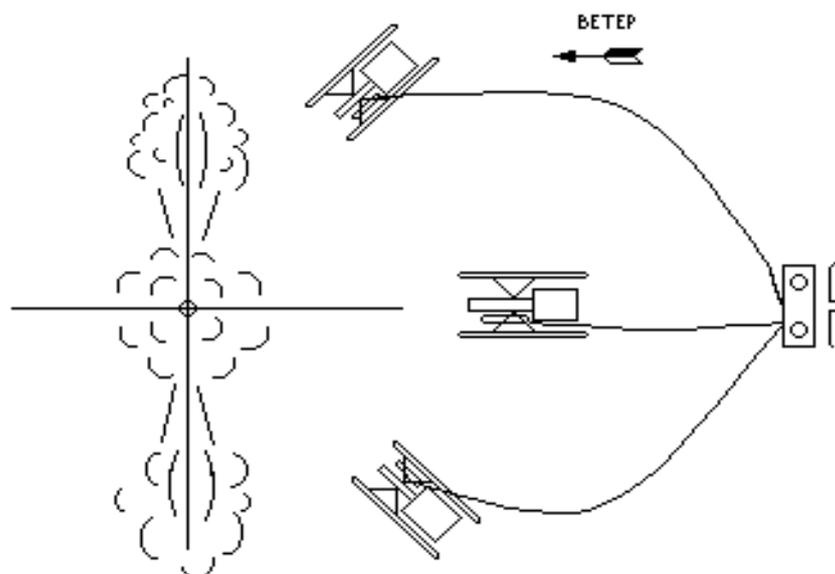


Рисунок 9– Схема расположения установок при тушении комбинированного фонтана

Установки 1 и 2 наводятся в запорную арматуру с двух противоположных сторон и обеспечивают тушение горизонтальных факелов, а установка 3 – вертикального факела. Для охлаждения металлических конструкций скважины и грунта необходимо применять воду или пену. В момент выброса порошка стволы охлаждения должны быть выведены за пределы формирования порошкового облака. После залпа вода вновь подается на охлаждение арматуры и грунта в зоне пожара.

Если при срабатывании пламеподавателя не будет достигнуто тушения фонтана, необходимо выяснить причины, которыми могут оказаться:

- неправильно выбранная точка прицеливания;
- большое удаление пламеподавателя от устья скважины, вследствие чего большая часть порошка не достигает зоны горения;
- малое удаление пламеподавателя от устья скважины, в следствие чего фонтан «простреливается»;
- неодновременность срабатывания всех пламеподавателей при залповом пушении;

- недостаточное количество пламеподавателей в следствие неправильного определения дебита фонтана;

- повторное воспламенение газа от нагретых элементов конструкций устья скважины из-за недостаточного их охлаждения при тушении распыленных и комбинированных фонтанов.

1.5 Способ тушения пожара посредством взрывной волны

Взрыв заряда ВВ как резервный способ может применяться для тушения всех видов фонтанов.

Заряд ВВ состоит из смеси взрывчатого вещества (ВВ) и ингибирующей добавки. В качестве ВВ используется аммонит 6ЖВ, зерногранулит 79/21В, аммонит № 6, имеющие близкий к нулю кислородный баланс. В качестве ингибирующих добавок применяется хлористый натрий *NaCl* (техническая поваренная соль). Массовые количества взрывчатого вещества и ингибирующей добавки принимаются 1:1. Взрывчатую смесь приготавливают на месте путем смещения взрывчатого вещества с ингибирующей добавкой.

Заряд ВВ помещают в деревянный ящик, объем которого определяют в зависимости от массы заряда (плотность смеси примерно равна 1000 кг/м^3). Ящик изготавливают из сухих досок толщиной 25 мм со стыкованием в четверть. Снаружи ящик обивается войлоком и обвязывается стальным тросом диаметром 5-8 мм для подвески. Внутри ящик обкладывается водонепроницаемой тканью. Во взрывчатую смесь закладывают боевик из чистого ВВ (аммонита 6ЖВ) с электродетонаторами, провода от которых выводятся наружу через просверленные в боковой стенке отверстия. Ящик забивают крышкой. Электропроводку длиной 20-40 м защищают от действия пламени асбестовым шнуром.

Все работы по приготовлению взрывчатой смеси, укладки ее в ящик, установке боевиков и электродетонаторов, прокладке электропроводов, забивке ящика и доставке его к месту взрыва, а также выбор места укрытия для персонала, осуществляющего взрыв, и убежища для личного состава, участвующего в установке заряда над устьем скважины и защите его водяными струями, должны производиться под руководством специалиста-взрывника при строгом соблюдении единых правил безопасности при взрывных работах, утвержденных Госгортехнадзором.

Тушение взрывом заряда ВВ допускается только:

1. по специальному проекту, утвержденному вышестоящей организацией отрасли и согласованному с местными органами Госгортехнадзора;
2. в случаях, когда обычные огнетушащие средства окажутся неэффективными.

Величина предельных расходов заряда ВВ для тушения фонтанов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Величина предельных расходов заряда ВВ для тушения фонтанов

Вид фонтана	Состав заряда ВВ	Удельный расход заряда ВВ, кг на 1 млн. м ³ /сут газа или 1 тыс. м ³ /сут нефти
Компактный	50% ВВ + 50% <i>NaCl</i>	30
Распыленный		60

Заряд ВВ подводится к устью скважины с наветренной стороны. При компактных фонтанах его располагают под основанием пламени на расстоянии 0,5 – 1,0 м от струи фонтана, при распыленных фонтанах – на уровне верха устьевого оборудования на том же расстоянии от факела фонтана.

Заряд ВВ и устройство для его подвода защищаются водяными струями из лафетных стволов. Для этого две – три водяных струи подаются на орошение

заряда, троса и устройства, подводящего заряд. Две – три водяных струи вводятся в струю фонтана.

Подвод заряда ВВ к устью скважины производится различными способами: на тележке с укосиной по рельсовым путям, при помощи поворотного крана, по стальному тросу.

Тележка с укосиной изготавливается из труб оборудуется ручной лебедкой грузоподъемностью 1-1,5 т и противовесом пропорционально массе заряда. Железнодорожный путь собирают из отдельных звеньев длиной 5-8 м каждое. Рельсы, шпалы, пластины изготавливают из подручных материалов промысла.

Поворотный кран состоит из рамы, стрела для подвески заряда, стрелы противовеса, ручной лебедки. Вылет стрелы у применявшихся конструкций – 22,5 м, грузоподъемность – 50 кг. Площадка для крана выравнивается и расчищается в радиусе 25 м, чтобы был обеспечен свободный поворот стрелы на 360° вокруг оси. Поворотный кран позволяет быстро подвести заряд к горящему фонтану и обеспечить регулировку положения заряда относительно струи фонтана. Он нашел широкое применение при тушении пожара на морских нефтепромыслах.

Устройство для провода заряда по стальному тросу состоит из металлических опор П – образной формы, к которым крепятся блоки троса диаметром не менее 18 мм. Системой лебедок трос натягивается (подвесная дорога), и заряд ВВ с помощью оттяжного троса диаметром 5-8 мм фиксируются в нужном положении.

Подвод заряда по стальному тросу применяется в случаях, когда другие способы подвода использовать нельзя, например, при фонтанах с катером и т. п.

Вне зависимости от способа подвода заряда сначала вместо боевого заряда используется макет такого же размера, формы и массы, как сам заряд. С

помощью макета отрабатываются приемы подачи заряда, фиксируется положение подводящего устройства, корректируются подача водяных струй.

После опробования системы подвода заряда и тренировки личного состава снимают макет и подвешивают заряд ВВ. Последний подводится к фонтану, личный состав и обслуживающий персонал удаляется в безопасное место (укрытие), и производится взрыв.

При тушении взрывом заряда ВВ необходимо уделить особое внимание вопросам техники безопасности. Для этой цели РТП обязан:

- совместно с представителями военизированной части (отряда) по предупреждению и ликвидации фонтанов отраслевого министерства специалистами–взрывниками разработать комплекс мероприятий по обеспечению безопасности личного состава;
- провести инструктаж и организовать строгое соблюдение правил техники безопасности всеми лицами, участвующими в тушении;

обеспечить путем тренировок высокую дисциплинированность и четкую согласованность действий всех подразделений при подготовке и проведении тушения.

Главными недостатками этого метода является его высокая опасность, большой объем и сложность подготовительных работ, а также необходимость в большом количестве взрывчатого вещества (100-1000 кг).

Стоит отметить, что наряду с преимуществами, которые имеют каждый из перечисленных способов, все они имеют общий недостаток – низкая дальность подачи огнетушащего вещества, что недопустимо в условиях высокого теплового излучения газового факела. Так, при тушении с помощью лафетных стволов и автомобилей газоводяного тушения оптимальная дальность подачи составляет 15 м, а безопасное расстояние для личного состава от факела уже при дебите $V = 0,5$ млн. м³/сутки составляет около 50 м.

Таким образом, для тушения пожаров газовых фонтанов наиболее перспективным является разработка устройств, способных обеспечивать подачу

огнетушащих смесей с расстояний, превышающих критические для безопасности личного состава по тепловому излучению.

1.6 Способы воздействия на форму пламени звуковыми и электромагнитными волнами

Также стоит отметить способы воздействия на огонь, которые еще не нашли практического применения, но в будущем могут стать эффективны в пожаротушении.

В 2008 году американское Агентство оборонных инициатив совместно с министерством энергетики объявили о начале финансирования исследовательского проекта IFS (Instant Fire Suppression, «Быстрое подавление огня»), в рамках которого рассматривались два основных подхода к управлению огнем — электромагнитное и акустическое воздействие [6].

Воздействие электромагнитных волн на огонь исследовалось в экспериментах, проведенных группой ученых химического факультета Гарвардского университета, где метановая горелка помещалась между двумя электродами, экранированными стеклянной изоляцией. На электроды подавалось электрическое напряжение, создававшее в пространстве электрическое поле напряженностью 75 кВ/м.

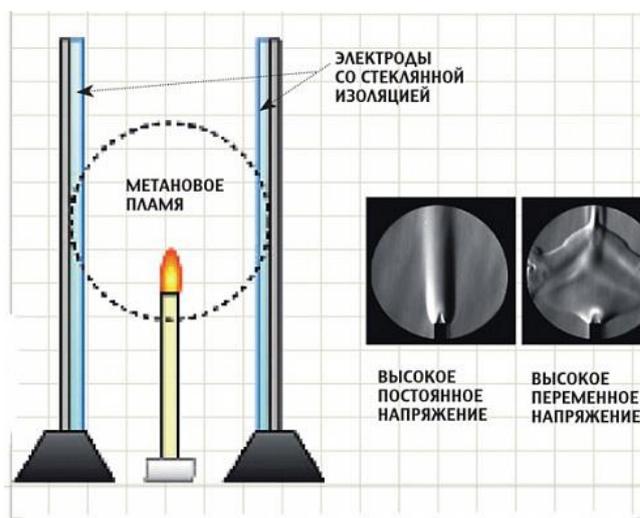


Рис.10- Воздействие электромагнитных волн на пламя

На левой картинке показано поведение пламени, снятое с помощью шпирен-фотографии (метод визуализации фазовых искажений в прозрачных средах) при подаче постоянного напряжения на электроды. На правой – пламя под воздействием переменного напряжения (800 Гц): «ионный» ветер разрывает пламя, сдувая его с горящих материалов.

Причина в том, что пламя – это плазма, то есть ионизованный газ, содержащий заряженные частицы, такие как сажа, что обуславливает его реакцию на электрическое поле.

Способ тушения пожара звуковыми волнами состоит в следующем. Сосуд с горящим гептаном в экспериментальной установке был помещен между двумя динамиками. Акустическое воздействие потушило пламя за считанные секунды. Инженеры рассказали, что акустические волны, с одной стороны увеличивают скорость испарения горючего, воздействуя на его поверхность, а, с другой стороны, истончают зону сгорания. В комплексе это понижает температуру огня без увеличения скорости сгорания, в результате чего пожар погасает.

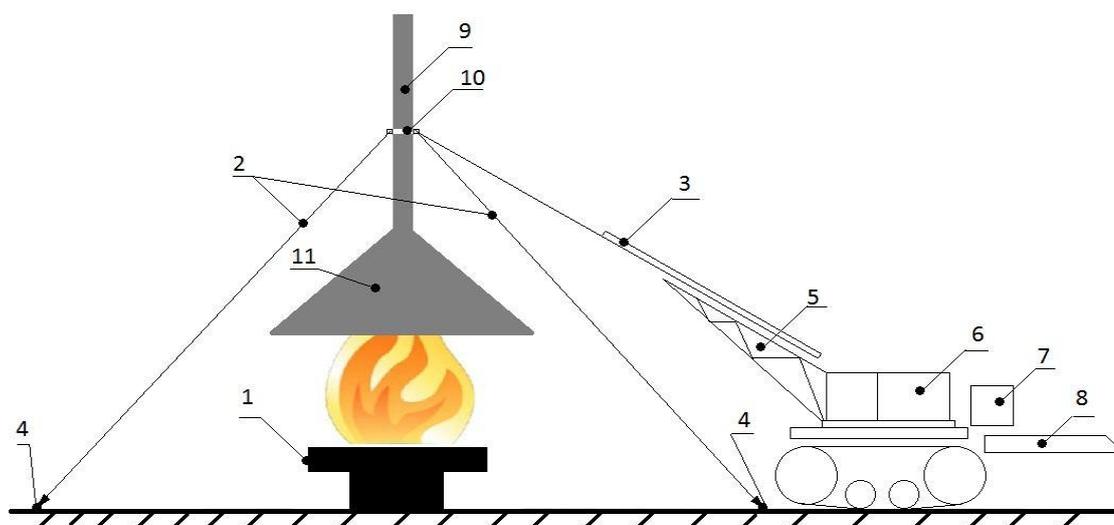
Воздействие электромагнитных волн на огонь будет рассмотрен в данной работе более детально.

2 Факельный зонт

Еще одним методом локализации пламени является использование факельного зонта, нацеленное на формирование направленного движения горящих масс.

При этом вокруг горячей скважины размещаются водометы (брандспойты) и по их готовности к направленному дождеванию, начинают работы по выдвигению факельной трубы (зонта). На нижнем конце трубы устанавливают конусообразный зонт для сбора и направления пламени в трубу. На механической стреле специальной гусеничной тележки крепят вертикально

факельную трубу таким образом, чтобы основной язык пламени вошел в конусообразный зонт. С этого момента начинается процесс дождевания факельной трубы, предохраняя ее и стрелу от накаливания. После того, как факельную трубу установят, и в нее устремится пламя, производят крепление трубы на трех якорях с помощью оттяжек и их регулирование. Якоря стремятся размещать вокруг скважины так, чтобы угол между осью скважины (факельной трубы) и двумя якорями в горизонтальной плоскости равнялся 120° . Такое приспособление дает возможность уменьшить область теплового воздействия вблизи устья скважины, тем самым, обеспечивая возможность работы персонала по герметизации устья с помощью герметизирующих шарниров.



1-фланец; 2-оттяжки; 3-телескопическая стрела; 4-якорь; 5-стрела; 6- гусеничная тележка; 7-контргруз; 8-труба толкателя; 9-труба; 10-стопорное кольцо; 11-зонт.

Рис. 11 - Схема установки факельной трубы [1].

Увеличение силы тяги вытяжной трубы позволит изменить форму пламени на более вытянутую в вертикальном направлении (увеличится радиус R), что обеспечит поднятие центра пламени, а значит и поднятие наиболее его

горячих участков на столько, что станет возможным проведение ремонтно-монтажных работ.

Таким образом, поскольку размеры факельной трубы и уровень ее подвески определяют силу тяги вытяжного зонта, которая, в свою очередь, влияет на интенсивность излучения приземного участка пламени, то можно сделать следующий вывод: регулируя эти параметры можно изменять величину мощности лучистого теплового потока в зоне ведения аварийно-спасательных работ. Это обеспечит уменьшение размеров опасных зон для человека и механизмов, уменьшит время локализации пламени на горящей скважине.

2.1 Газодинамическое обоснование протекающих процессов внутри факельной установки

В 2014г. преподавателями института нефти и газа СФУ было предложено устройство, принятое за прототип и именуемое факельным зонтом, сужающимся в верхней его части, предназначенное для локализации пламени при подвешивания его над источником возгорания. Зонт формирует направленное вверх и суженное в горизонтальной плоскости движение горящих масс за счет усиленной зонтом естественной тяги, обусловленной разностью давлений между низшей и высшей точками зонта (Барановский А., Булчаев Н. Локализация пламени и шарнирный способ герметизации устья скважины. -, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. - 52 с; Булчаев Н.Д., Безверхая Е.В. Способ герметизации устья горячей нефтяной скважины// Газовая промышленность. - 2011. - №4/658. - С. 85-87, прототип).

Недостатком прототипа является недостаточно высокая естественная тяга обеспечиваемая зонтом, и, как следствие, недостаточная степень сужения струи пламени в горизонтальной плоскости, что обуславливает невозможность точного определения визуальным путем границ очага возгорания (т.е. устья

горящей скважины), скрытого факелом пламени, и бесполезными затратами огнегасящих веществ на ложное тушение областей, примыкающих к горячей нефтегазовой скважине, визуалью кажущихся зоной возгорания (особенно при распыленных и комбинированных формах струй пламени горящих нефтегазовых скважин), но не являющимися таковыми.

Для устранения данных недостатков коллективом авторов было предложено устройство, которое позволяло обеспечить минимальный расход огнегасящих веществ при тушении распыленных и комбинированных струй пламени горящих нефтегазовых скважин за счет максимально близкого и безопасного доступа к устью скважины пожарной техники и точного определения визуальным путем границ очага возгорания (т.е. устья горячей скважины).

Для решения поставленной задачи предложен факельный зонт для тушения газонефтяных скважин, содержащий подвешенную на стреле башенного крана с помощью огнеупорных тросов факельную трубу с закрепленным на ее нижнем конце конусообразным зонтом, расположенным над источником возгорания и зафиксированным при помощи якорей и оттяжек на поверхности земли с возможностью создания тяги. Для увеличения тяги с факельной трубой над ее выходным отверстием на стреле башенного крана дополнительно подвешен вентилятор, двигатель которого расположен на конце стрелы крана и защищен огнеупорным щитом, а лопастная часть вентилятора соединена с двигателем соединительным тросом, выполненным из огнестойкого материала.

Как известно, плотность нагретого воздуха или любого другого газа меньше, чем плотность более холодного, следовательно, давление столба высотой h у него меньше (Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. - М.: Наука, 1980. - 512 с). Этот факт приводит к появлению разности давлений внутри и снаружи трубы. Наибольшее разрежение достигается снизу, где высота вышележащих столбов с разной плотностью максимальна.

При отсутствии вентилятора у верхнего края факельной трубы разность давлений достигается наличием естественной тяги, возникающей под действием силы Архимеда.

Естественная тяга выражается соотношением (Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод. - М.: Недра, 1991. - 331 с):

$$p_1 = p_3 - \rho g h \quad (4)$$

где p_3 - давление у основания зонта, Па; p_1 - давление, равное атмосферному у верхнего края факельной трубы, Па; ρ - плотность горящих газов, кг/м³; h - высота трубы, м; g - ускорение свободного падения, м/с².

Отсюда:

$$\Delta p_1 = p_3 - p_1 = \rho g h \quad (5)$$

При установке вентилятора у верхнего края факельной трубы разность давлений над и под вентилятором определяется по следующей формуле (Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод. - М.: Недра, 1991. - 331 с):

$$p_1 - p_2 = \frac{N}{Q}, \quad (6)$$

где p_2 - давление в трубе непосредственно перед вентилятором, Па; N - мощность двигателя вентилятора, Вт; Q - объемный расход продуктов сгорания через трубу при температуре их в выходном сечении, м³/с.

С учетом выражений (1) и (3) разность давлений p_3 и p_2 равна:

$$\Delta p_2 = p_3 - p_2 = p_1 + \rho g h - p_1 + \frac{N}{Q} = \rho g h + \frac{N}{Q}$$

Отсюда следует, что:

$$\Delta p_2 > \Delta p_1$$

т.е. установка вентилятора у верхнего края факельной трубы увеличивает тягу факельного зонта на указанную величину $\frac{N}{Q}$.

2.2 Структура факельной установки

Изложенная сущность поясняется графически на рис.12.

Заявляемый факельный зонт включает факельную трубу (1), соединенную с конусообразным зонтом (2), зафиксированным с поверхностью земли посредством оттяжек (3) так, что пламя (4) исходящее из устья горячей скважины (5) располагается непосредственно под ним. Факельная труба (1) подвешена на стреле башенного крана (6) при помощи тросов (7). На стреле башенного крана также закреплен защищенный огнеупорным щитом (8) двигатель вентилятора(9), который с помощью соединительного троса (10), выполненного из огнестойкого материала, передает вращающий момент лопастной части (11) вентилятора.

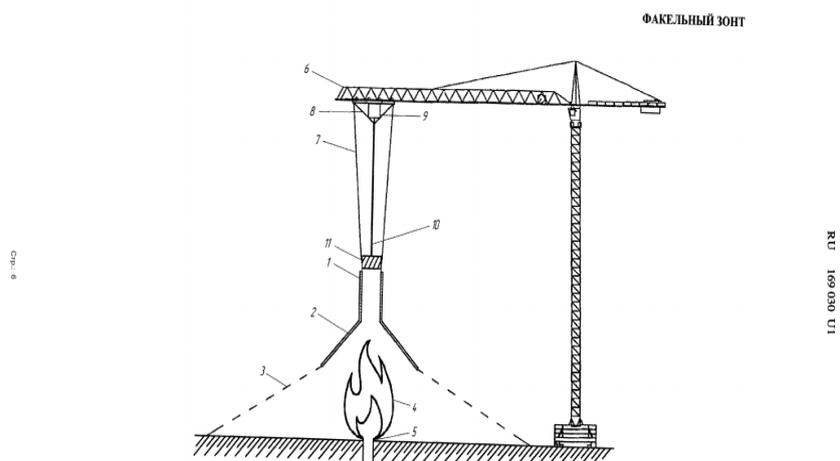


Рис.12 - Структура факельной установки

Предлагаемая полезная модель используется следующим образом.

При отсутствии возгорания башенный кран 6 занимает позицию, не препятствующую производственным работам на скважине. При этом:

- факельная труба (1) с конусообразным зонтом (2) и лопастная часть вентилятора (11) закреплены на конце стрелы крана (6);
- двигатель вентилятора 9 выключен.

При возникновении возгорания на устье нефтегазовой скважины 5 и образования факела пламени (4) башенный кран (6) с факельным зонтом выдвигается на боевую позицию, располагаясь на расстоянии, при котором отверстие факельной трубы (1) находится непосредственно над устьем горячей скважины (5). Конусообразный зонт (2) фиксируется оттяжками (3) на поверхности земли таким образом, чтобы обеспечить его статичность. Создаваемая факельной трубой (1) естественная тяга увеличивается с включением двигателя вентилятора (9) и приведением в движение с помощью троса (10) лопастной части (11) вентилятора, что в совокупности приводит к сужению в горизонтальной плоскости струи пламени (4) в области устья скважины (5).

Технический результат предлагаемого метода заключается в снижении влияния опасных факторов пожара на личный состав, задействованный в тушении пожара, и сокращении времени, затраченного на его ликвидацию.

При этом технико-экономическая эффективность предлагаемого устройства обусловлена:

- снижением расхода огнетушащего вещества необходимого для тушения пожара, в связи с подачей его непосредственно к источнику возгорания;
- увеличением продолжительности срока службы пожарного оборудования и машин благодаря снижению воздействия опасных факторов пожара в зоне возгорания;
- снижением потерь нефти и газа при их сгорании за счет сокращения времени, затраченного на ликвидацию пожара.

Результатом проделанной работы явилось написание заявки и выдача патента на полезную модель № 169039 (Приложение А).

3 Пожарный роботизированный комплекс. Описание технической реализации нового способа тушения и тактики его применения

3.1 Структура пожарного роботизированного комплекса

За основу данной магистерской диссертации взят патент «Пожарный роботизированный комплекс» (см. Приложение Б). В данной части приведено теоретическое описание структуры пожарного роботизированного комплекса.

Пожарный роботизированный комплекс, состоящий из мобильного пожарного робота, который имеет ходовую часть, корпус, выполненный из огнестойких и жаропрочных материалов, внутри которого имеются устройство дождевания робота, резервуар для воды, использующейся при дождевании, резервуар для огнетушащих веществ, лафетный ствол для подачи названных веществ в зону возгорания, а также индивидуальное дистанционное управление ходовой частью робота, его лафетным стволом и подачей через упомянутый ствол огнетушащих веществ к очагу возгорания, отличающийся тем, что робот оснащен постоянным электромагнитом, электропитание которого осуществляется по электрическому кабелю от электрогенератора постоянного тока, при этом катушка электромагнита создает магнитное поле.

Изложенная сущность поясняется графически на рисунке 13.

На рисунке 13 показано устройство пожарного робота, входящего в состав предлагаемого пожарного роботизированного комплекса, где 1 – блок приводов хода, подачи воды к устройству дождевания и подачи огнетушащего вещества к лафету, 2 – система управления перечисленными приводами, реализующая команды оператора робототехнического комплекса, посылаемые в виде радиосигналов, 3 – резервуар с водой, 4 – устройство дождевания, 5 – резервуар с огнетушащим веществом, 6 – лафетный ствол, 7 – ходовая часть, 8 – огнестойкий и жаропрочный корпус, 9 – платформа шасси, 10 – электромагнит, 11 – трубопровод, предназначенный для подачи воды от

емкости с водой 3 к устройству дождевания 4, 12 – трубопровод, предназначенный для подачи огнетушащего вещества от емкости с огнетушащим веществом 5 к лафетному стволу 6, 13 – электрический кабель, защищенный оболочкой из огнестойкого и жаропрочного материала, по которому подается постоянный ток к обмотке электромагнита.

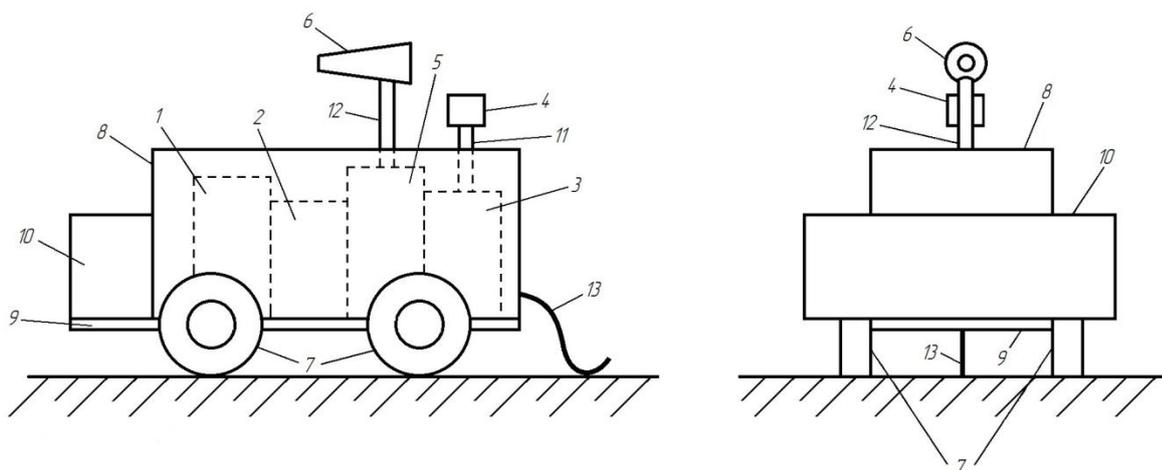


Рисунок 13 – Устройство пожарного роботизированного комплекса согласно полезной модели

3.2 Обоснование физического смысла воздействия магнитного поля на пламя

Как известно, пламя обладает диамагнитными свойствами, т.е. пламя «выталкивается» из магнитного поля (Калашников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 1964. – 668 с.). В основном диамагнитные свойства пламени, а также его светимость объясняются присутствием в нем во взвешенном состоянии раскаленных частиц углерода, еще не подвергшихся процессу окисления.

При горении нефтегазовой скважины под действием разности давлений в глубине скважины и на поверхности земли вектор силы, действующей на частицы пламени на границах факела, направлен под углом меньше 90^0 к горизонтальной поверхности, вследствие чего возникает распыленность струи

пламени, затрудняющая определение визуальным путем границ устья горячей скважины.

Поскольку пламя обладает диамагнитными свойствами, то воздействие магнитного поля на пламя с внешней стороны факела в том или ином (одном) направлении на факел позволяет изменить форму последнего, заставив его отклониться в направлении, противоположном тому направлению, в котором действует магнитное поле, и увеличить угол названной выше силы, действующей на частицы пламени на границах факела, до значения 90^0 и даже более (при достаточно большом значении напряженности магнитного поля; Калашников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 1964. – 668 с.), в результате чего становится возможным точное определение визуальным путем как минимум одной из границ горячей скважины.

При этом соотношение сил, действующих на частицы пламени, обладающие диамагнитными свойствами, описывается следующим соотношением:

$$F_M \geq F_{СКВ} \cdot \beta \quad (7)$$

где $F_{СКВ}$ – сила, действующая на частицы пламени и обусловленная только разностью давлений в глубине скважины и на поверхности земли (т.е. сила, с которой происходит выброс горячей нефтегазовой смеси из скважины при отсутствии внешнего магнитного поля), Н;

$$F_{СКВ} = (P_{СКВ} - P_{ВОЗД}) \cdot S_{СКВ} \quad (8)$$

где $P_{СКВ}$ – давление газонефтяной смеси в скважине, Па;

$P_{ВОЗД}$ – давление на поверхности земли, Па;

$S_{СКВ}$ – площадь устья скважины, m^2 ;

β – поправочный коэффициент, отражающий на какую долю пламени от всего объема воздействует сила F_M ;

$$\beta = \frac{V_{\text{возд}}}{V} \quad (9)$$

где $V_{\text{возд}}$ – объем пламени, на который воздействует сила F_M , м³;

V – весь объем пламени, м³.

F_M – сила, порожденная внешним магнитным полем, создаваемым электромагнитом робота пожарного роботизированного комплекса и действующая на частицы пламени, обладающие диамагнитными свойствами, Н.

Сила F_M определяется по формуле Гуи, которая имеет вид:

$$F_M = \chi_g \cdot m \cdot \frac{H^2}{2L} \quad (10)$$

где χ_g – магнитная восприимчивость пламени (т.е. тех частиц пламени, которые обладают диамагнитными свойствами);

m – масса частиц пламени, обладающих диамагнитными свойствами, кг;

H – напряженность магнитного поля, создаваемого электромагнитом робота пожарного роботизированного комплекса, А/м;

L – расстояние от исходной границы факела пламени (которая имела место до воздействия магнитного поля на пламя) до вертикальной плоскости, проходящей через точку на границе устья газонефтяной скважины, ближайшую к оси магнитного поля и параллельной последней, м.

3.3 Расчет сил, необходимых для реализации тушения данным способом

Расчеты, приведенные в данной главе, сводятся к расчету величины напряженности магнитного поля, необходимой для отклонения пламени приведенного объема. На основе этого параметра будет производиться выбор электромагнита и его составляющих.

1. Рассчитаем силу, с которой происходит выброс горячей нефтегазовой смеси из скважины при отсутствии внешнего магнитного поля, по формуле :

Согласно таблице 4 пластовое давление скважины $P_{пл}$ составляет 130 атм или 13172300 Па. Давление на поверхности земли $P_{возд}$ принимается равным нормальному атмосферному давлению 101 325 Па.

Площадь устья скважины вычисляется по формуле площади круга:

$$S_{скв} = \pi R_{нкт}^2 = 3,14 \cdot 0,0365^2 = 0,0042 \text{ м}^2 \quad (11)$$

Тогда

$$F_{скв} = (13172300 - 101\,325) \cdot 0,0042 = 54898,1 \text{ Н.}$$

2. Для расчета F_M – силы, порожденной внешним магнитным полем, определим магнитную восприимчивость пламени по формуле, приведенной в патенте:

$$\chi_g = \frac{N_A \cdot g^2 \cdot \beta^2}{4kT} \quad (12)$$

где N_A – число Авогадро, $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹,

g - фактор Ланде, для плазменных состояний вещества принимается $g = 2$,

β – магнетон Бора, $\beta = 9,274 \cdot 10^{-24}$ А · м²,

k – постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T – температура пламени, К (для пожаров на газовых и нефтяных скважинах принимается 1100 К по справочным данным).

Подставляя эти данные получим:

$$\chi = \frac{6,022 \cdot 10^{23} \cdot 2^2 \cdot (9,274 \cdot 10^{-24})^2}{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1100} = 0,00213 = 3,41 \cdot 10^{-3}.$$

За L принимается расстояние от исходной границы факела пламени до вертикальной плоскости, проходящей через точку на границе устья газонефтяной скважины, ближайшую к оси магнитного поля и параллельной

последней и безопасное расстояние, на котором располагается пожарный робот, то есть:

$$L = L_{\text{фак}} + L_{\text{безоп}} \quad (13)$$

где

$$L_{\text{фак}} = R_{\Phi} - R_{\text{НКТ}} \quad (14)$$

Подставим формулы (21) и (22) в формулу (18) и получим конечную формулу для расчета силы, порожденной магнитным полем:

$$F_M = X \cdot m \cdot \frac{H^2}{L_{\text{фак}} + L_{\text{безоп}}} = X \cdot m \cdot \frac{H^2}{(R_{\Phi} - R_{\text{НКТ}}) + L_{\text{безоп}}} \quad (15)$$

Объем пламени, на который воздействует магнитное поле, выглядит следующим образом:

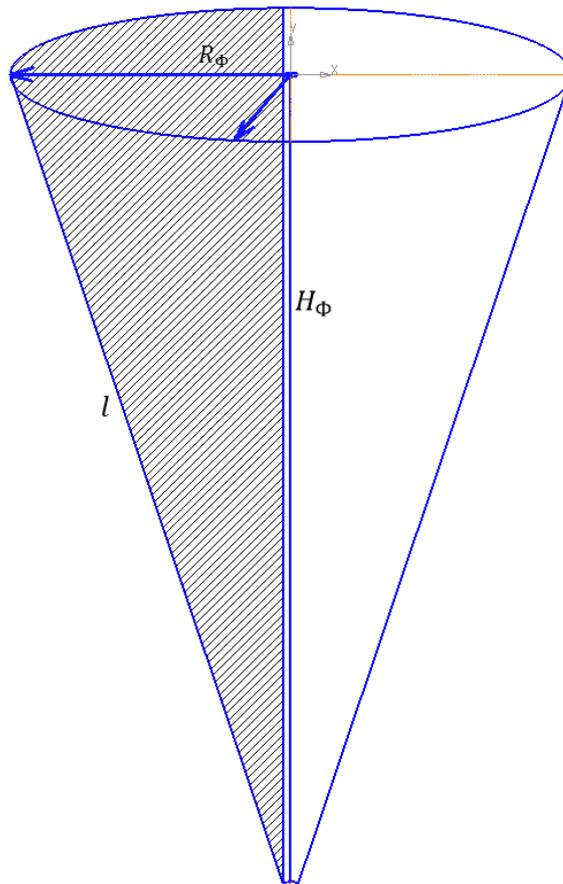


Рисунок 14 – Схема части пламени, поддающейся воздействию магнитного поля (заштрихованная область)

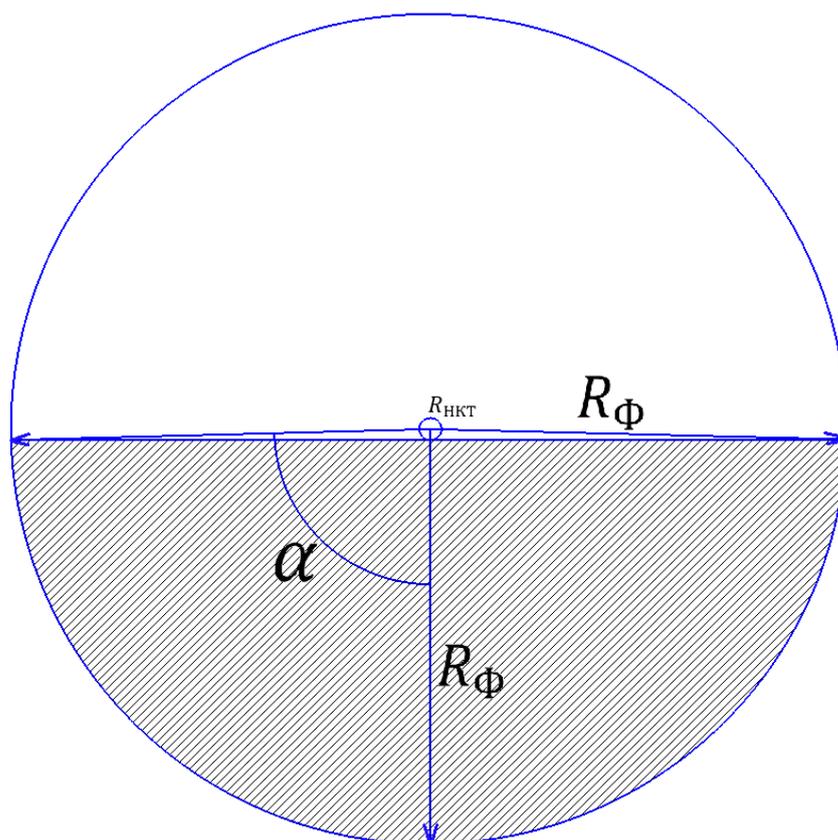


Рисунок 15 - Схема части пламени, поддающийся воздействию магнитного поля (вид сверху)

Данный объем найдем по следующей формуле:

$$V_{\text{возд}} = \frac{R_{\Phi}^2(1-\cos\alpha)}{H} \cdot \left(\frac{1+\cos\alpha+\cos^2\alpha}{3} \cdot H_{\Phi}^2\alpha - \sin\alpha \cdot \cos\alpha \right) \quad (16)$$

где α – это угол между радиусом основания, соединяющим центр основания конуса и край линии сечения, и горизонтальной осью (проходящей через центры основания и линии сечения), °;

R_{Φ} – радиус факела пламени в наивысшей его части, м;

H_{Φ} – высота факела пламени, м.

Условно обозначим стороны треугольника, образуемого при виде сверху на данную фигуру (показано на рисунке (16)), и с помощью теоремы Пифагора вычислим угол α $\frac{\alpha}{2}$:



Рисунок 16 – Треугольник образуемый радиусами окружностей устья скважины и факела пламени

$$a = \sqrt{c^2 - b^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}D_{\Phi}\right)^2 - R_{\text{НКТ}}^2} \quad (17)$$

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \frac{\sqrt{(R)^2 - R_{\text{НКТ}}^2}}{\frac{1}{2}D_{\Phi}} = \frac{\sqrt{(2,75)^2 - 0,0365^2}}{2,75} = 0,9999 \quad (18)$$

Тогда угол между радиусом основания, соединяющим центр основания конуса и край линии сечения, и горизонтальной осью равен

$$\alpha = 178^{\circ}$$

Объем пламени, подвергаемый воздействию магнитного поля, согласно формуле (24):

$$V_{\text{возд}} = \frac{2,75^2 \cdot (1 - 0,0017)}{14,51} \cdot \left(\frac{1 + 0,0017 + 2,89 \cdot 10^{-6}}{3} \cdot 14,51^2 \cdot 1,5575 - 0,9999 \cdot 0,0017 \right) \\ = 56,93 \text{ м}^3$$

Также вычислим общий объем пламени:

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot H \cdot (R_{\Phi}^2 + R_{\Phi} \cdot R_{\text{НКТ}} + R_{\text{НКТ}}^2) \quad (19)$$

$$V = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 14,51 \cdot (2,75^2 + 2,75 \cdot 0,0365 + 0,0365^2) = 116,4 \text{ м}^3.$$

Следовательно, коэффициент β будет равен:

$$\beta = \frac{56,93}{116,4} = 0,489$$

Тогда минимально необходимая сила, создаваемая электромагнитом, для отклонения данного объема пламени будет равна:

$$F_M = 54898,1 \cdot 0,489 = 26845,2 \text{ Н.}$$

3. Температура пожара превышает температуру кипения нефти (в данном случае нефть тяжелая и температура ее кипения равна 106°C). Следовательно, выделяются насыщенные пары, которые активно участвуют в горении. Массу насыщенных паров, занимающих объем, на который воздействует магнитное поле, определим по формуле:

$$m_{\text{н.п.}} = \rho_{\text{н.п.}} \cdot V_{\text{возд}} \quad (20)$$

где $\rho_{\text{н.п.}}$ – плотность насыщенных паров, кг/м^3 ;

$V_{\text{возд}}$ – объем, на который воздействует магнитное поле, м^3 .

Плотность насыщенных паров имеет обратно пропорциональную зависимость от температуры, и возрастает с увеличением давления. В данном случае, пожар происходит на открытом пространстве и его давление принято за нормальное атмосферное, то есть 760 мм.рт.ст:

$$\rho_{\text{н.п.}} = \rho_0 \cdot \frac{273}{273+t} \cdot \frac{P_a}{760} \quad (21)$$

где t – температура пожара, $^\circ\text{C}$;

P_a – давление в зоне пожара (для данного расчета принимаем 760 мм.рт.ст.);

ρ_0 – плотность насыщенных паров при нормальных условиях, кг/м^3 , вычисляется по формуле:

$$\rho_0 = \frac{M}{22,4} \quad (22)$$

где M – молекулярный вес нефтяного пара, определяется как:

$$M = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{M_i}} \quad (23)$$

где C_i – среднеарифметическое содержание i -го компонента в парах, % вес;

M_i – молекулярный вес i -го компонента (находим по таблице значения молекулярной массы паров нефтепродуктов M в зависимости от температуры начала кипения), $M_i = 105$, при температуре кипения 106°C для нефти плотностью 907 кг/м^3 .

Так как, магнитное поле действуют только на раскаленные частицы углерода в общем объеме горячей нефти, то расчетам подлежит только та часть, которая содержит углеродные соединения. Зная, что их содержится 87% в общем объеме, но не зная процентное соотношение каждого, можно пренебречь определением их молекулярного веса, приняв за него молекулярный вес всей смеси в целом.

Тогда

$$M = \frac{100}{\frac{87}{105}} = 120,69.$$

$$\rho_{\text{н.п.}} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{273}{273+t} \cdot \frac{P_a}{760} = \frac{120,69}{22,4} \cdot \frac{273}{273+1100} \cdot \frac{760}{760} = 1,07 \text{ кг/м}^3.$$

Масса насыщенных паров нефти равна:

$$m_{\text{н.п.}} = 1,07 \cdot 56,93 = 60,92 \text{ кг.}$$

4. Рассчитаем напряженность магнитного поля, создаваемого электромагнитом пожарного роботизированного комплекса, выразив её из формулы (23):

$$H = \sqrt{\frac{F_M \cdot 2((R_\Phi - R_{\text{НКТ}}) + L_{\text{безоп}})}{x_g \cdot m_C}} = \sqrt{\frac{26845,2 \cdot 2 \cdot ((2,75 - 0,0365) + 12,82)}{3,41 \cdot 10^{-3} \cdot 60,92}} \\ = 2003,7 \text{ А/м}$$

Следовательно, из этого условия будет происходить выбор комплектующих электромагнита.

3.4 Выбор стандартных устройств в качестве структурных элементов пожарного роботизированного комплекса

3.4.1 Сравнительная характеристика пожарных роботов

Согласно полезной модели, предложенной в патенте, электромагнит устанавливается на пожарного робота. Техническим решением в данной работе

принято оснастить электромагнитом уже готовую модель пожарного робота доступного для приобретения в России.

Ниже приведены образцы пожарных роботов с последующей сравнительной характеристикой и обоснованным выбором подходящего.

1. Многофункциональный робототехнический комплекс пожаротушения среднего класса «Ель-4».



Рисунок 17 – Фотография «Ель-4»

Назначение:

- разведка и мониторинг местности в зоне возникновения ЧС;
- пожаротушение в условиях современных техногенных аварий, сопровождаемых повышенным уровнем радиации, наличием отравляющих и сильнодействующих веществ в зоне работ, осколочно-взрывным поражением; с использованием водопенных средств пожаротушения;
- проведение аварийно-спасательных работ на месте пожара и чрезвычайной ситуации;

- разборка завалов для доступа в зону горения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- при соответствующем переоснащении возможно проведение пожаротушения с использованием порошков и сжиженных газов.

Примечание: В качестве инженерного вооружения используется комбинированный бульдозерный нож с гидравлическим схватом и 3-звенная рука-манипулятор, установленная в передней части машины.

Таблица 5 – Технические характеристики Ель-4

Габаритные размеры, мм	3400x1900x186
Общая масса, кг	7200
Параметры двигателя: Тип/Марка	дизельный/PERKINS
мощность, л/с	175
Ширина отвала бульдозера, мм	1900
Преодолеваемый подъем, градус	30
Масса груза переносимого схватом, кг	500
Дальность подачи струи воды, м	50
Производительность пожарного насоса при рабочем давлении 10 атм, л/м	4200
Скорость передвижения, км/час	10
Расход воды на стволе-мониторе, л/мин	1400
Управление по радиоканалу на открытой местности, м	2000
Максимальная скорость передвижения, км/ч	5
Время непрерывной работы, ч	4

Примечание: Дождевание работа происходит благодаря форсунке установленной на лафетном стволе.

2. Мобильный роботизированный комплекс тяжелого класса «Ель-10»



Рисунок 18 – Фотография «Ель-10»

Назначение:

- разведка и мониторинг местности в зоне возникновения ЧС;
- пожаротушение в условиях современных техногенных аварий, сопровождаемых повышенным уровнем радиации, наличием отравляющих и сильнодействующих веществ в зоне работ, осколочно-взрывным поражением (броня 8 мм); с использованием водопенных средств пожаротушения;
- проведение аварийно-спасательных работ на месте пожара и чрезвычайной ситуации;
- разборка завалов для доступа в зону горения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- при соответствующем переоснащении возможно проведение пожаротушения с использованием порошков и сжиженных газов.

Таблица 6 – Технические характеристики Ель-10

Габаритные размеры, мм	6688x2500x2500
Общая масса, кг	10400
Параметры двигателя: Тип/Марка	дизельный/MAN
мощность, л/с	525
Ширина отвала бульдозера, мм	2500
Преодолеваемый подъем, градус	30
Масса груза переносимого схватом, кг	1000
Дальность подачи струи воды, м	90
Производительность пожарного насоса при рабочем давлении 10 атм, л/м	4000
Скорость передвижения, км/час	5
Расход воды на стволе-мониторе, л/мин	800–4000
Управление по радиоканалу на открытой местности, м	1500
Время непрерывной работы, ч	4
Запас водопенных огнетушащих вещества, кг	5000

Примечание: Дождевание робота происходит благодаря форсунке установленной на лафетном стволе.

3. Мобильная роботизированная установка пожаротушения «МРУП»



Рисунок 16 – Фотография «МРУП»

Назначение:

- для тушения пожаров посредством подачи огнетушащих веществ в очаг пожара посредством сплошной струи, распыленной струи и воздушно-водяной смеси в том числе с использованием пенообразователей в автодорожных и железнодорожных туннелях, в метрополитене, в гаражах, производственных и складских помещениях – в условиях повышенного риска с использованием технологий дистанционного управления, исключающих нахождение людей в непосредственной близости от очага пожара.
- для разведки и мониторинга места ЧС.

Таблица 7 – Технические характеристики «МРУП»

Габаритные размеры, мм	2500 x 1500 x 2000
Общая масса, кг	2500
Параметры двигателя: Тип/Марка	Дизельный/ ISF3.8s3154

мощность, л/с	152,3
Ширина отвала бульдозера, мм	-
Преодолеваемый подъем, градус	30
Масса груза переносимого схватом, кг	600
Дальность подачи -сплошной водяной струи,м - тонкораспыленной воздушно-водяной смеси	80 60
Производительность пожарного насоса при рабочем давлении 10 атм, л/м	2400
Скорость передвижения, км/час	8
Расход воды на стволе-мониторе, л/мин	-
Управление по радиоканалу на открытой местности,м	300
Время непрерывной работы,ч	-

Примечание: «МРУП» не предназначена для использования в условиях пересеченной местности, в буреломах, завалах, торосах, труднопроходимых участках с наличием арматуры, трубопроводов, кабелей и проволоки.

4. Пожарный робот «LUF 60»



Рисунок 17 – Фотография «LUF 60»

Назначение:

- тушение пожаров на объектах транспорта, на промышленных установках;
- осуществление дымоудаления продуктов сгорания с помощью подачи потока воздуха (90 тыс. м³/час);
- осуществление снижения температуры с помощью мелкораспыленной воды на расстояние до 60 метров общим расходом до 2400 л/мин;
- подача воды или воздушно-механической пены (на расстояние 30 м) средней кратности в очаг пожара.

Таблица 8 – Технические характеристики «LUF 60»

Габаритные размеры, мм	2330 x1350 x2500
Общая масса, кг	2200
Параметры двигателя: Тип/Марка	Дизельный, 4 цилиндра
мощность, л/с	140
Ширина отвала бульдозера, мм	-
Преодолеваемый подъем, градус	30
Масса груза переносимого схватом, кг	400 – 600
Дальность подачи струи воды, м	60
Производительность пожарного насоса при рабочем давлении 10 атм, л/м	2400
Скорость передвижения, км/час	6
Расход воды на стволе-мониторе, л/мин	0-400
Управление по радиоканалу на открытой местности, м	300
Время непрерывной работы, ч	4
Дополнительно: Вентилятор для дымоудаления:	35 кВт, продуктивность 90 000 м ³ /ч, скорость вращения -165 км / ч
Рабочее освещение	2 лампы по 300 Вт, ксенон

5. Мобильный пожарный робот с дистанционным управлением «Пеликан»



Рисунок 18 – Фотография «Пеликан»

Назначение:

- Установка приспособлена к воздействию экстремально высоких температур;
- Использование при угрозе взрыва.

Таблица 9– Технические характеристики «Пеликан»

Габаритные размеры, мм	3000 x1676 x2500
Общая масса, кг	3500
Параметры двигателя: Тип/Марка	дизельный
мощность, л/с	59 л/с
Ширина отвала бульдозера, мм	1676
Преодолеваемый подъем, градус	-
Масса груза переносимого схватом, кг	-
Дальность подачи струи воды,м	60
Производительность пожарного насоса при рабочем давлении 5,92154 атм, л/м	31(1860)
Скорость передвижения, км/час	5
Расход воды на стволе-мониторе, л/мин	390-1890
Управление по радиоканалу на открытой местности,м	По Wi-Fi, есть дублирующий канал связи
Время непрерывной работы,ч	-

Примечание: Для проведения пожаротушения робот «Пеликан» имеет лафет, управляемый дистанционно и с пульта на боковой двери установки. В процессе пожаротушения оператор может задействовать дополнительные системы, такие как видеонаблюдение, громкоговорящая связь, водяное орошение колес.

6. Для выбора пожарного робота, соответствующего полезной модели, должны выполняться следующие условия:

1. корпус выполнен из огнестойких и жаропрочных материалов;
2. наличие устройства дождевания робота;
3. резервуар для воды;
4. резервуар для огнетушащих веществ;
5. лафетный ствол для подачи огнетушащих веществ в зону возгорания
6. индивидуальное дистанционное управление ходовой частью робота, его лафетным стволом и подачей огнетушащих веществ к очагу возгорания.

Таблица 10 – Выполнение условий соответствия пожарного робота полезной модели

№	Ель-4	Ель-10	МРУП	LUF 60	Пеликан
1	предназначен для работы в условиях высоких температур	предназначен для работы в условиях высоких температур	предназначен для работы в условиях высоких температур	предназначен для работы в условиях высоких температур	предназначен для работы в условиях высоких температур
2	есть	есть	нет	нет	дождевание колес
3	водные коммуникации	водные коммуникации	водные коммуникации	водные коммуникации	водные коммуникации
4	водопенные коммуникации, возможно переоснащение под порошковое тушение	водопенные коммуникации, запас водопенного ОГ вещества, возможно переоснащение под порошковое тушение	водопенные коммуникации	водопенные коммуникации	водопенные коммуникации
5	есть	есть	есть	есть	есть
6	есть	есть	есть	есть	есть

Согласно данным приведенной выше таблицы только пожарные роботы «МРУП» и «LUF 60» имеют отклонения от полезной модели по наличию устройства дождевания. Роботы «Ель-4», «Ель-10» и «Пеликан» удовлетворяют вышеперечисленным условиям. Поэтому необходимо дальнейшее сравнение пожарных роботов, которое поможет определить наиболее подходящий вариант.

В сравнении приведены все роботы, так как не стоит исключать возможность переоснащения робота, если это будет экономически выгодным решением.

7. Дополнительными и необходимыми условиями являются:

1. грузоподъемность в размере, позволяющим установить на корпус робота электромагнит определенной массы;
2. наличие места удобного для закрепления данного электромагнита;

3. возможность проезда пожарного робота по местности с неровным рельефом;
4. дальность подачи струи воды;
5. дальность управления по радиоканалу связи;
6. скорость передвижения;
7. производительность пожарного насоса.

Таблица 11 – Дополнительные условия соответствия роботов полезной модели

Название робота	Ель-4	Ель-10	МРУП	LUF 60	Пеликан
Грузоподъёмность	500	1000	600	400 – 600	-
место для закрепления электромагнита	есть	есть	нет	нет	есть
возможность проезда по местности с неровным рельефом	есть	есть	нет	нет	есть
Дальность подачи струи воды	50	90	80	60	60
Дальность управления по радиоканалу связи	2000	1500	300	300	150
Скорость передвижения	5	5	8	6	5
Производительность пожарного насоса	4200	4000	2400	2400	1860

На основании таблицы построена диаграмма (рисунок 19), отражающая отдельно взятый параметр сравнительной характеристики для одного робота относительно показателей данного параметра других роботов:

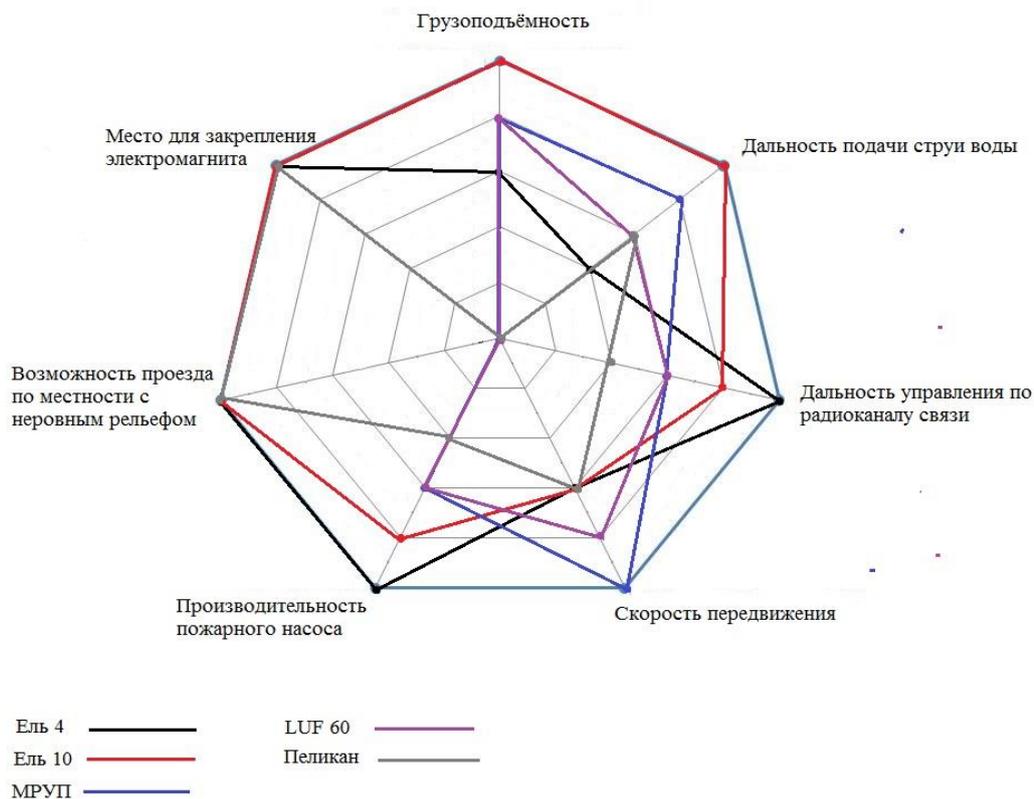


Рисунок 19 – Сравнительная диаграмма характеристик пожарных роботов

Выводы по графику:

1. «Пеликан» не может переносить грузы, следовательно, не выполняется условие по установке магнита, несмотря на наличие подходящего места.

2. Пожарные роботы «МРУП» и «LUF60» не предназначены для работы по пересеченной местности и не имеют необходимого места для установки электромагнита.

3. Сравнивая варианты пожарных роботов, подходящих под все условия, был сделан выбор в пользу ЕЛЬ 10 на следующих основаниях:

- наибольшая грузоподъемность и дальность подачи струи воды в сравнении с вышеуказанными вариантами;

- дальность управления по радиоканалу связи обеспечивает в полном объеме безопасность жизни и здоровья людей (1500 м > 19,52 м – минимальное безопасное расстояние для нахождения людей);

- производительность пожарного насоса незначительно отличается от производительности ЕЛИ 4;

- предназначен для работы в условиях пересечённой местности и обладает необходимым местом для установки электромагнита.

3.4.2 Выбор магнита и проводов, подключающих его к источнику тока

1. Расчет параметров электромагнита.

Грузоподъемность пожарного робота «Ель-10» позволяет поднять груз массой 1000 кг, шириной 2,5 метра и высотой в 1,5 метра – основываясь на этих данных, подберем магнит, которым необходимо создать напряженность магнитного поля 2003,7 А/м.

В качестве сердечника выбран валик, изготовленный из Стали 20 с плотностью $\rho = 7859 \text{ кг/м}^3$: длина $l = 2 \text{ м}$, диаметр $d = 0,15 \text{ м}$.

Масса прямого валика круглого сечения определяется по формуле:

$$m = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot l \cdot \rho \quad (24)$$

где d – диаметр валика, м;

l – длина валика, м;

ρ – плотность металла, из которого изготовлен валик, кг/м^3 .

Тогда масса сердечника составит:

$$m = 3,14 \cdot 0,075^2 \cdot 2 \cdot 7859 = 277,6 \text{ кг.}$$

В результате предварительного подбора проволоки для обмотки по токопроводящей способности выбрана медная проволока с диаметром 7,8 мм и максимальной токопроводящей способностью 260 А.

Напряженность, создаваемая одним витком определяется по формуле:

$$H_{\text{вит}} = \frac{I}{2\pi L} \quad (25)$$

где I – сила тока, проходящая по одному витку, А.

То есть,

$$H_{\text{ВИТ}} = \frac{260}{2 \cdot 3,14 \cdot (2,714 + 12,82)} = 2,67 \text{ А/м.}$$

Тогда общее количество витков n выражается из формулы:

$$H_{\text{общ}} = n \cdot H_{\text{ВИТ}} \quad (26)$$

$$n = \frac{H_{\text{общ}}}{H_{\text{ВИТ}}} = \frac{2003,7}{2,67} = 750,45 \approx 751 \text{ виток.}$$

Количество витков, которое можно уложить в один слой вокруг сердечника равно:

$$N = \frac{l_{\text{сердечника}}}{d_{\text{провода}}} = \frac{2}{7,8 \cdot 10^{-3}} = 256,4 \approx 257 \quad (27)$$

Число слоев определяется отношением общего количества к количеству витков в одном слое и округляется до целого числа:

$$c = \frac{n}{N} \quad (28)$$

$$c = \frac{751}{257} = 2,92 \approx 3 \text{ слоя.}$$

Следовательно, будет три слоя обмотки с фактическим количеством витков:

$$N_{\text{факт}} = c \cdot N = 3 \cdot 257 = 771 \text{ виток.}$$

Рассчитаем длину провода, необходимого для обмотки сердечника. Для первого слоя длина провода будет вычисляться по формуле:

$$l_1 = \pi D N \cdot l_{\text{сердечника}} \quad (29)$$

где D – диаметр сердечника, м;

$l_{\text{сердечника}}$ – длина сердечника, м;

N – число витков в одном слое.

Для последующих слоев диаметр, на который намотана проволока, будет увеличиваться на величину равную двойному диаметру провода:

$$l = \pi \cdot (D_{\text{п}} + 2 \cdot d) \cdot N \cdot l_{\text{сердечника}} \quad (30)$$

где $D_{\text{п}}$ – диаметр, предшествующий новому слою обмотки, м;

d – диаметр проволоки, м.

Общая длина проволоки вычисляется как сумма длин всех слоев:

$$l_{\text{общ}} = l_1 + l_2 + l_3 \quad (31)$$

Для наглядности описанных расчетов представлен рисунок (20):

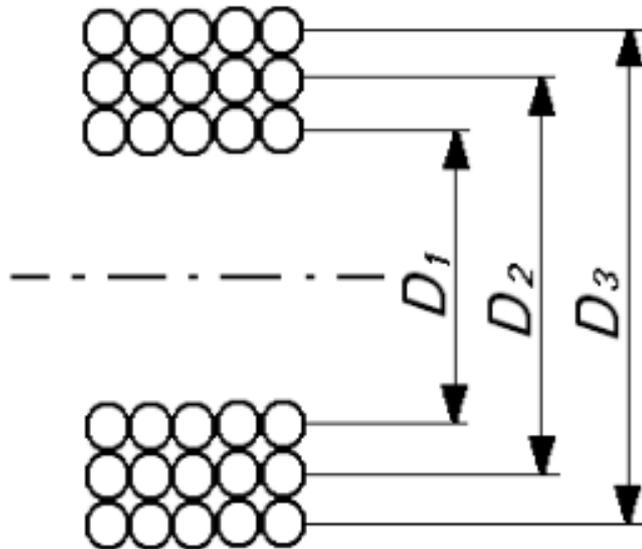


Рисунок 20 – Схема обмотки сердечника тремя слоями проволоки в боковом разрезе

Пользуясь приведенными выше формулами, посчитаем длину проволоки:

$$l_1 = 3,14 \cdot 0,15 \cdot 257 \cdot 2 = 242,1 \text{ м};$$

$$l_2 = 3,14 \cdot (0,15 + 2 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 257 \cdot 2 = 267,3 \text{ м};$$

$$l_3 = 3,14 \cdot (0,15 + 4 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 257 \cdot 2 = 292,4 \text{ м};$$

$$l_{\text{общ}} = 242,1 + 267,3 + 292,4 = 801,8 \text{ м.}$$

Масса проволоки при плотности меди $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ равна:

$$m = 3,14 \cdot \left(\frac{7,8 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 \cdot 801,8 \cdot 8,9 \cdot 10^3 = 340,8 \text{ кг.}$$

Общая масса сердечника и проволоки по условию грузоподъемности не должна превышать 1000 кг:

$$m_c + m_{\text{об}} = 277,6 + 340,8 = 618,4 \text{ кг} < 1000 \text{ кг}$$

Следовательно условие по грузоподъемности выполняется.

Мощность данного магнита измеряется по формуле:

$$P = I^2 \cdot R \tag{32}$$

где I – ток в обмотке, А;

R – сопротивление на обмотке, Ом.

Сопротивление медного провода находим по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S} \tag{33}$$

где ρ – удельное сопротивление меди, $0,018 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$,

S – площадь поперечного сечения провода, м^2 ;

l – длина провода, м.

Площадь поперечного сечения для провода равна:

$$S = 2\pi r^2 = 2\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 2 \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{7,8 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 = 95,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$R = 0,018 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{801,8}{95,52 \cdot 10^{-6}} = 0,15 \text{ Ом.}$$

Следовательно номинальная мощность для данного электромагнита составит:

$$P = 260^2 \cdot 0,15 = 10140 \text{ Вт.}$$

Установка электромагнита производится на переднюю часть робота, а именно на отвал, где он закрепляется схватом.

2. Выбор кабеля, для подключения электромагнита к источнику тока.

Для соединения электромагнита с источником тока выбран кабель МКЭШВнг-LS, преимуществом которого является:

- Широкий диапазон температур эксплуатации — от -50 до $+70^{\circ}\text{C}$;
- Предназначен для эксплуатации в промышленных пожаровзрывоопасных зонах, в условиях повышенных внешних электромагнитных влияний;
- Электрическое сопротивление изоляции жил, на 1 км длины и при температуре 20°C — не менее 5 Мом;
- Не распространяет горение;
- Токопроводящая жила - медная, многопроволочная, класс по ГОСТ 22483;
- Наличие защитного шланга из ПВХ пластика с низким дымовыделением (low smoke). [<http://rostech.info/mkeshv>]

По расчетным данным согласно возможным схемам расположения кабеля при работе пожарного роботизированного комплекса на пожаре (рис) минимально необходимая протяженность кабеля равна 380 м, но для обеспечения наибольшей мобильности ПРК и в случае возникновения внештатной ситуации примем протяженность кабеля с запасом, установив её в 500 м.

Так как свободный вес от максимальной грузоподъемности пожарного робота составляет 350 кг, то он является ограничительным. Также при выборе кабеля должно быть соблюдено условие по максимальной пропускной способности в 260 А. Под данные условия подходит кабель сечением 70 мм^2 и максимальным пропускным током 270 А.

Масса кабеля будет равна:

$$m = 3,14 \cdot (3,34 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 500 \cdot 8,9 \cdot 10^3 = 165,2 \text{ кг}$$

$$165,2 \text{ кг} < 350 \text{ кг.}$$

Следовательно, условие по грузоподъемности выполнено.

3.4.3 Выбор дистанционного пункта управления пожарным роботизированным комплексом

В качестве дистанционного пункта управления выбрано здание мобильное-офис, отмеченное на плане цифрой 29. Расстояние до возможного места возгорания не превышает возможности дальности действия радиосвязи пожарного робота. Помещение офиса оборудовано всем необходимым: отдельное рабочее место снабженное столом, стулом, компьютером и телефонной связью. Следовательно, дополнительных вложений на пункт дистанционного управления пожарным роботизированным комплексом не требуется.

3.5 Тактика использования пожарного роботизированного комплекса

Использование пожарного роботизированного комплекса подразумевает три технических состояния: - при отсутствии возгорания; - во время движения к месту пожара; - непосредственное действие на пожаре.

Ниже приведена характеристика каждого этапа.

1. При отсутствии возгорания пожарный роботизированный комплекс находится в пожарном депо пожарной части вместе с другой пожарной техникой.

При этом:

- сигналы управления роботом отсутствуют, в связи с чем блоки приводов и системы управления приводами, расположенные внутри корпуса робота выключены;
- привод ходовой части робота выключен;
- вода из резервуара к лафетному стволу и устройству дождевания не подается;
- напряжение к обмотке электромагнита по электрическому кабелю не подается;
- никакие сигналы с пункта дистанционного управления не подаются;

– генератор постоянного напряжения к электромагниту не подключен.

2. При возгорании газовой или нефтяной скважины и образовании факела, робот комплекса начинает выдвигаться на боевую позицию, как можно ближе к горящей скважине. Огнетушащее вещество к лафетному стволу на этом этапе работы пожарного роботизированного комплекса не подается.

3. При установке на боевую позицию, по кабелю электромагнита начинает поступать ток от генератора постоянного напряжения, вследствие чего электромагнит создаёт магнитное поле. По сигналу, поданному с пункта дистанционного управления вода, подающаяся к пожарному роботу с помощью насосной системы от блока редуцирующего устройства или из резервуара, поступает к лафетному стволу, оборудованному дополнительной форсункой для дождевания робота и электромагнита. Таким образом, начинается процесс охлаждения зоны горения у устья скважины, при этом пожарный роботизированный комплекс защищен от воздействия высоких температур водяной завесой, создаваемой устройством дождевания на лафетном стволе и выдерживающим температуру до 250°С.

При взаимодействии магнитного поля, создаваемого электромагнитом робота, с факелом пламени, форма струи пламени деформируется, факел смещается в направлении, противоположном тому, откуда действует магнитное поле, и граница устья горящей скважины становится видна оператору роботизированного комплекса, находящегося на пункте дистанционного управления. Оператор с пункта дистанционного управления посылает сигналы, приводящие в действие лафетный ствол, который поворачивается в направлении устья горящей скважины для увеличения эффективности охлаждения. Благодаря смещению факела пламени уменьшается тепловой поток, что позволяет вводить специальную пожарную технику в зависимости от выбранного способа тушения, на расстояние, рекомендуемое без использования ПРК, без дополнительного дождевания. При введении специальной пожарной техники совместно с пожарным роботизированным комплексом происходит дотушивание пожара.

После этого соответствующими сигналами с пункта дистанционного управления подача огнетушащего вещества к лафетным стволам прекращается, робот возвращается в исходное положение, приводы хода выключаются, подача воды к лафетному стволу прекращается, генератор постоянного напряжения выключается. После технического осмотра пожарный роботизированный комплекс вновь готов к работе в случае повторного возгорания скважины.

Технический результат предлагаемой полезной модели заключается в повышении автоматизации процесса тушения пожара и повышении безопасности труда работников противодонной службы, пожарных, задействованных в тушении данного пожара (вследствие отсутствия необходимости их приближения к опасной зоне).

4 Расчет сил и средств для тушения пожара

В приведенных ниже расчетах принят одинаковый сценарий развития пожара. В целях наглядного объяснения действия предложенного инновационного способа тушения в сценарий развития пожара введен ряд упрощений, отраженных в тактическом замысле.

Тактический замысел: при аварийном фонтанировании эксплуатационной нефтяной скважины произошло искрение обрушившихся арматурных балок друг о друга, и смесь, выходящая из устья, загорелась одновременно с началом фонтанирования. Запорная арматура выведена из строя, разлива нефти нет.

4.1 Описание объекта и расчет основных параметров пожара

В данной работе рассмотрен пожар компактного нефтяного фонтана с выходом газового конденсата. Авария смоделирована на кустовой площадке на скважине №715, введенной в эксплуатацию. Укрывная арматура отсутствует. Исходные данные показателей скважин, расположенных на кусте, приведены в таблице 12.

Таблица 12– Исходные данные показателей скважин

Номер скважины \ Параметр	Внешний диаметр НКТ $D_{\text{НКТ}}$, мм	Плотность ρ , кг/м ³	Дебит скважины Q , т/сут	Пластовое давление P , атм
	Значение			
№715	73	907	316	130
№717	73	907	122	145
№815	73	907	215	130
№821	73	907	78	210

Скважина № 715 обладает наибольшим дебитом и при фонтанировании и пожаре будет являться наиболее опасной, поэтому расчеты в данной работе основаны на показателях этой скважины.

В данной главе стоит задача определить зоны теплового воздействия пожара, чтобы оценить расстояние безопасное для людей и техники. Для достижения этой цели следует установить все параметры пожара, необходимые для расчетов.

1. Расчет высоты факела пламени находится из зависимости:

$$H_{\text{ф}} = 23Q^{0,4} \quad (34)$$

где Q – дебит нефтяного фонтана, тыс. м³/сут,

$H_{\text{ф}}$ – высота факела пламени, м.

$$H_{\text{ф}} = 23 \cdot 0,316^{0,4} = 14,51 \text{ м.}$$

2. Рассчитаем площадь поверхности фонтана нефти, охваченного пламенем:

$$S = \frac{0,7 \cdot Q \cdot 10^{-3}}{\rho \cdot L}, \text{ м}^2 \quad (35)$$

где Q - дебит скважины (производительность скважины по нефти), т/сут;

ρ - плотность нефти, кг/м³;

L - линейная скорость выгорания нефти, мм/мин ($L=2,04 \cdot 10^{-3}$ мм/мин []).

Переведем все величины в соизмеримые и подставим в формулу :

$$S = \frac{0,7 \cdot 316 \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot 60}{907 \cdot 2,04 \cdot 10^{-3}} = 146,33 \text{ м}^2$$

Для вычисления длины боковой поверхности факела пламени l угол распыленности струи принимаем усредненный для компактного нефтяного фонтана $\alpha=30^\circ$:

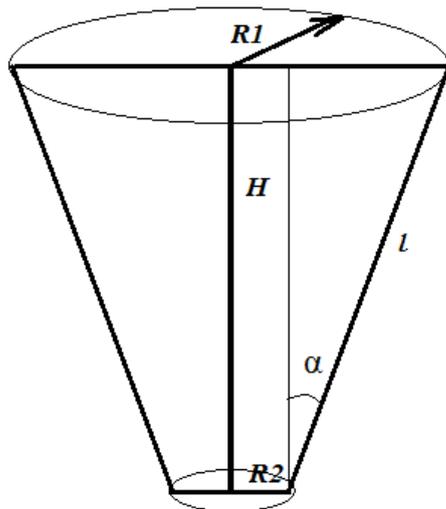


Рисунок 21 – Схема формы факела пламени нефтяного фонтана

$$l = \frac{H_{\Phi}}{\cos \alpha} = \frac{14,51}{\cos 30^\circ} = 16,75 \text{ м} \quad (36)$$

Зная длину боковой поверхности пламени l фонтана нефти, воспользуемся формулой площади боковой поверхности усеченного конуса и определим максимальный диаметр у верхней части факела:

$$S = \pi \cdot (R_{\Phi} + R_{\text{НКТ}}) \cdot l \quad (37)$$

где S – площадь поверхности фонтана нефти, охваченного пламенем, м^2 ;

R_{Φ} – радиус верхней части факела, м;

$R_{\text{НКТ}}$ – радиус НКТ, м.

Выразим величину R_{Φ} из выражения (5) и получим значение:

$$R_{\Phi} = \frac{S - \pi \cdot R_{\text{НКТ}} \cdot l}{\pi \cdot l} = \frac{146,33 - 3,14 \cdot \left(\frac{0,073}{2}\right) \cdot 16,75}{3,14 \cdot 16,75} = 2,75 \text{ м}$$

Следовательно диаметр верхней части факела равен:

$$D_{\Phi} = 2,75 \cdot 2 = 5,5 \text{ м}$$

3. Теплота пожара – тепловыделение в зоне горения в единицу времени определяется по формуле:

$$q_{\Pi} = v_{\text{м}}^{\text{абс}} Q_{\text{н}} \beta \quad (38)$$

Где $v_{\text{м}}^{\text{абс}}$ – масса горючего вещества, сгорающая в единицу времени (массовая скорость выгорания абсолютная), кг/с;

$Q_{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания нефти, 43600 кДж/кг;

β – коэффициент теплоты сгорания (принят по справочным данным 0,85).

Массовая скорость выгорания находится из выражения:

$$v_{\text{м}}^{\text{уд}} = \frac{v_{\text{м}}^{\text{абс}}}{F_{\Pi}} \quad (39)$$

где $v_{\text{м}}^{\text{уд}}$ – удельная массовая скорость выгорания, кг/м²·с (для нефти принимается 0,04 кг/м²·с);

F_{Π} – площадь пожара, м².

Площадь пожара F_{Π} – это площадь проекции зоны горения на горизонтальную плоскость. Для фонтанирующей нефтяной скважины (представлена на рисунке 7) вычисляется по формуле:



Рисунок 22 – Площадь пожара при горении нефтяного фонтана.

$$F_{\Pi} = \pi \left(\frac{D_{\Phi}}{2} \right)^2 \quad (40)$$

$$F_{\Pi} = 3,14 \cdot \left(\frac{5,5}{2} \right)^2 = 23,75 \text{ м}^2$$

Тогда

$$v_{\text{м}}^{\text{абс}} = F_{\Pi} \cdot v_{\text{м}}^{\text{уд}} = 23,75 \cdot 0,04 = 0,95 \text{ кг/с.}$$

Следовательно, подставив полученные данные в формулу (6) найдем теплоту пожара:

$$q_{\Pi} = 0,734 \cdot 43600 \cdot 0,85 = 35207 \text{ кВт.}$$

4. При расчёте мощности (интенсивности) лучистого теплового потока в зависимости от расстояния до устья скважины рассматривается схема, представленная на рисунке 8:

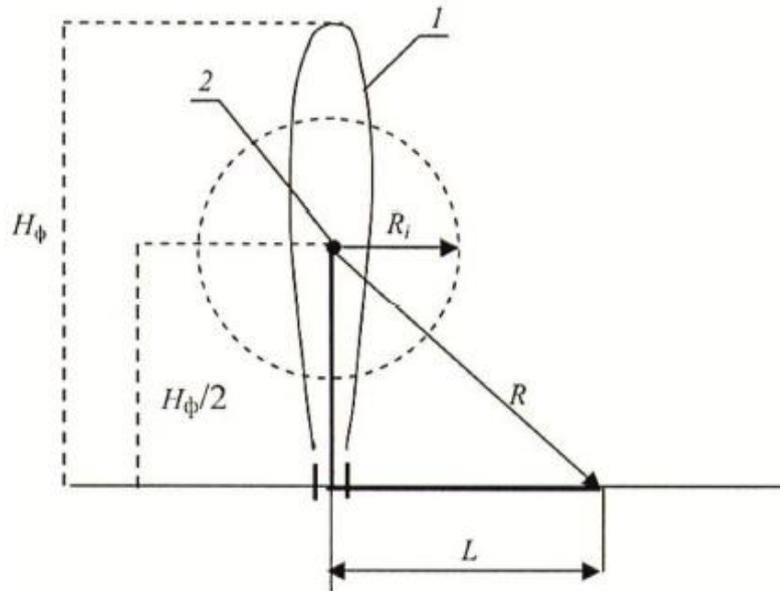


Рисунок 23 – Модель для расчёта мощности излучения пламени

Поверхность пламени фонтана (1) заменяется точкой (2), расположенной над устьем на $\frac{1}{2}$ высоты факела и излучающей тепловую энергию в единицу времени такую же, как и весь факел. Это излучение воспринимается поверхностью шара:

$$S = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \quad (41)$$

С возрастанием радиуса шара интенсивность излучения снижается, так как возрастает поверхность, воспринимающая это излучение.

Согласно рисунку 8 и известной теореме Пифагора мощности теплового потока, поступающего на поверхность земли, заменим R в уравнении (9) на её составляющие:

$$R^2 = \left(\frac{H}{2}\right)^2 + L^2 \quad (42)$$

Теплопотери излучением пожара от нефтяного фонтана могут быть рассчитаны по уравнению:

$$\eta_{\text{л}} = 0,048 \cdot \sqrt{M} \quad (43)$$

где M – молекулярная масса нефти, кг/моль, определяется по формуле:

$$M_{\text{ср}} = 60 + 0,3t_{\text{ср}} + 0,001t_{\text{ср}}^2 \quad (44)$$

где $t_{\text{ср}}$ – средняя температура кипения нефти, °С. Определяется по справочным данным в зависимости от плотности нефтепродукта. Для нефти, приведенной в данном расчете, составляет 106°С.

$$M_{\text{ср}} = 60 + 0,3 \cdot 106 + 0,001 \cdot 106^2 = 185,7 \text{ кг/моль.}$$

Тогда теплотери равны:

$$\eta_{\text{л}} = 0,048 \cdot \sqrt{185,7} = 0,65.$$

Таким образом, мощность лучистого теплового потока от пламени на различных расстояниях от устья скважины может быть рассчитана по формуле:

$$q_{\text{л}} = \frac{\eta_{\text{л}} \cdot q_{\text{п}}}{s} = \frac{\eta_{\text{л}} \cdot q_{\text{п}}}{4 \cdot \pi \left[\left(\frac{H}{2} \right)^2 + L^2 \right]} \quad (45)$$

Согласно таблице 13 и рисунку 24, существует 4 зоны теплового воздействия пламени, обусловленные определенной плотностью теплового поток

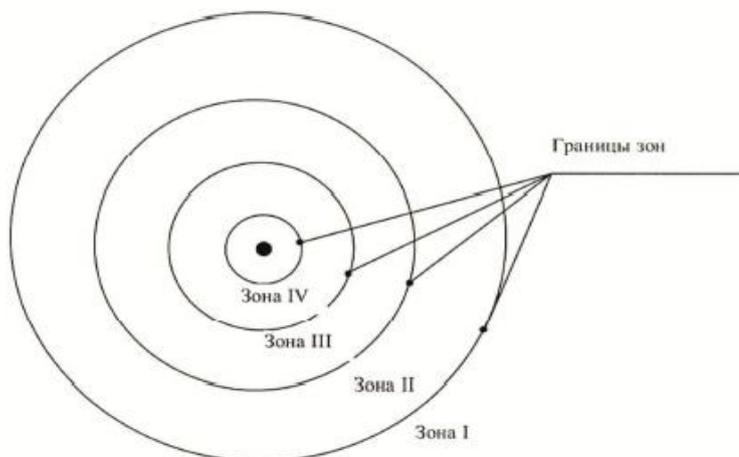


Рисунок 24 – Схема зон теплового излучения пожар

Таблица 13 – Зоны теплового воздействия пламени фонтана

Границы	Максимальная плотность теплового потока, кВт/м ²	Последствия теплового воздействия				Характеристика зон по условиям работы личного состава
		на кожу человека	на технику			
			металлическое оборудование	деревянные элементы	резина, одежда, ткань	
I	4,2	болевые ощущения через 20 с	без видимых изменений			Личный состав может находиться и выполнять физическую работу длительное время в боевой одежде без специального теплозащитного снаряжения
II	8,4	появление волдырей через 20 с	вспучивание краски	разложение	обугливание	Личный состав может находиться и выполнять физическую работу не более 5 минут в боевой одежде, смоченной водой
III	10,5	мгновенные ожоги	обгорание краски	загорание	загорание	Личный состав может находиться и выполнять физическую работу не более 5 минут в боевой одежде, под защитой распыленных водяных струй
IV	14,0	мгновенные ожоги	обгорание краски	загорание	загорание	Личный состав может находиться и выполнять физическую работу не более 5 минут в теплозащитном снаряжении под защитой распыленных водяных струй

Чтобы определить границы этих зон, рассчитаем радиус каждой зоны при максимальной для неё плотности теплового. Для этого из уравнения выразим L :

$$L = \sqrt{\frac{\eta_{Л} \cdot q_{П}}{q_{Л} \cdot 4 \cdot \pi} - \left(\frac{H}{2}\right)^2} \quad (46)$$

Занесем полученные данные в таблицу 14.

Таблица 14 – Удаление границ опасных зон теплового потока от устья скважины

Зона теплового воздействия пламени пожара	Максимальная плотность теплового потока, кВт/м ²	Граница зон до устья скважины, м
I	4,2	19,52
II	8,4	12,82
III	10,5	11
IV	14,0	8,8

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- личный состав может выполнять работы по тушению и устранению последствий аварии без специального теплозащитного снаряжения только на расстоянии большем, чем 19,52 метра;

- на расстоянии 12,82 м на технике, не защищенной дождеванием происходит вспучивание краски, резина начинает обугливаться;

- на расстоянии 11 м краска обгорает, а деревянные, резиновые элементы, а также элементы одежды и тканей загораются;

- при приближении на 8,8 м к устью скважины личный состав может находиться и работать в теплозащитном снаряжении, под защитой распыленных водяных струй не более 5 минут;

- на расстоянии менее 8,8 м от устья скважины техника начинает выходить из строя, для человека наступает мгновенная гибель.

4.2 Расчет сил и средств для тушения пожара при помощи техники, имеющейся на вооружении пожарной части

На вооружении пожарных подразделений имеется 8 единиц пожарной техники, состав и основные технические характеристики представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Состав и основные характеристики пожарной техники

Наименование	Кол-во, ед.	Основные характеристики
АЦ 6.0-40 (5557)	1	Автоцистерна пожарная: масса полная – 18300 кг; емкость цистерны для воды – 6,0 м ³ ; емкость пенобака – 0,36 м ³ ;; число мест боевого расчета – 6; пожарный насос НЦПН-40/100 В1Т, производительность насоса – 40 л/с; расположение пожарного насоса – в кабине; габаритные размеры – 8300/ 2500/ 3400 мм; максимальная скорость – 70 км/ч; вакуумная система водозаполнения-АВС-01Э; стационарный лафетный ствол - тип ЛС-С40У; производительность лафетного ствола по воде при давлении 0,6 МПа, л/с / по пене, м ³ /мин 40/ 40; назначение – для тушения пожаров в населенных пунктах и на промышленных объектах в условиях крайнего Севера, Урала, Сибири
АЦ 7.5-40 (4320)	1	Автоцистерна пожарная: масса полная – 20630 кг; емкость цистерны для воды - 7,5 м ³ ; емкость пенобака - 0,45 м ³ ; число мест боевого расчета – 6; пожарный насос - НЦПН-40/100 В1Т, производительность насоса - 40 л/с; расположение пожарного насоса – среднее; габаритные размеры, мм 9400/ 2500/ 3400; максимальная скорость - 70 км/ч; стационарный лафетный ствол - тип ЛС-С-40; вакуумная система водозаполнения АВС-01Э; производительность лафетного ствола по воде при давлении 0,6 МПа, л/с/по пене, м ³ /мин 40/23,5
АШ (УАЗ-390995)	1	Автомобиль штабной
АПУ-7-100	1	Автомобиль пожарный, универсальный: мощность двигателя - 220 (300) кВт (л.с.); максимальная скорость - 80 км/ч; емкость топливного бака - 300 л; емкость бака пенообразователя 420 л; боевой расчет - 6 чел; емкость цистерны для воды - 7000 л; полная масса - 21740 кг; насос пожарный – тип «ESTER» LK-6000; производительность - 100 л/с;

		напор - 100 м; высота всасывания - 7,5 м; расположение насоса - в кабине боевого расчета;
АПТ- 7-40(43118)	1	Автомобиль пенного тушения: емкость цистерны для пенообразователя – 7 м ³ ; тип насоса - ПН-40 УВ, НЦПН-40/100; производительность – 40 л/с; боевой расчет, человек включая водителя – 3; снаряженная масса ТС – 11500 кг; максимальная скорость - 80 км/ч.
АГВТ-150(5679)-01НН	1	Автомобиль газового тушения: мощность двигателя - 176 (240) кВт, (л.с.); максимальная скорость – 80 км/ч; число мест боевого расчета (включая водителя) – 3 чел.; производительность по газовой смеси – 150 кг/с; количество подаваемой через насадки воды для образования газовой смеси – 90 л/с; емкость цистерны для топлива – 2500 л;
ПНС-110	1	Пожарная насосная станция: максимальная скорость - 80 км/ч; число мест боевого расчета (включая водителя) – 3 чел.; насос пожарный - ПН-110; производительность насоса - 110 л/с; напор – 100 м; наибольшая геометрическая высота всасывания – 7 м; время заполнения насоса водой – 60 с; число всасывающих патрубков/условный проход всасывающего патрубка - 2/150 шт/мм; число напорных патрубков/условный проход напорного патрубка - 2/150 шт/мм.
АР-2 (5557)	1	Пожарный рукавный автомобиль: максимальная скорость - 85 км/ч; запас напорных рукавов: - диаметром 150 мм – 800 м, - диаметром 77 мм – 1200 м; ствол пожарный лафетный - ЛС-С40; расход воды через лафетный ствол – 40 л/с; Боевой расчет (включая место водителя) – 3 чел.

Тушение пожаров на нефтяных и газовых скважинах включает в себя 3 этапа:

– первый этап – подготовка к тушению, что включает в себя охлаждение оборудования и техники, находящихся в зоне пожара, а также орошение факела фонтана, продолжительность этапа 1 ч. При обрушении укрывной арматуры время данного этапа увеличивается из-за расчистки от обломков места пожара.

– второй этап – тушение фонтана с одновременным продолжением операций, предусмотренных первым этапом. Продолжительность определяется способом тушения.

– третий этап – охлаждение устья скважины и орошение фонтана после тушения. Продолжительность этапа 1 ч.

Согласно этим этапам произведем оценку сил и средств для тушения пожара.

1 Первый этап

1. Требуемый расход воды на охлаждение устья скважины:

$$N_{\text{ПЛС-20}} = \frac{Q_{\text{зтр.}}}{q_{\text{ПЛС-20}}} \quad (47)$$

Исходя из того, что диаметр устья скважины 73 мм, а дебит ее составляет 316 т/сут или 0,316 тыс.м³/сут, по таблице 10.2 учебника Я.С. Повзик «Пожарная тактика», принимаем требуемый расход воды $Q_{\text{зтр.}} = 40$ л/с.

4. Определяем требуемое количество стволов ПЛС-20 с диаметром насадка 28 мм при давлении 6 атмосфер на охлаждение устья скважины:

$$N_{\text{ПЛС-20}} = \frac{40}{21} = 1,9, \text{ следовательно, принимаем } 2 \text{ ПЛС-20.}$$

5. Определяем фактический расход воды на охлаждение устья скважины:

$$Q_{\text{ф.}} = N_{\text{ПЛС-20}} \cdot q_{\text{ПЛС-20}} = 2 \cdot 21 = 42 \text{ л/с} \quad (48)$$

где $N_{\text{ПЛС-20}}$ – количество ПЛС-20, шт;

$q_{\text{ств"Б"}}$ – фактический расход одного ПЛС-20 при давлении 6 атмосфер.

4. Следовательно, расход воды (q_1) на первом этапе принимаем 42 л/с, в течение времени (t_1) – 1 ч – (60 минут).

2 Второй этап

1. Выбираем способ тушения с помощью АГВТ. Для этого определяем необходимое количество машин для данного дебита нефтяного фонтана:

$$N_{\text{АГВТ}} = Q / q \quad (49)$$

где Q – дебит фонтана, тыс. м³/сут.;

q – предельный дебит, который может потушить один автомобиль, тыс. м³/сут.

$N_{\text{АГВТ}} = 0,316/4,5 = 0,07$, следовательно, принимаем 1 автомобиль.

2. Определяем фактический расход воды на тушение от АГВТ, согласно ТТХ автомобиля принимаем 90 л/с.

Учитывая оперативно-тактические особенности объекта, на защиту личного состава и АГВТ принимаем стволы «Б» из расчета 1 ствол «Б» на 1 ПЛС-20, 1 АГВТ.

8. Определяем фактический расход воды на защиту л/с и АГВТ:

$$Q_{\text{ф.}} = N_{\text{ств"Б"}} \cdot q_{\text{ств"Б"}} \quad (50)$$

где $N_{\text{ств"Б"}}$ – количество стволов «Б», шт;

$q_{\text{ств"Б"}}$ – фактический расход одного ствола «Б» при давлении 6 атмосфер.

$$Q_{\text{ф.}} = 3 \cdot 3,7 = 11,1 \text{ л/с}$$

3. Следовательно, расход воды (q_2) на втором этапе длительностью (t_2) – 0,4 часа (15 минут) принимаем:

$$90 + 11,1 + 42 = 143,1 \text{ л/с.}$$

3.1.3 Третий этап

1. Определяем требуемый расход воды на охлаждение устья скважины после тушения:

Исходя из того, что диаметр устья скважины 73 мм, а дебит ее составляет 0,316 тыс. м³/сут., по таблице № 10.2 учебника Я.С. Повзик «Пожарная тактика» Москва-2001, принимаем требуемый расход воды $Q_{зтр.} = 40$ л/с.

2. Определяем требуемое количество стволов ПЛС-20 с диаметром насадки 28 мм при давлении 6 атмосфер на охлаждение устья скважины после тушения по формуле :

$$N_{ПЛС-20} = \frac{40}{21} = 1,9, \text{ следовательно, принимаем } 2 \text{ ПЛС-20.}$$

3. Определяем фактический расход воды на охлаждение устья скважины после тушения:

$$Q_{ф.} = 2 \cdot 21 = 42 \text{ л/с}$$

4. Следовательно, расход воды (q_3) на третьем этапе принимаем 42 л/с, в течение времени (r_1) – 1 ч – (60 минут).

3.1.4 На объекте для обеспечения возможности использования воды из системы ППД (поддержание пластового давления), с целью орошения скважин в случае пожара, на высоконапорном водоводе предусмотрено ответвление Ду 100 с задвижкой для подключения передвижного блока редуцирующего устройства (БРУ). БРУ, предназначено для понижения давления воды с 18,0 МПа до 1,0 МПа, подаваемой на оборудование пожаротушения из системы поддержания пластового давления.

На данном кусте скважин 2 БРУ производительностью 90 л/с, следовательно, всего 180 л/с предназначены для тушения пожара.

Общий расход воды на производимые операции складывается из расхода воды на каждом этапе:

$$Q_{\text{все}} = q_1 \cdot r_1 + q_2 \cdot r_2 + q_3 \cdot r_2 \quad (51)$$

$$Q_{\text{все}} = 42 \cdot 3600 + 143,1 \cdot 540 + 42 \cdot 3600 = 431190 \text{ л.}$$

За все время работы (2 часа 15 минут) БРУ может отдать:

$$Q_{\text{БРУ}} = 180 \cdot 2,4 \cdot 3600 = 1458000 \text{ л воды.}$$

Для обеспечения объекта водой должно выполняться условие:

$$Q_{\text{БРУ}} > Q_{\text{все}}$$

$$1458000 \text{ л} > 431190 \text{ л}$$

Так же, на объекте имеется дополнительный запас воды (РПЗ – 50 м³ в количестве 2 шт), следовательно объект водой обеспечен.

3.1.5 Определяем расчетное количество техники:

1. Фактический максимальный расход воды принят на 2 этапе – 143,1 л/с. Анализируя технику, которая находится на вооружении пожарной части (представлена в таблице 15), обеспечить такой расход можно с помощью АЦ-40 и ПНС-110:

$$N_{\text{п.а.}} = N_{\text{АЦ } 6,0-40} + N_{\text{АЦ } 7,5-40} + N_{\text{ПНС-110}} = 40 + 40 + 90 = 170 \text{ л/с} \quad (47)$$

170 л/с > 143,1 л/с, следовательно, техника выбрана верно.

2. Дополнительно в расчет принят 1 АГВТ-150 и 1 АР-2.

3.1.6 Определяем количество личного состава:

$$N_{\text{л.с.}} = 3N_{\text{ПЛС-20}} + N_{\text{ств.защ.}} + N_{\text{п.а.}} + N_{\text{св.}} + \dots \quad (52)$$

где $N_{\text{ПЛС-20}}$ – количество стволов на тушение пожара;

$N_{\text{ств.защ.}}$ – количество стволов на защиту (орошение);

$N_{п.а.}$ – количество насосно-рукавных систем (пожарных автомобилей);

$N_{св.}$ – количество связных.

Количество личного состава определяют путем суммирования числа людей, занятых на проведении различных видов работ по тушению пожара. Так как тушение будет производиться с установкой 2-х автоцистерн, пожарно-насосной станции и АГВТ с подачей на тушение 2-х ПЛС-20 и 3 стволов «Б», то:

$N_{л.с.} = 2 \cdot 4\text{чел.} + 1 \cdot 3\text{чел} + 1 \cdot 3\text{чел} + 1 \cdot 3\text{чел} + 2 \cdot 2\text{чел} + 3 \cdot 1\text{чел} =$
24 человека.

Определяем требуемое количество пожарных подразделений исходя из расчета:

$$N_{\text{под}} = \frac{N_{\text{л.с.}}}{4} \quad (53)$$

$$N_{\text{под}} = \frac{24}{4} \Rightarrow 6 \text{ подразделений.}$$

Анализируя имеющуюся технику на вооружении пожарной части (см. таблицу 14), можно сделать вывод, что сил и средств достаточно для ликвидации пожара на данной нефтяной скважине по рассмотренному сценарию.

4.3 Расчет сил и средств для тушения пожара при помощи пожарного роботизированного комплекса

Основной задачей роботизированного комплекса является отклонение пламени до вертикальной прямой – это позволит отодвинуть тепловой поток, обезопасить технику и людей, и обеспечить возможность технике по разбору

завалов подойти ближе. Наличие лафетного ствола, закрепленного на крыше робота, позволит производить охлаждение устья, не вводя в зону действия высоких температур личный состав.

Первый этап.

Согласно п. 3.1.1 фактический расход на охлаждение устья скважины и прилегающей территории равен 42 л/с. Пожарный роботизированный комплекс с расходом на стволе-мониторе 48,9 л/с при давлении 6 атм, имеет установленный насадок, который отводит часть воды на орошение корпуса и электромагнита, создавая водяную завесу, тем самым заменяет ствол Б, подаваемый на охлаждение. Для замены людей и оборудования, применяемых на первом этапе расчета сил и средств с использованием ПЛС-20, должно выполняться условие:

$$Q_{\text{ф.роб.}} \geq Q_{\text{ф1}} \quad (54)$$

где $Q_{\text{ф1}}$ – фактический расход воды на охлаждение устья скважины и прилегающей территории при помощи 2 ПЛС-20;

$Q_{\text{ф.роб.}}$ – фактический расход воды на охлаждение устья скважины и прилегающей территории при помощи пожарного робота.

$$48,9 \text{ л/с} > 42 \text{ л/с}$$

– условие выполняется, следовательно, 1 ПРК достаточно для первого этапа.

Действие магнитного поля отклоняет пламя в течение первого этапа, изменяя его форму. Площадь пожара так же меняется, что позволяет уменьшить тепловой поток.

Рассчитаем изменение теплового потока и сравним как изменятся зоны теплового воздействия от факела пламени.

1) Площадь пожара под воздействием магнитного поля измеряется как:

$$F_{\Pi 1} = F_{\Pi} - S \quad (55)$$

где S – площадь пожара, после воздействия на него магнитного поля, м^2 .

$$S = \frac{1}{2} R^2 \left(\frac{3,14 \cdot \alpha}{180^\circ} - \sin \alpha \right) = \frac{1}{2} \cdot 2,75^2 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 178^\circ}{180^\circ} - 0,9999 \right) = 7,96 \text{ м}^2$$

Тогда

$$F_{\Pi 1} = 23,75 - 7,96 = 15,79 \text{ м}^2.$$

2) Тогда абсолютная массовая скорость выгорания из уравнения:

$$v_{\text{м}}^{\text{abc}} = F_{\Pi 1} \cdot v_{\text{м}}^{\text{уд}} = 15,79 \cdot 0,04 = 0,632 \text{ кг/с.}$$

3) $q_{\Pi} = 0,632 \cdot 43600 \cdot 0,85 = 23407,1 \text{ кВт}$

$$4) q_{\text{л}} = \frac{0,65 \cdot 23407,1}{4 \cdot 3,14 \cdot \left[\left(\frac{14,51}{2} \right)^2 + L^2 \right]}$$

Полученные данные занесем в таблицу 16.

Таблица 16 – Сравнительная таблица величин теплового потока при воздействии магнитного поля и его отсутствии

Зона теплового воздействия	Радиус действия зоны до введения в магнитное поле, м	Тепловой поток до введения в магнитное поле, кВт/м ²	Тепловой поток после введения в магнитное поле, кВт/м ²
I	16,81	4,2	2,79
II	10,72	8,4	5,58
III	9,02	10,5	6,98
IV	6,92	14,0	9,31

Из данной таблицы можно сделать вывод, что тепловой поток в интересующей нас второй зоне уменьшился почти на 3 кВт/м², следовательно, дождеванием техники на втором этапе можно пренебречь.

Второй этап.

1. Выбираем способ тушения с помощью АГВТ. Для этого определяем необходимое количество машин для данного дебита нефтяного фонтана:

$$N_{\text{АГВТ}} = 0,316/4,5 = 0,07, \text{ следовательно, принимаем 1 автомобиль.}$$

2. Определяем фактический расход воды на тушение от АГВТ, согласно ГТХ автомобиля принимаем 90 л/с.

Требуемый расход воды (q_2) на втором этапе принимаем:

$$q_2 = 90 + 48,9 = 138,9 \text{ л/с}$$

– время (t_2) – 0,4 часа (15 минут).

Третий этап.

1. Фактический расход воды на стволе-мониторе пожарного робота для нужд охлаждения устья скважины после тушения относительно фактического расхода, принятого в п. 3.1.3, должен удовлетворять условию:

$$Q_{\text{ф.роб.}} \geq Q_{\text{фз}}$$

$$48,9 \frac{\text{л}}{\text{с}} > 42 \frac{\text{л}}{\text{с}}$$

Условие выполняется, следовательно, пожарного роботизированного комплекса будет достаточно для 3 этапа.

2. Общий расход воды на производимые операции равен

$$Q_{\text{все}} = 48,9 \cdot 3600 + 138,9 \cdot 900 + 48,9 \cdot 3600 = 477090 \text{ л}$$

За все время работы (2 часа 15 минут) БРУ может отдать

$$Q_{\text{БРУ}} = 180 \cdot 2,4 \cdot 3600 = 1458000 \text{ л воды.}$$

$$1458000 \text{ л} > 477090 \text{ л}$$

$$Q_{\text{БРУ}} > Q_{\text{все}}$$

Так же, имеется дополнительный запас воды (РПЗ – 50 м³ в количестве 2 шт), следовательно объект водой обеспечен.

Определяем расчетное количество техники:

1. Фактический максимальный расход воды принят на 2 этапе – 138,9л/с. Анализируя технику, которая находится на вооружении пожарной части, обеспечить такой расход можно с помощью АЦ-40 и ПНС-110:

$$N_{\text{п.а.}} = N_{\text{АЦ 6,0-40}} + N_{\text{АЦ 7,5-40}} + N_{\text{ПНС-110}} = 40 + 40 + 90 = 170 \text{ л/с}$$

170л/с > 138,9л/с, следовательно, техника выбрана верно.

2. Дополнительно в расчет принят 1 АГВТ-150 и 1 АР-2.

Определяем количество личного состава.

Количество личного состава определяют путем суммирования числа людей, занятых на проведении различных видов работ по тушению пожара. Так как тушение будет производиться с установкой 2-х автоцистерн, пожарно-насосной станции, АГВТ и пожарного роботизированного комплекса, то:

$$N_{\text{л.с.}} = 2 \cdot 4\text{чел.} + 1 \cdot 3\text{чел} + 1 \cdot 3\text{чел} + 1 \cdot 3\text{чел} + 1 \cdot 1\text{чел} = 18 \text{ человек}$$

Определяем требуемое количество пожарных подразделений:

$$N_{\text{под}} = \frac{18}{4} = 4,5 \Rightarrow 5 \text{ подразделений.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы было установлено, что треть аварий на объектах нефтегазового комплекса составляют аварии, сопровождающиеся пожаром. Существует множество методов, способов ликвидации аварий, связанных с открытыми выбросами с возгоранием, при разработке нефтяных месторождений. Однако стоит отметить, что наряду с преимуществами, которые имеют каждый из перечисленных выше способов, все они имеют общий недостаток – низкая дальность подачи огнетушащего вещества, что недопустимо в условиях высокого теплового излучения газового факела. Так, при тушении с помощью лафетных стволов и автомобилей газовой тушения оптимальная дальность подачи составляет 15 м, а безопасное расстояние для личного состава от факела уже при дебите $V = 0,5$ млн. м³/сутки составляет около 50 м.

Воздействие опасных факторов пожара на работников противопожарной службы, пожарных, работающих в непосредственной близости с очагом пожара, существенно снижает их уровень безопасности.

Таким образом, для тушения пожаров газовых фонтанов наиболее перспективным является разработка устройств, способных обеспечивать подачу огнетушащих смесей с расстояний, превышающих критические, для безопасности личного состава по тепловому излучению.

В связи с этим, коллективом авторов проводилась работа по усовершенствованию предложенного ранее факельного зонта. Технический результат предлагаемого метода заключается в снижении влияния опасных факторов пожара на личный состав, задействованный в тушении пожара, и сокращении времени, затраченного на его ликвидацию.

При этом технико-экономическая эффективность предлагаемого устройства обусловлена:

- снижением расхода огнетушащего вещества необходимого для тушения пожара, в связи с подачей его непосредственно к источнику возгорания;
- увеличением продолжительности срока службы пожарного оборудования и машин благодаря снижению воздействия опасных факторов пожара в зоне возгорания;
- снижением потерь нефти и газа при их сгорании за счет сокращения времени, затраченного на ликвидацию пожара.

А также был предложен инновационный метод ликвидации аварий, связанных с открытыми выбросами с возгоранием, при разработке нефтяных месторождений.

Инновационный метод тушения включает в себе применение двух перспективных направлений борьбы с пожаром: пожарный робот автоматизирует процесс тушения пожара, исключая работу людей в опасной зоне, а электромагнит, создавая магнитное поле, уменьшает тепловой поток от пожара, и тем самым защищает пожарную технику.

В ходе проведенного анализа пожарных роботов, имеющихся в России, был выбран пожарный робот «Ель-10», подходящий по всем параметрам под полезную модель. Были произведены все необходимые расчеты для выбора электромагнита, устанавливаемого на данный робот. Разработана тактика использования пожарного роботизированного комплекса.

Также в ходе расчетов было установлено, что вариант тушения с использованием пожарного роботизированного комплекса является эффективным и затраты, необходимые на реализацию данного способа, целесообразны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безбородько М.Д. и др. Пожарная техника. [Текст] – Учебник - М.:Академия ГПС МЧС России, 2004. -550 с
2. Ботова В.И., Фиалков Б.С. Влияние внешнего электрического поля на область подготовки углеводородного пламени [Текст] // ФГВ. –1987, №6.
3. Булгаков Ю.Ф., Дикенштейн И.Ф., Зуйкова С.Н. Отчет о научно исследовательской работе. – Донецк: НИИГД, 1997.
4. Булчаев Н.Д., Безверхая Е.В. Способ герметизации устья горячей нефтяной скважины [Текст] // Газовая промышленность. –2011. – №4/658. – С. 85-87.
5. Гаранин А.Ф., Третьяков П.К, Тупикин А.В. [Текст] // Новосибирск: Физика горения и взрыва. 2008. - №1. - т. 44. - с.22-25.
6. Гуляев Г.А., Попков Г.А., Шебеко Ю.Н. Об эффектах синергизма при совместном действии электрического поля и инертного разбавителя на газофазные пламена [Текст] // ФГВ. –1987, №2.
7. Голуб В. В., Бакланов Д. И., Головастов С. В., Иванов К. В., Иванов М. Ф., Киверин А. Д., Володин «Воздействие акустического поля на развитие пламени и переход в детонацию». Теплофизика высоких температур, том 48, № 6, ноябрь–декабрь 2010, с. 901–907.
8. Гуляев Г.А., Попков Г.А., Шебеко Ю.Н., Короленок А. Исследование совместного действия инертного разбавителя и электрического поля газофазные пламена [Текст] // ФГВ. –1988, №6.
9. Зиновьев Л.А., Фиалков Б.С. Изучение ионизации в пламени окиси углерода [Текст] // ФГВ. – 1990, №5.
10. Исаев Н.А. Механизм влияния сильных постоянных электрических полей на пламя / /Физика вибрационного горения и методы её исследования. Чебоксары: Чувашский го. Ун-т,1971. Вып. 1. С. 58-73

11. Ларионова И.А., Фиалков Б.С., Калинич К.Я., Фиалков А.Б., Остапов Б.С. Ионная структура и последовательность ионообразования в пламени ацетилена [Текст] // ФГВ. –1993, №3.
12. Марков В.Ф., Миронов М.П. , Маскаева Л. Н., Гайнуллина Е.В. Теоретический расчет основных параметров горения и тушения пожаров газовых фонтанов: Учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы по дисциплине «Физико-химические основы развития и тушения пожаров» для курсантов, слушателей и студентов факультета инженеров пожарной безопасности по специальности 280104.65 – Пожарная безопасность[Текст]// Екатеринбург: Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России 2011. 41 с.
13. Майоров Н.И. Передача пламени через узкие каналы в отсутствие электрического поля и при его наложении [Текст] // ФГВ. –1986, №6.
14. Органические растворители. Действие на организм человека растворителей наркотического типа (бензин, ацетон, метиловый спирт). Профилактические мероприятия. [Текст] <http://www.fmx.ru/index.html>
15. Пантелеев А.Ф., Попков Г.А., Цариченко С.Г., Шебеко Ю.Н. Влияние электрического поля на распространение пламени по поверхности твердого материала // ФГВ. –1992, №3.
16. Пантелеев А.Ф., Попков Г.А., Шебеко Ю.Н., Цариченко С.Г. Влияние электрического поля на предельный расход срыва диффузионного пламени пропановодородной смеси // ФГВ. – 1993, №1.
17. Повзик Я.С. Пожарная тактика: Учебное пособие [Текст]. – М.: ЗАО Спецтехника // Глава 10. – С. 224-234.
18. Степанов, Е.М., Ионизация в пламени и электрическое поле/ Е.М.Степанов, Б.Г.Дьячков - М.: Металлургия, 1968. - 311с.

19. Столяренко Г.С., Вязовик В.Н., Водяник О.В., Марцинишин Ю.Д. Электрокаталитическая интенсификация горения твердого и газообразного топлива. Вісник ЧДТУ, 2008г, №1, стр 165-169
20. Фиалков А.Б., Фиалков Б.С. Экспериментальное определение первичных и промежуточных ионов во фронте пламени Текст] // ФГВ. –1988, №5.
21. Черепнин С.Н., Дашевский В.Н. Влияние внешнего электрического поля на параметры горения и электризацию сопла энергетической установки // ФГВ. –1990, №6.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 166438

ПОЖАРНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский федеральный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

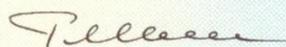
Заявка № 2016114749

Приоритет полезной модели 15 апреля 2016 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 07 ноября 2016 г.

Срок действия патента истекает 15 апреля 2026 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 169030

ФАКЕЛЬНЫЙ ЗОНТ

Патентообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский федеральный университет" (RU)*

Авторы: *Бражников Андрей Викторович (RU), Довженко Николай Николаевич (RU), Минкин Андрей Николаевич (RU), Помолотова Оксана Викторовна (RU), Азарникова Виктория Александровна (RU), Акентьева Юлия Эдуардовна (RU)*

Заявка № 2016127387

Приоритет полезной модели 06 июля 2016 г.

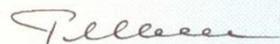
Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 01 марта 2017 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 06 июля 2026 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев