

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

Институт инженерной и экологической безопасности
(наименование института полностью)

Департамент магистратуры
(наименование)

20.04.01 Техносферная безопасность
(код и наименование направления подготовки)

Управление пожарной безопасностью
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему «Совершенствование системы управления оперативными
подразделениями при тушении пожаров в резервуарных парках с
применением стационарных робототехнических средств»

Студент

Е. Ю. Шурыгина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

Доцент ДМ ИИиЭБ, И. И. Рашоян

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| Обозначения и сокращения..... | 9 |
| Термины и определения | 11 |
| 1 Анализ крупных пожаров в резервуарных парках для хранения нефти и нефтепродуктов | 12 |
| 1.1 Характеристика объектов хранения нефти и нефтепродуктов | 17 |
| 1.1 Анализ крупных пожаров в резервуарных парках | 30 |
| 2. Комплексная оценка методов управления при тушении пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств | 30 |
| 2.1 Постановка проблем управления при тушении пожаров в резервуарных парках | 30 |
| 2.2 Комплексная оценка методов управления при тушении пожаров в резервуарных парках с применением робототехнических средств..... | 41 |
| 3. Разработка методов управления стационарными робототехническими средствами при тушении пожаров в резервуарных парках | 55 |
| 3.1 Методы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров в резервуарных парках | 55 |
| 3.2 Разработка модели управления пожарно-спасательными подразделениями с применением робототехнических средств | 57 |
| 4. Оценка эффективности применения стационарных робототехнических средств тушения пожаров в резервуарных парках | 61 |
| 4.1 Сравнительный анализ применения водяных стволов и пожарных роботов | 61 |
| 4.2 Оценка повышения эффективности тушения пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств | 66 |
| Заключение | 74 |
| Список используемой литературы | 77 |

Введение

Актуальность темы исследования заключается в том, что в настоящее время на объектах нефтеперерабатывающей промышленности остаются важными вопросы, связанные с пожарной безопасностью, обеспечение которой представляет собой первостепенную задачу для успешного развития всей нефтяной отрасли.

При этом, объектами повышенной опасности в нефтяной отрасли признаются резервуары и резервуарные парки (далее – РП) как специально организованные ёмкостные пространства для целей хранения сырой нефти и нефтепродуктов. Пожарная опасность обуславливается наличием в обращении и скоплением большого количества легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на незначительной территории резервуарного парка нефтепровода или нефтебазы, а также такими факторами, как образующимися со временем паров и газов в резервуарной емкости, их взрывоопасными свойствами, высокой рабочей температурой, высокой вероятностью возникновения горючей среды при нарушениях герметичности, в случае возникновения повышенного давления, механических повреждений, а также особенностями технологических характеристик и процессов, то есть всем тем, что может спровоцировать возникновение пожара в резервуарном парке.

Ситуация неконтролируемого распространения пожара в резервуарном парке представляет собой одну из критических чрезвычайных ситуаций, последствия которой могут оказаться значительными в плане не только материальных убытков, но и возможных человеческих жертв при локализации. Более того, территориальная организация резервуарных емкостей зачастую характеризуется наличием резервуаров большего объема на незначительной территории резервуарного парка с нефтепродуктами, что, в свою очередь, значительно увеличивает объем веществ, способных к самовозгоранию на единицу занимаемой площади. В связи с этим,

увеличиваются и риски расширения огневой зоны пожара и его распространения на стоящие рядом соседние резервуарные емкости в случае пожарной ситуации и при несвоевременной локализации пожара. Более того, пожар в резервуаре с нефтепродуктами в большинстве случаев начинается со взрыва что делает применение систем автоматического пожаротушения неэффективным [19].

Динамичное развитие робототехнической сферы, и совместное применение робототехнических систем с комплексами технических средств для своевременного установления очага возгорания и эффективного пожаротушения говорит о значимости совершенствования технологических процессов по ликвидации пожаров путем использования стационарных робототехнических средств (далее – СРТС), а именно комплексного использования стационарных роботизированных лафетных стволов (далее – СРЛС) и технических средств для обнаружения пожаров, как способа решения проблемы пожаротушения в резервуарных парках [43].

На данный момент разработкой и производством робототехнических средств для целей пожаротушения на территории Российской Федерации занимаются ВНИИПО, завод «Уралмеханика» и инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР».

В связи с этим, можно утверждать, что ликвидация источников пожара в резервуарном парке с применением новейших технологически модернизированных средств по обеспечению пожарной безопасности, в том числе путем использования СРТС и СРЛС, в частности, в соответствии с современной концепцией развития робототехнических систем специального назначения в системе МЧС, является действительно важной задачей для обеспечения современных научных подходов к решению задач по имеющимся тактическим возможностям при ликвидации и тушении пожаров.

Вопросам пожарной безопасности на резервуарах и резервуарных парках посвящены работы А. Ю. Андрюшкина, М. Т. Пелех [1], Д. С. Иванкова, Г. И. Сметанкиной, А. В. Жердева [15], Г. Х. Самигуллина, Е.

Н. Кадочниковой, Д. Э.Теплякова [30], И. Д. Скрипник, С. В. Воронина [31] и другие [1], [2], [3], [13], [17], [18], [19], [20].

Особенности хранения горючих жидкостей, их характеристики и процессы горения исследовались К. Ф. Кушниренко [15], Н. В. Лазаревым [16], В. В. Тербневым, Н. С. Артемьевым, А. В. Подгрушным [36]. Отдельные вопросы по поддержке управленческих решений при локализации пожаров нашли отражение в трудах К. С. Власова [4], М. М. Данилова [12], и другие [27], [37], [39], [40], [45], [46], [47].

Однако несмотря на то, что проблема пожарной охраны и пожаротушения достаточно хорошо рассмотрена в тематической литературе, вопрос совершенствования системы управления при тушении пожаров в резервуарных парках с применением СРТС остается малоизученным.

Объект исследования – процесс организации тушения пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств.

Предмет исследования – методы управления оперативными подразделениями с применением стационарных робототехнических средств.

Цель исследования – разработка методов управления оперативными подразделениями при тушении пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств.

Гипотеза исследования состоит в том, что регулярная эксплуатация роботизированных установок и их совершенствование поможет снизить риски распространения и увеличения очага возгорания, вместе с тем, устранил высокий риск получения травм и ожогов пожарно-спасательного гарнизона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– провести анализ достоинств и недостатков существующих методов расчета автоматической установки водяного пожаротушения (АУВПТ);

– разработать метод анализа и синтеза разветвленных оросительных сетей; разработать метод расчета и построения единой напорно-расходной характеристики для параллельного и последовательного включения пожарных насосов;

– разработать методику нахождения рабочей точки АУВПТ для аналитического метода с учетом разветвленности оросительной сети и наличия нескольких насосов.

Теоретико-методологическую основу исследования составили научные работы и нормативные источники, а также отдельные элементы системного подхода, способствующие выработке эффективной стратегии исследования в их взаимосвязи и взаимообусловленности.

Базовыми для настоящего исследования явились также:

– проведение исследования разработки методов управления оперативными подразделениями при тушении пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств;

– проведение анализа по обеспечению должного уровня безопасности личного состава, работающего в зоне теплового воздействия и других опасных факторов пожара при тушении пожаров в резервуарных парках.

Методы исследования. В проведенных исследованиях применялись теоретический и расчётно-аналитический методы. Методологической базой диссертационной работы являются работы Власова К.С., Волкова О.М., Данилова М.М., Демехина Ф.В., Тербнева В.В. и пр.

Опытно-экспериментальная база исследования заключается в проведении исследования эксплуатации робототехнических средств в условиях пожара на территории резервуарных парков, а также проведение разведки и пожаротушения в условиях задымления РТС, которое оснащено системой технического зрения. Заказчик темы – Отдел надзорной деятельности (по г. Ханты-Мансийску и району) Управления надзорной деятельности Главное управление МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу-Югре.

Научная новизна исследования состоит в том, что теоретическими исследованиями проведен анализ работоспособности автоматических установок пожаротушения. Сделаны выводы по факторам, усложняющим тушение пожаров в резервуарах, а также приведена схема причинно-следственных связей возникновения и развития пожаров в резервуарных парках. Определено рекомендуемое время отдыха в зависимости от продолжительности работы личного состава оперативных подразделений. Предложена новая модель тушения пожаров в резервуарных парках и управления оперативными подразделениями.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что были получены данные, на основании которых появляется возможность провести оценку тактических и технических количественных характеристик передвижного робототехнического устройства для пожаротушения в отношении условий и особенностей его применения; проведен сравнительный анализ существующей системы управления подразделениями с предложенной системой управления с применением стационарных робототехнических средств; посредством расчетного метода спланировано число робототехнических устройства в целях пожаротушения и охлаждения горящего и соседнего резервуаров, а также выстроена динамика соответствующих изменения количества человек личного состава оперативных подразделений для пожаротушения с учетом определенных характеристик резервуаров нефтепровода.

Практическая значимость исследования в том, что в соответствии с принципами и различными режимами работы СРТС, проведена оценка методов управления силами и средствами при тушении пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств и за счет них предложены мероприятия по повышению тактических возможностей пожарно-спасательных подразделений, сокращению времени тушения пожара и исключению гибели и травмирования личного состава.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивалась комплексом теоретических и расчётно-аналитических исследований, который, базируется на общих принципах фундаментальной науки и научных основах прогрессивной техники и технологии.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в самостоятельном определении цели и задачи исследований, план проводимых исследований по изучению влияния усовершенствующих методик робототехнических установок при тушении пожаров в резервуарных парках. Проведен анализ и обобщение полученных результатов.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты докладывались на следующих конференциях:

- научно-практическая конференция «Шаг в науку», сентябрь 2020г.;
- научно-практическая конференция «Инновационные исследования», февраль 2021 г.

На защиту выносятся следующие положения:

- обеспечение должного уровня безопасности личного состава, работающего в зоне теплового воздействия и других опасных факторов пожара при тушении пожаров в резервуарных парках;
- минимизация личного состава оперативных подразделений, работающего в зоне теплового воздействия, за счет применения стационарных робототехнических средств при тушении пожаров в резервуарных парках;
- оценка повышения эффективного применения СРТС при тушении пожаров в резервуарных парках.

Обозначения и сокращения

АСР – аварийно-спасательные работы

ВНИИПО – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны»

ВЗ – вынужденное зажигание

ГЖ – горючие жидкости

ГПС – Государственная противопожарная службы

ЛВЖ – легковоспламеняющиеся жидкости

ЛПДС – линейная производственно-диспетчерская станция

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

ОВ – огнетушащее вещество

ОКПГ – отсутствие контроля над процессом горения

ОФП – опасные факторы пожара

ОФПС – отряд федеральной противопожарной службы

ПА – пожарный автомобиль

ПДУ - пульт дистанционного управления

ПРП – пути распространения пожара

ПРУ - пульта радиоуправления

ПР – пожарный робот

РВС – резервуар вертикальный стальной

РП – резервуарный парк

РТП – руководитель тушения пожара

РФ – Российская Федерация

СИЗОД – средства индивидуальной защиты органов дыхания

СНиН – склады нефти и нефтепродуктов

СП – свод правил

СРЛС – стационарный роботизированный лафетный ствол

СРТС – стационарные робототехнические средства

ТУ – техническое условие

УВГ – условия возникновения горения

УОГС – условия образования горючей среды

УСО – устройство сопряжения с объектом

ФГКУ – Федеральное государственное казенное учреждение

ФПС – Федеральная противопожарная служба

Термины и определения

| Термин | Определение |
|--|--|
| Резервуарный парк (РП) | группа (группы) резервуаров, предназначенных для приема, хранения и отпуска нефтепродуктов, ограниченная по периметру обвалованием или ограждающей стенкой - при наземных резервуарах, противопожарными проездами - при подземных резервуарах и резервуарах, установленных в котлованах или выемках. |
| Резервуар вертикальный стальной (РВС) | это изготовленная из стали вертикальная цилиндрическая емкость, предназначенная для приема, хранения, выдачи воды, нефтепродуктов, химикатов и других жидкостей. |
| Огнетушащее вещество (ОВ) | вещество, которое обладает физико-химическими свойствами, позволяющими создать условия для прекращения горения. |
| Робототехническое средство (РТС) | это автоматизированное самодвижущееся техническое устройство (машина), выполняющее заданные функции человека и другие действия без его непосредственного участия. |
| Пожарные роботы (роботизированная установка пожаротушения) | это отдельный подкласс противопожарного оборудования; незаменимы в ситуациях, когда человек не может находиться в зоне горения в связи с высоким риском для жизни или когда невозможно получить доступ к тому или иному объекту. |

1 Анализ крупных пожаров в резервуарных парках для хранения нефти и нефтепродуктов

1.1 Характеристика объектов хранения нефти и нефтепродуктов

Согласно ГОСТ 31385-2016 резервуар вертикальный стальной – это наземное строительное сооружение, предназначенное для приема, хранения и выдачи жидкости [7]. Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов относятся к I - повышенному уровню ответственности сооружений согласно ГОСТ 27751 -2014 [6].

В зависимости от объема хранимого продукта резервуары подразделяются на четыре класса опасности:

- класс I - резервуары объемом более 50000 м³;
- класс II - резервуары объемом от 20000 включительно до 50000 м³ включительно, а также резервуары объемом от 10000 до 50000 м³ включительно, расположенные непосредственно по берегам рек, крупных водоемов и в черте городской застройки;
- класс III - резервуары объемом от 1000 и менее 20000 м³;
- класс IV - резервуары объемом менее 1000 м³.

Согласно специфике технических характеристик наземных резервуарных конструкций, выделяют следующие типы емкостей вертикального направления цилиндрической формы, предназначенных для приема, хранения горючей жидкости и нефтепродуктов [7]:

- резервуарные ёмкости, в части конструкционного элемента которых выделяется стационарная крыша конической либо сферической оболочкой настила; без плавающего покрытия внутри резервуара на поверхности жидкости (без понтона) (РВС); способность вмещать нефть и нефтепродукты в зависимости от внутреннего объёма составляет до 20000 м³ (при хранении ЛВЖ) и до 50000 м³ (при хранении ГЖ);

– резервуарные ёмкости, в части конструкционного элемента которых выделяется стационарная крыша с плавающим покрытием внутри резервуара (с понтоном) (РВСП); способность вмещать нефть и нефтепродукты в зависимости от внутреннего объёма составляет до 50000 м³;

– резервуарные ёмкости, в части конструкционного элемента которых выделяется внутренняя плавающая крыша для улучшения пожарной безопасности при хранении ЛВЖ и ГЖ (РВСПК); способность вмещать нефть и нефтепродукты в зависимости от внутреннего объёма составляет до 120000 м³ [25].

Основные количественные величины по высоте стенки и внутреннему диаметру стальных резервуаров вертикального направления представлены в таблице 1.

Таблица 1– Параметры по высоте стенки и диаметру РВС

| Тип резервуара | Высота стенки РВС, м | Диаметр РВС, м | Площадь зеркала горения слоя топлива, м ² | Периметр РВС, м |
|----------------|----------------------|----------------|--|-----------------|
| РВС-1000 | 9 | 12 | 120 | 39 |
| РВС-2000 | 12 | 15 | 181 | 48 |
| РВС-3000 | 12 | 19 | 283 | 60 |
| РВС-5000 | 12 | 23 | 408 | 72 |
| РВС-5000 | 15 | 21 | 344 | 65 |
| РВС-10000 | 12 | 34 | 918 | 107 |
| РВС-10000 | 18 | 29 | 637 | 89 |
| РВС-15000 | 12 | 40 | 1250 | 126 |
| РВС-15000 | 18 | 34 | 918 | 107 |
| РВС-20000 | 12 | 46 | 1632 | 143 |

Стенки РВС представляют собой металлическую листовую конструкцию, обычно принятые размеры 1,5 x 4 м. При этом, минимально предельно допустимая величина поперечного сечения нижнего участка стенки резервуарной емкости в зависимости от типа РВС и от внутреннего объёма и варьируется от 6 мм для РВС-1000 до 25 мм для РВС-120000.

Предельно допустимая величина поперечного сечения верхнего участка стенки резервуарной емкости находится в пределах от 4 мм до 10 мм. Сварной шов вверху в месте соединения крыши резервуара со стенкой является стыковым ослабленным швом, в виду того, чтобы предотвратить повреждения резервуара при возможном взрыве паровоздушной смеси внутри закрытого пространства резервуара [18].

Склады нефти и нефтепродуктов представляют собой комплекс зданий, резервуаров и других сооружений, предназначенных для приема, хранения и выдачи нефти и нефтепродуктов. К складам нефти и нефтепродуктов относятся: «предприятия по обеспечению нефтепродуктами (нефтебазы); резервуарные парки и наливные станции магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов; товарно-сырьевые парки центральных пунктов сбора нефтяных месторождений, нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий; склады нефтепродуктов, входящие в состав промышленных, транспортных, энергетических, сельскохозяйственных, строительных и других предприятий и организаций (расходные склады)» [24].

Склады нефти и нефтепродуктов в зависимости от их общей вместимости и максимального объема одного резервуара подразделяются на категории согласно таблице 2 [32].

Таблица 2 – Категории складов нефти и нефтепродуктов в зависимости от их общей вместимости и максимального объема одного резервуара

| Категория склада | Максимальный объем одного резервуара, м ³ | Общая вместимость РП, м ³ |
|------------------|--|--------------------------------------|
| I | – | более 100000 |
| II | – | более 20000, но не более 100000 |
| IIIа | до 5000 | более 10000, но не более 20000 |
| IIIб | до 2000 | более 2000, но не более 10000 |

Для пожаротушения и установок, помещений и оборудования нефтеперерабатывающих предприятий применяются ряд систем и средств пожаротушения.

Применяются системы газового пожаротушения кратковременного действия модульного типа, газового пожаротушения кратковременного действия баллонного типа, порошкового пожаротушения кратковременного действия модульного типа, установки с использованием тонкого распыления водных огнетушащих веществ, установки с использованием распыления порошковых огнетушащих веществ (реагентов). Также для локального пожаротушения на открытых насосных станциях светлых нефтепродуктов и дизельного топлива, в закрытой нефтяной насосной и станции смешивания используются модульные быстродействующие автономные порошковые извещатели [33].

В настоящее время на нефтеперерабатывающих предприятиях используются два технико-тактических приема по локализации пожарного очага в резервуарных емкостях и парках: подача огнетушащего средства, воздушно-механической пены, сверху на источник горение, и метод подслоного тушения. Оба метода требуют большого количества огнетушащих веществ и не всегда эффективно работает.

Общую вместимость группы наземных резервуаров, а также расстояние между стенками резервуаров, располагаемых в одной группе, следует принимать в соответствии с таблицей 3 [22].

Таблица 3 – Общая вместимость группы наземных резервуаров, а также расстояние между стенками резервуаров, располагаемых в одной группе

| Тип РП | Единичный номинала объем резервуаров, устанавливаемых в группе, м ³ | Вид хранимых жидкостей (нефти нефтепродуктов) | Допустимая общая номинальная вместимость группы, м ³ | Минимальное расстояние между резервуарами, расположенными в одной группе |
|--------|--|---|---|--|
|--------|--|---|---|--|

Продолжение Таблицы 3

| | | | | |
|--------------------|---------------|-----------------------------|--------|-------------------------|
| С плавающей крышей | 50000 и более | Независимо от вида жидкости | 200000 | 30м |
| | менее 50000 | То же | 120000 | 0,5D, но не более 30 м |
| С понтоном | 50000 | " | 200000 | 30м |
| | менее 50000 | " | 120000 | 0,65D, но не более 30 м |

В качестве расстояния между отдельными стенками внутри резервуарных емкостей с неодинаковыми параметрическими величинами необходимо принимать наибольшим из значений, установленных в таблице 3 для этих резервуаров. «Расстояние между стенками ближайших резервуаров, расположенных в соседних группах, должно быть: наземных резервуаров номинальным объемом 20 000 м³ и более – 60 метров, объемом до 20 000 м³ – 40 метров» [22].

В целях предотвращения возможного попадания жидкости нефти и нефтепродуктов в окружающую среду в виду качественных потерь, связанных с эксплуатационным износом резервуарных парков, проявляющих в нарушении герметичности и целостности стальных листов стенок цилиндрических емкостей или переполнения и перелива ёмкости нефтепродуктами в виду ее избыточного заполнения по периметру каждой группы наземных резервуаров предусматривается замкнутое земляное обвалование шириной поверху не менее 0,5 метров, или ограждающая стена из негорючих материалов, рассчитанные на гидростатическое давление разлившейся жидкости.

Согласно ГОСТ Р 53324-2009, высота обвалования или ограждающей стены каждой группы резервуаров «должна быть на 0,2 метра выше уровня расчетного объема разлившейся жидкости, но не менее 1 метра для резервуаров номинальным объемом до 10000 м³ и 1,5 метра для резервуаров объемом 10000 м³ и более. Расстояние от стенок резервуаров до подошвы внутренних откосов обвалования или до ограждающих стен следует

принимать не менее 3 метров от резервуаров объемом до 10 000 м³ и 6 метров – от резервуаров объемом 10000 м³ и более» [9].

В пределах одной группы наземных резервуаров внутренними земляными валами или ограждающими стенами следует отделять:

– «каждый резервуар объемом 20000 м³ и более или несколько меньших резервуаров суммарной вместимостью 20000 м³;

– резервуары с маслами и мазутами от резервуаров с другими нефтепродуктами;

– резервуары для хранения этилированных бензинов от других резервуаров группы» [9].

1.2 Анализ крупных пожаров в резервуарных парках

На сегодняшний день отрасль нефтеперерабатывающей промышленности как современное производство нефтепродуктов и топливного сырья представляет собой комплекс разнообразных по своей сложности и многостадийных технологических процессов. Резервуары и резервуарные парки – это основные сооружения складов нефти и нефтепродуктов (СНиН) и имеют широкое распространение в различных промышленных отраслях. Как отмечает М. М. Данилов, в состав СНиН включены технологические здания, конструктивные сооружения и устройства, назначение которых в действиях по приему, хранению и выдаче нефтяных жидкостей, а также подсобные, производственные, хозяйственно – бытовые здания и конструктивные сооружения, которые способствуют бесперебойной работе резервуаров и возможности их эксплуатировать в полном объеме [12].

Пожары на местах нефтедобычи затруднительно устранить, поскольку в тушении необходимо задействовать большое количество сил и средств, которые поспособствуют ликвидации.

Такого рода пожары способны развиваться с огромной скоростью, возникая на объекте одного резервуара, перемещаясь на другой, что затрудняет тушение и нередко приводит к трагическим последствиям, таким как: экологические катастрофы, неудовлетворительное физическое состояние сил, задействованных на данных пожарах. В масштабных пожарах на нефтяных резервуарах выгорает всё топливо, сгорают единицы техники.

В Российской Федерации, в большинстве случаев, наблюдаются нефтяные резервуары в вертикальном расположении и из стали. Характеристика нефтяных ресурсов отображена в таблице 4.

Из исследований процесса утилизации возгорания на нефтяных резервуарах, следует, что те нефтяные резервуары, оснащенные системами тушения пожаров на автоматической основе – не тушатся. Дело в том, что они становятся непригодными и в процессе взрыва или какой-либо деформации, перестают влиять на успешность в ликвидации пожара.

Таблица 4 – Характеристика нефтяных ресурсов

| | |
|--|-----------------------|
| Нефтегазовые ресурсы России | 11 нефтяных провинций |
| Объем запасов нефти России в мировом балансе | 6% |

Поскольку нефтяные резервуары довольно большие по ёмкости, то при тушении пожаров, в эксплуатацию вводится мобильные единицы техники. Тушение пожаров в резервуарах, как правило, осуществляется с помощью мобильной пожарной техники. Причин, которые могут повлечь за собой возникновение пожаров на нефтяных резервуарах, довольно много. Самые распространенные, такие как: электричество в статике, разгерметизация корпуса резервуара, утечки нефтепродукта с последующим возгоранием, возгорание пирофорных отложений, не выполнение специальных условий по обеспечению пожарной безопасности при ведении ремонтно-восстановительных работ [5], [9].

По результатам статистического анализа специалистов национального исследовательского центра «Курчатовский институт», ежегодно в мире на объектах хранения, переработки и транспортировки нефти и нефтепродуктов происходит около 1500 аварий, в 4 % аварий от общего количества гибнут от 150 до 200 человек, материальный ущерб от этих аварий в среднем превышает 100 млн. долларов в год [15].

В нашей стране пожары в резервуарах и резервуарных парках – редкое явление, но при этом оказываются сложными и затяжными, ликвидируются с огромнейшим трудом, наносят крупный материальный ущерб. Ежегодно фиксируется около 8-10 возгораний и пожаров на объектах нефтепроводов, в резервуарных парках хранения нефти и нефтепродуктов [2].

Согласно статистическим данным, за последние 20 лет в России в большинстве случаев количество зафиксированных возгораний относительно объектов возникновения пожаров в нефтяном хозяйстве соотносилось следующим образом: 10% пожаров происходит на насосных агрегатах нефтепроводной магистрали; 14% – на предприятиях, осуществляющих добычу нефти, нефтепромыслах; 28% – на предприятиях по переработке нефти, нефтеперерабатывающих заводах; 48% – на распределительных нефтебазах, где отмечается самый высокий процент зафиксированных возгораний [35]. Графическое представление данных по количеству пожаров в процентном соотношении по виду объекта представлено на рисунке 1.

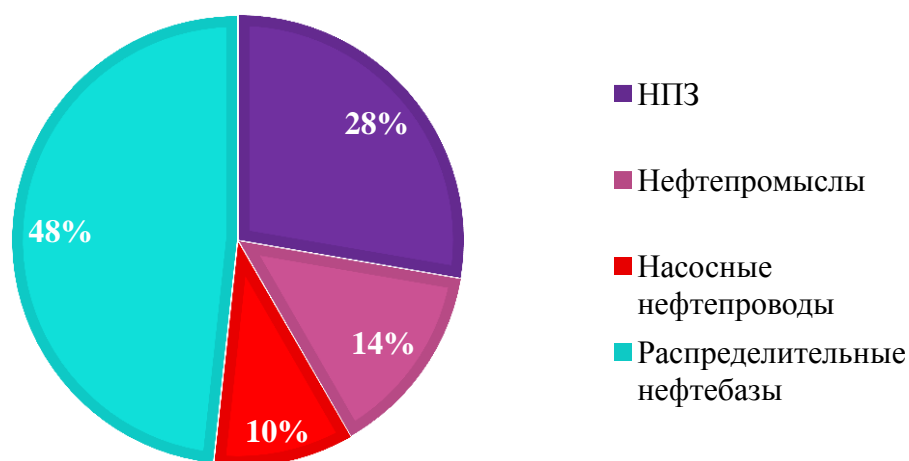


Рисунок 1 – Количество пожаров по виду объекта

В нефтяной отрасли 94 % пожаров и возгораний из всего их числа приходится на РВС резервуары, происходят возгорания хранимых нефтепродуктов. Относительно типа хранимого нефтепродукта в РВС все инциденты с огнем происходили в 33 % случаев на РВС по хранению сырой нефти; в 54 % – на РВС по хранению бензина; и 14 % – на РВС по хранению других нефтепродуктов, к таковым можно отнести мазут, керосин, дизельное топливо, масло и другие. Инциденты с воспламенением нефтяных жидкостей случаются, прежде всего, на функционирующих резервуарах РВС. Среди них 81,5% пожар был зафиксирован в действующих резервуарах для хранения бензина и сырой нефти [35]. Графическое представление данных по количеству зафиксированных пожарных инцидентов относительно хранимых нефтепродуктов в резервуаре представлено на рисунке 2.

Вода является наиболее эффективным средством для тушения пожаров обычных материалов. Вода относительно недорога по сравнению с другими огнетушащими веществами, такими как сухой химикат, CO₂, галоны и пена. В большинстве случаев она легка и доступна в достаточных количествах. Вода обычно прикладывается с силой в виде струи к сердцу огня, но в некоторых обстоятельствах брызги могут быть предпочтительнее [22].

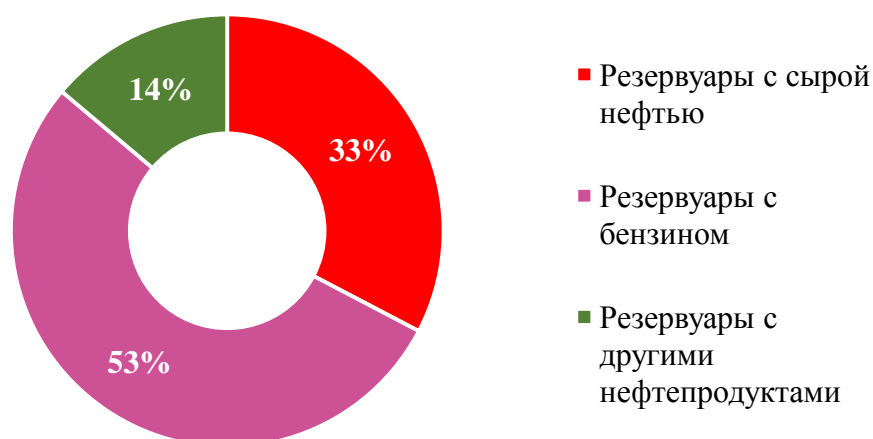


Рисунок 2 – Количество пожаров по характеру нефтепродукта на хранении в резервуаре

Воде принадлежит важная роль при пожаротушении:

– при ликвидации огня, вода, попадая в зону возгорания и взаимодействуя с открытым огнем, начинает превращаться в газообразное состояние, тем самым способствует снижению концентрации кислорода. Нехватка кислорода и приводит к гашению возгорания;

– испарение воды поглощает тепло. Хотя вода является наиболее эффективным огнетушащим средством при пожарах обычных горючих материалов, есть некоторые случаи, когда ее не следует использовать, поскольку это было бы либо опасно, либо неэффективно [43].

На основе анализа сведений в отношении произошедших на относящихся к отрасли объектах аварий представляется возможным указать на существование ряда общих закономерностей, характеризующих возникновение подобных аварий. Возможно выделение ряда категорий причин данных аварий в виде отказов систем, обеспечивающих противоаварийную защиту, разрушения арматуры и технологического оборудования.

Также следует отметить ошибки, запаздывание, бездействие персонала в штатных и нештатных ситуациях, несанкционированные действия персонала.

Кроме того, в числе указанных причин необходимо выделить внешние воздействия природного и техногенного характера.

Число произошедших на протяжении периода с 2009 по 2016 г. аварий на резервуарах нефтеперерабатывающих производств Российской Федерации составило сорок пять. Аварии сопровождались гибелью пятидесяти трех человек. Количество травмированных составило восемьдесят два человека. На основе изучения ключевых причин происходивших в резервуарных парках аварий позволяет выделить их основные категории в виде внешних техногенных и природных воздействий (четырнадцать процентов), отказов оборудования (тридцать пять процентов). Доминирующей причиной является влияние человеческого фактора (пятьдесят один процент). Указанные данные в наглядном виде отражены на рис. 3.

Возможны как локальные, так и катастрофические последствия подобных аварий. В отрасли РВС для хранения нефтепродуктов, нефти представляют собой, несмотря на значительное развитие технологий создания резервуаров, наиболее опасные объекты.

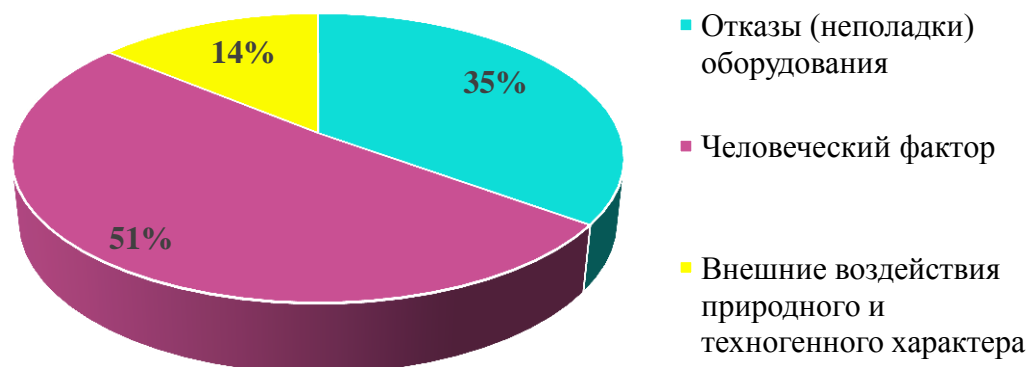


Рисунок 3 – Распределение причин, вызывающих аварии в резервуарных парках

Ежегодный рост числа происходящих на РВС аварий обусловлен выработкой РВС эксплуатационного ресурса. Процент износа находящихся в эксплуатации РВС – порядка восьмидесяти процентов. Тяжесть причиняемого подобными авариями ущерба может быть различной исходя из того, каковы их проявления – от незначительных отказов и разрушений до пожаров, взрывов вследствие разлива нефтепродукта [40].

Ниже представлены наиболее крупные пожары с 2000 года с уничтожением резервуара, группы резервуаров, большой продолжительностью тушения пожара или гибелью людей:

- 2000 год пожар в резервуарном парке НГДУ «Сергиевскнефть» Самарская область, г. Суходол – тушили 7 суток;
- 2000 год пожар на предприятии ОАО «Сургутнефтегаз» РВС-5000, тушение производилось 4 часа, погиб 1 человек;
- 2000 год пожар на предприятии ОАО «Самаранефтегаз», горело три РВС-3000 и один РВС-2000, полная ликвидация пожара была достигнута через 6 суток;

- 2002 год пожар ЛПДС в Красноярском крае РВС-20000 тушили 25 часов;
- 2003 год пожар в Пермской области, РВС-400, погибли 3 человека;
- 2003 год пожар на Туапсинской нефтебазе, РВС-5000, погибло 5 человек;
- 2003 год пожар в поселке Ямбург, Тюменской области, РВС-5000, погибло 2 человека, тушение производилось двое суток;
- 2005 год пожар на нефтебазе г. Архангельск, РВС-2000, погибло 2 человека;
- 2008 год пожар на нефтебазе г. Махачкала, РВС-10000, тушение производилось 25 часов;
- 2009 год пожар на ЛПДС «Конда» в ХМАО-Югре, группа РВС-20000, тушение производилось 43 часа;
- 2014 год пожар УПН «Уса» ТПП «Лукойл-Усинскнефтегаз» ООО Лукойл-Коми, полная ликвидация пожара была достигнута через 36,5 часов, от термического воздействия было уничтожено 5 единиц пожарной техники, пострадал один сотрудник ФПС ГПС [28].

Исходя из исследований, на территории объектов резервуарных парков, нередко последствия пожаров заканчиваются тотальными повреждениями данных резервуаров, что превышает первичные затраты на их установку, отравлением нефтепродуктами, а также гибелью.

Все события, которые закончились плачевно для населения и экологической обстановки, являются комплексной основой для анализа обстоятельств, которые повлекли за собой такие последствия. В данной ситуации необходимо обеспечить надежное качество, из которых будет состоять каркас и основа конструкции нефтяного резервуара, что позволит ускорить процесс внедрения новых методик и снизит риски возникновения подобных пожаров [24].

В зависимости от наполнения объема газового пространства в нефтяном резервуаре, при возникновении пожара, определяется мощность

взрыва. Взрыв газовой смеси происходит либо же со срывом крышки, либо без крышки, но в любом случае с возникновением повреждений на ней.

Если же срыв крышки происходит, то тогда ее отбрасывает на не малое расстояние, порядка 20-30 м, что означает моментальное распространение легковоспламеняющейся жидкости, и возникновения огня [44].

Развитие пожара при хранении больших масс нефти и нефтепродуктов можно подразделить на следующие уровни (рисунок 3):

- первый (А) – возникновение и развитие пожара в пределах одного резервуара без влияния на смежные. Статистика показывает, что с таким сценарием было зарегистрировано около 78 % пожаров в резервуарных парках;

- второй (Б) – распространение пожара с одного резервуара на резервуарную группу (15 % от всего числа пожаров);

- третий (В) – развитие пожара с возможным разрушением смежных резервуаров, зданий и сооружений на территории предприятия и за его пределами, а также поражение опасными, факторами пожара персонала предприятия и населения близлежащих районов. Поражение населения находящихся рядом районов и работников предприятия вследствие воздействия опасных факторов пожара. Доля подобных пожаров составила шесть процентов. Удельный вес пожаров подобного рода в их общем числе невелик. Однако длительность данных пожаров измерялась сутками, а тушение требовало привлекать значительные средства и силы [34].

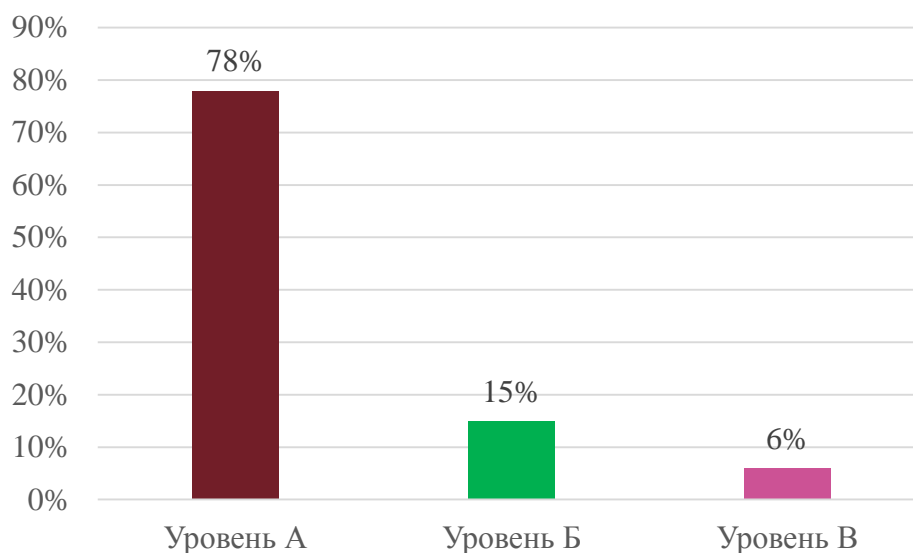


Рисунок 4 – Пожары, возникающие в резервуарах

На рисунке 4 изображена диаграмма в виде количества возникающих пожаров, где: А – возникновение и развитие пожара в пределах одного резервуара, Б – распространение пожара с одного резервуара на резервуарную группу, В – развитие пожара на пределы резервуарного парка.

Состояние резервуаров и его оборудования после возникновения пожара определяет способ тушения и ведения действий подразделений. От всех возникающих факторов будут зависеть дальнейшие действия по предотвращению пожара.

Подобные факторы представлены скоростью прогрева жидкости, площадью пожара, скоростью выгорания, плотностью теплового потока и высотой факела. Прогрев нефти происходит со скоростью от двадцати четырех до тридцати шести сантиметров в час, а выгорание – с линейной скоростью пятнадцать сантиметров в час. Фактором, оказывающим существенное влияние на тушение, выступает накопление тепла в верхних слоях нефтепродукта. Вследствие высокой температуры происходит рост времени тушения, расхода веществ, применяемых для тушения огня, и разрушение пены [40].

Основными экологическими рисками, которые существуют во время нефтяных операций, являются разливы нефти. После того, как нефть

отделили от газа, ее отправляют для хранения нефти в резервуарные парки. Резервуарные парки являются достаточно мощными для хранения добытой нефти до нескольких дней, недели. В складском помещении, которое называется танковой батареей, обычно есть два или более больших резервуара. Масло в батарее бака распределяется по коллектору для перекачки из одного бака в другой. Размеры и другие характеристики резервуаров регулируются спецификациями API и ГОСТ. Первые резервуары для масла были сделаны из дерева. Теперь они изготавливаются из сварной или болтовой стали. Сварные резервуары изготавливаются в цехах и имеют цилиндрическую форму. Их мощность колеблется от 90 до 500 баррелей. Эти резервуары изготовлены из тяжелой стали. Они могут быть доставлены в определенное место на грузовике. Болтовые резервуары изготавливаются из отдельных стальных листов проката, которые собираются на требуемой площадке. Их мощность варьируется от 100 до 50000 баррелей. Из-за их модульной конструкции, болтовые резервуары легко транспортируются в нужные места и затем собираются вручную. В каждом резервуаре для хранения используется стандартное оборудование.

Таким образом, все резервуары имеют очистные пластины для удаления парафинов и других основных отложений. Люк используется для отбора пробы масла из резервуара для того, чтобы определить температуру масла, содержание воды и силу тяжести API. Эта операция называется «Кража» танка. Для контроля уровня хранения используются автоматические клапаны. Нефть обычно хранится на месторождениях или вблизи них, рядом с нефтеперерабатывающими заводами и транспортными центрами. Крупные нефтехранилища называют нефтебазой. Нефтебазы обычно расположены рядом с нефтеперерабатывающими заводами. Большинство из них прикреплены к трубопроводам, из которых они черпают свои запасы, но резервуарные парки также могут питаться по железной дороге, баржами и автомобильными танкерами. Современные нефтебазы и нефтяные терминалы оснащены резервуарами, трубопроводами, порталами. Они обеспечивают

наземное или подземное хранение. Подземные хранилища используются для хранения больших объемов нефти. Благодаря своей термостойкости он особенно подходит для продуктов с высоким давлением пара, таких как продукция нефтеперерабатывающего завода или природный газ. Подземное хранилище позволяет использовать поверхность для других целей, что выгодно для перегруженной или дорогостоящей недвижимости [47].

Проанализировав пожары, возникшие в резервуарных парках, можно сделать следующие выводы:

- существующие системы автоматического тушения пожаров в 60% случаев не выполняют функции пожаротушения в первые минуты возникновения пожара в резервуаре по причине утраты работоспособности системы вследствие взрыва газозооной смеси внутри резервуара;

- тушение пожара с помощью мобильной пожарной техники подачей огнетушащей пены на поверхностный слой нефтепродукта усложняется образованием закрытых пространств – «карманов», которые образуются при деформации стенок или конструкций резервуара, а также при частичном подтоплении крыши резервуара. В процессе тушения пожара в объеме горячего происходит конвективный теплообмен, в результате которого температура жидкости выравнивается по всему объему. За исключением «карманов», в которых теплообмен происходит независимо от основной массы жидкости. Кроме того, действия по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ в резервуарах и резервуарных парках требуют привлечения значительного количества личного состава оперативных подразделений.

При тушении пожара вблизи от горящего резервуара показатели концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения в десятки раз превышают допустимые значения санитарно-гигиенических и эпидемиологических норм. Основные причины получения термических ожогов личным составом оперативных подразделений заключаются в несовершенстве средств тушения, документов предварительного

планирования действий пожарных подразделений при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, недостаточной квалификации участников тушения.

Отсюда следует, что разработка мероприятий по повышению эффективности тушения пожара, правильный выбор и использование пожарной техники, снижающий риск получения ожогов личным составом оперативных подразделений, разработка новых методов тушения пожаров имеют большое значение. Из-за плотного монтажа технологического оборудования, обеспечивающих рабочий режим и противопожарную защищенность резервуарных парков затруднена подача пожарных стволов и огнетушащих веществ для скорейшей ликвидации пожара. Для организации тушения пожаров в резервуарных парках необходимо сосредоточить за короткое время большое количество сил и средств у очага.

Основным условием успешного тушения пожаров в РП остается безопасность личного состава оперативных подразделений, которые привлекаются на тушение пожара и проведение аварийно-спасательных работ, согласно расписанию выездов и плана привлечения сил, и средств, а также совершенствование применяемых средств и методов тушения пожаров [8].

Выводы по 1 разделу

В 1 разделе приведена статистика тушения пожаров, которая показывает, что в резервуарах, в которых имеются автоматические системы пожаротушения, тушение фактически не происходит. Причина состоит в том, что деформация стенок резервуара, взрыв обуславливают выход подобных систем из строя. Должная эффективность функционирования подобных систем не обеспечивается. При тушении пожаров в резервуарах преимущественно используется мобильная пожарная техника. Причинами возникновения пожаров в резервуарах могут являться обстоятельства в виде

нарушения в процессе выполнения работ по ремонту и восстановлению требований технологического процесса и пожарной безопасности, разгерметизации корпуса, статического электричества, возгорания пирофорных отложений и утечек нефтепродукта, за которыми следует возгорание.

При тушении пожара вблизи от горящего резервуара показатели концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения в десятки раз превышают допустимые значения санитарно-гигиенических и эпидемиологических норм. Основные причины получения термических ожогов личным составом оперативных подразделений заключаются в несовершенстве средств тушения, документов предварительного планирования действий пожарных подразделений при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, недостаточной квалификации участников тушения.

Отсюда следует, что разработка мероприятий по повышению эффективности тушения пожара, правильный выбор и использование пожарной техники, снижающий риск получения ожогов личным составом оперативных подразделений, разработка новых методов тушения пожаров имеют большое значение. Из-за плотного монтажа технологического оборудования, обеспечивающих рабочий режим и противопожарную защищенность резервуарных парков затруднена подача пожарных стволов и огнетушащих веществ для скорейшей ликвидации пожара. Для организации тушения пожаров в резервуарных парках необходимо сосредоточить за короткое время большое количество сил и средств у очага. Основным условием успешного тушения пожаров в РП остается безопасность личного состава оперативных подразделений, которые привлекаются на тушение пожара и проведение аварийно-спасательных работ, согласно расписанию выездов и плана привлечения сил, и средств, а также совершенствование применяемых средств и методов тушения пожаров.

2 Комплексная оценка методов управления при тушении пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств

2.1 Постановка проблем управления при тушении пожаров в резервуарных парках

Изучив пожары в резервуарных парках, как в нашей стране, так и за рубежом, пожары в резервуарных парках можно рассмотреть, как схему причинно-следственных связей, которая показана на рисунке 5.

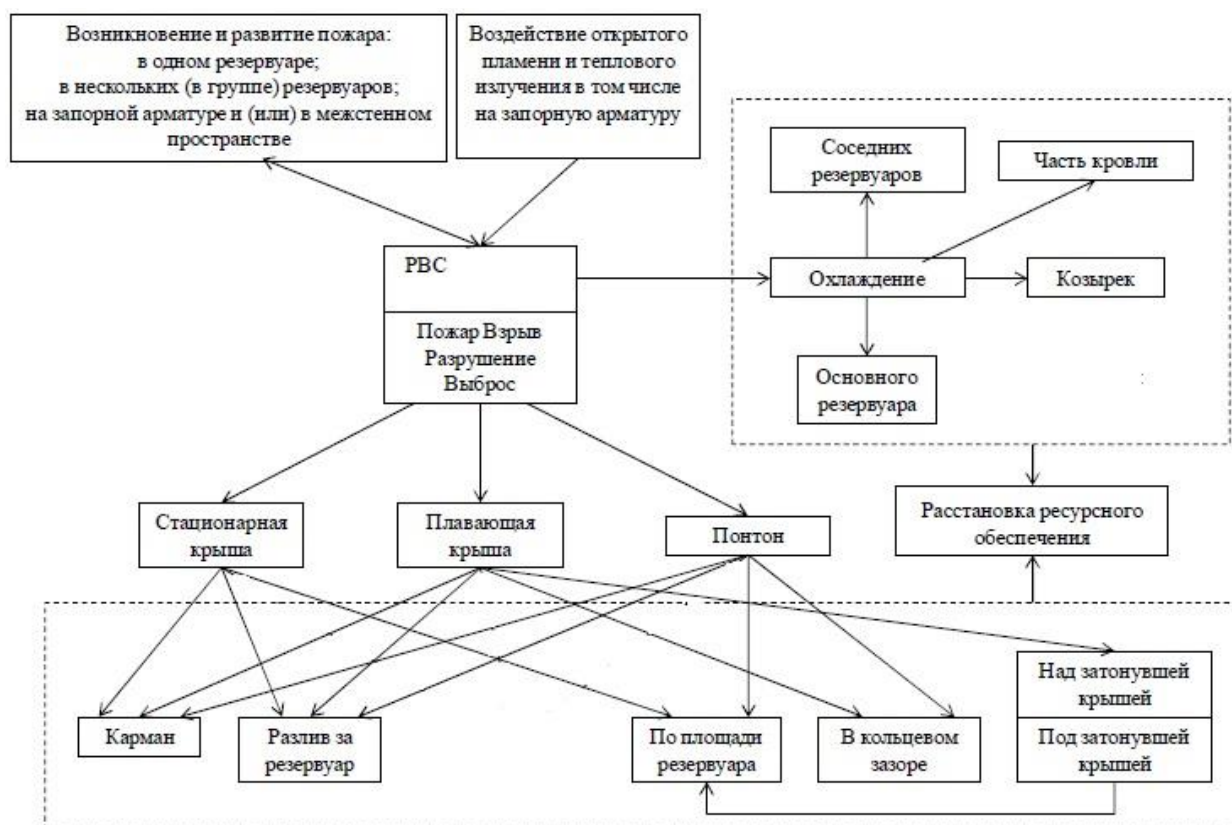


Рисунок 5 – Схема причинно-следственных связей развития пожара в РВС

Согласно действующим нормативным документам МЧС России, регламентирующим деятельность пожарных подразделений, пожаротушение в резервуарных парках может осуществляться как стационарными системами

(в том числе автоматическими), так и мобильными средствами тушения пожаров.

Как показывает статистика и опыт тушения, в большинстве случаев существующие стационарные системы не дают положительного эффекта по локализации пожара, поэтому имеется необходимость в их совершенствовании, а также применении новых методов управления пожарными подразделениями при пожаротушении.

Действующая система пожаротушения указывает нам на то, что первоочередными действиями оперативных подразделений при РВС является охлаждение горящего и соседних резервуаров, это определяется тем, что при высоком уровне жидкости соответственно характерно сохранение огнестойкости стенок резервуара в условиях термического воздействия.

Статистика пожаров в РП обуславливает то, что деформация верхних поясов стенок, горящих РВС может быть вызвана отрицательными последствиями поздно начатого охлаждения. Предел огнестойкости сухой части резервуара падает с понижением высоты уровня нефтепродукта. Время прогрева стенок РВС зависит от толщины стенок. Отсюда, можно сделать вывод что временной промежуток опасного прогрева верхних и нижних поясов РВС имеют разные показатели. При всем этом эффективное использование данной закономерности осуществляется при охлаждении РВС в начальной стадии. Однако при этом не учитывается, что для этого необходимо большое количество личного состава. При термическом воздействии на не горящий РВС может быть потеряна прочность металлических несущих конструкций, а при нагреве до температуры самовоспламенения хранящегося нефтепродукта, металлически детали могут сыграть роль источника зажигания горючей газовой смеси. Даже при незначительном перегреве сухой стенки РВС может быть вызвана конвективная перестройка газовой среды в РВС, следовательно, увеличивается давление и концентрация насыщенных паров. Таким образом,

соседний резервуар может перейти из пожаробезопасного состояния в опасное.

Так, проанализировав исследование пожара в резервуарном парке линейной производственно-диспетчерской станции (ЛПДС) «Конда», в котором говорится, что в течение 29 минут с момента возникновения пожара не было действий не по тушению пожара. Однако, действия пожарных подразделений соответствовали нормативным документам, силы и средства были введены на охлаждение резервуаров. Спустя 29 минут произошел взрыв, который повлек за собой разлет фрагментов резервуара, отрыв корпуса от днища, разлив и горение нефтепродукта, гибель сотрудников МЧС России. Через 10,5 часов произошел выброс нефтепродукта из резервуара №5. Пожар на ЛПДС «Конда» развивался принципом «Домино», то есть имел групповой характер. Частота групповых пожаров в РП, имеется ввиду динамическая устойчивость, составляет около $6 \cdot 10^5$ в течение одного года, в среднем получается, что каждый 8-ой пожар переходит в групповой. Последствия пожара имели катастрофических масштаб, как с экономической стороны, так и с экологической, тушение пожара продолжалось около 43 часов, сгорело 19 000 тон нефти, уничтожено 4 РВС, погибли 4 сотрудника МЧС России [44].

На нефтеперерабатывающем заводе ПАО «Нефтехимик» применяются системы пенного и водо-пенного пожаротушения порошкового пожаротушения и закрытые насосные, печи и колонны технологических установок).

На нефтеперерабатывающем заводе ПАО «Лукойл» применяются системы пенного пожаротушения, газового пожаротушения модульного типа, системы внешних установок.

На ПАО «Роснефть» кроме стационарных систем пеногашения поверхностными способом применяются системы подслоного пожаротушения с помощью эластичного рукава, а также система паровой завесы в закрытой сырьевой насосной установки Л-35.

Примером сказанного может служить пожар, возникший в трубчатой печи установки каталитического крекинга. Пожар начался в 8 часов 10 минут в результате прогара одного из змеевиков. Пожар обнаружили через 5 минут, приведение в действие системы пожаротушения произошло примерно еще через 3 минуты путем открытия ручных задвижек. Свободное развитие горения происходило примерно 18 минут. За это время от действия пламени перегрелся вакуумный газойль с образованием паровой фазы и повышением давления. Металлические трубы потеряли прочность, что привело к разгерметизации змеевика и выбросу значительного количества продукта и его паровой фазы. В результате в 8 часов 22 минуты произошел взрыв. Через некоторое время аналогично разгерметизировался еще один резервуар и произошел второй взрыв.

В результате взрывов погибли двое пожарных, один работник завода получил ожоги 14 человек, разрушилась печь, пожар распространился на соседнее технологическое оборудование.

Аварии подобного рода также происходили и в иностранных государствах. Примером может являться аварийная ситуация, связанная с выходом из строя задвижек и уплотнений на установке, обеспечивавшей абсорбцию нефтяной жидкости. В данной установке присутствовал находящийся под давлением нефтепродукт. Водяной пар высокой температуры, взаимодействовавший с нефтепродуктом, обусловил возгорание последнего. Использование пенных огнетушителей работниками для устранения возгорания не привело к ожидаемым результатам. Течь в теплообменнике, разогретом до высокой температуры, привела к новому разливу нефтепродукта. Вследствие высокотемпературного воздействия разрушились опоры резервуара и установка пожаротушения. Произошло падение двадцатиметровой колонны, которое привело к разрушению нескольких единиц технологического оборудования. В результате огонь распространился на значительную территорию. Пожар продолжался до того, как нефтепродукты выгорели в полном объеме. Продолжительность пожара

составила несколько суток, причиненный ущерб был оценен в три миллиона долларов.

С момента возгорания до начала пенной атаки с использованием передвижных средств пожаротушения продолжительность пожара нефтепродуктов в резервуарном парке изменяется несколькими десятками минут. Необходимо, чтобы у лица, возглавляющего тушение, и у инженерно-тактического персонала имелась информация об особенностях горения в резервуарах. В этом случае обеспечивается возможность оценки последствий принимаемых решений, учета возможного развития ситуации при тушении.

В основном причина возгорания жидкостей в резервуарах состоит в том, что скапливающиеся под крышей пары взрываются, находящаяся в резервуаре жидкость воспламеняется, резервуар деформируется. Температура пламени находится в диапазоне от тысячи до тысячи трехсот градусов, ее значение определяется типом находящейся в резервуаре жидкости. Высота факела равна 2 диаметрам резервуара.

Возможны существенные колебания пламени под действием ветра. Пламя уже в начальном периоде горения может перекинуться на расположенные рядом с резервуаром объекты, в т.ч. иные резервуары. Пламя разогревает находящееся на крыше расположенных рядом резервуаров оборудование, их крышу, стенки.

Температура заградителя повышается, следствием может являться утрата им огнеупорных свойств. В результате пламя от горящего резервуара может попасть в расположенный рядом резервуар, и в последнем также взорвутся пары находящейся в нем горючей жидкости.

Когда крыши, стенки находящегося рядом с горящим резервуаром иного резервуара нагреваются, присутствующая в последнем горючая жидкость начинает активно испаряться. Если данный резервуар содержит нефтяную жидкость с низкой температурой, возможно образование высокой концентрации горючей смеси.

В результате происходит формирование избыточного давления, затрудняющего попадание пламени в резервуар. Однако возможно воспламенение горючих паров, которые выходят из резервуара по дыхательной аппаратуре, что приведет к повышению температуры соответствующей конструкции.

Опасность повышения температуры в резервуаре, в котором находится горючая жидкость, температура которой является высокой, состоит в следующем - при нагреве возможно образование концентрации паров, способной обусловить взрыв.

В этой связи требуется с момента возгорания резервуара обеспечивать водное охлаждение всех резервуаров, расположенных рядом, чтобы исключить их взрыв.

С момента, когда нефтепродукты начинают гореть, температура на поверхности нефтепродукта является равной температуре кипения. Горение приводит к постепенному росту температуры. При этом повышается температура нижележащих слоев жидкости.

Факторы, определяющие скорость, с которой происходит горение нефтепродуктов, представлены температурой жидкостью, размером поверхности, скоростью ветра, присущими жидкости физическими свойствами. Скорость испарения жидкости также представляет собой фактор, определяющий скорость, с которой происходит горение жидкости. При этом на скорость испарения влияет скорость, с которой прогревается поверхность жидкости.

Под воздействием пламени происходит повышение температуры стенок содержащего горящую жидкость резервуара. Рост температуры начинается с первых минут пожара. Следствием является утрата прочности и деформация стенок.

В этой связи, если уровень горючей жидкости в резервуаре является низким, требуется для минимизации опасности разрушения в постоянном режиме интенсивно охлаждать стенки резервуара с внешней стороны с

использованием воды. Необходимые объемы воды могут быть обеспечены только при использовании роботов. В отсутствие роботов для обеспечения тушения потребуется от семидесяти до ста участников тушения.

При возгорании горючих жидкостей в резервуарах происходит закипание и выброс. Причина состоит в том, что горение таких веществ, как нефть, мазут, масло приводит к прогреву на большую глубину, формирование слоя воды высокой температуры, роста его толщины. При этом температура данного слоя не является идентичной температуры поверхности жидкости.

Нефтепродукты представляют собой вещества, в которых присутствует вода. Высокие температуры при горении приводят к нагреву содержащейся в нефтепродуктах воды до температуры сто градусов. Присутствующая в жидкости вода преобразуется в состояние пара. Выход данного пара на поверхность приводит к образованию пены. Пена начинает выливаться из резервуара сверху, при этом она является горючей, и горит в процессе перелива из резервуара. Распространение данной пены создает опасность возгорания расположенных рядом сооружений и резервуаров.

Горение темных нефтепродуктов с содержанием 3,8 процентов воды приводит к их выбросу. Причиной выброса является то, что достигший высокой температуры нефтепродукт соприкасается с находящейся на дне резервуара подушкой из воды. Когда температура нефтепродукта достигает значения сто градусов на границе раздела нефтепродукта и водной подушки, происходит выброс. На данной границе происходит активное образование пены, формирование подушки из пара. Пар прорывается в вертикальном направлении вверх через нефтепродукт. При этом пар захватывает нефтепродукт и выбрасывает его через края резервуара.

Тушение пожаров резервуаров, содержащих нефтепродукты, сопровождалось ситуациями, когда столб горящего нефтепродукта достигал значительной высоты. Выброшенный из резервуара нефтепродукт достигал расстояния до ста двадцати метров от резервуара. Подобные выбросы

создавали опасность для участников пожаротушения, для находящихся рядом с горящим резервуаром сооружений, зданий, иных резервуаров.

Исходя из возможности подобных выбросов минимальное расстояние от резервуара до техники и личного состава должно составлять сто метров. Располагаться техника и личный состав должны со стороны, являющейся наветренной.

В процессе пожаротушения на берегах водоемов необходимо размещать насосы выше пожара. Размещение должно производиться по течению реки.

В опасной зоне следует исключить пребывание не участвующего в тушении пожара технического персонала.

Пожаротушение при возгорании резервуаров с нефтепродуктами осуществляется посредством воздушно-механической пены. Эффективность пожаротушения обеспечивается в случае покрытия пеной поверхности горючей жидкости. Подобное покрытие приводит к охлаждению горячей жидкости, при этом происходит частичное разрушение пены.

На основе оценки состояния раствора пенообразователя производится определение интенсивности подачи пены. Необходимо, чтобы интенсивность, с которой подается пена, была больше, чем интенсивность разрушения пены.

Поверхность горячей жидкости постепенно покрывается пеной, не подвергшейся разрушению. Обеспечивается изоляция горячей жидкости от контакта с кислородом. Покрытие поверхности пеной исключает наличие в зоне горения паров жидкости.

В случае, если используется пена, кратность которой превышает триста, происходит ее разрушение, и результативность пожаротушения также не соответствует необходимой.

Если при тушении резервуаров используется пена низкой кратности, она должна подаваться на поверхность горячей жидкости постепенно. Наблюдается высокая скорость разрушения пены в случае, если она подается

струей с высоты, составляющей полтора метра или более. Соответственно, в подобных условиях отмечается весьма низкая эффективность тушения.

Результативность является оптимальной, когда применяется пена, кратность которой находится в диапазоне от восьмидесяти до ста пятидесяти. Возможна подача подобной пены в резервуар в т.ч. в виде струи. В сопоставлении с пеной, кратность которой является низкой, применение пены средней кратности обеспечивает в два-три раза более высокую эффективность пожаротушения.

Главной проблемой при пожарах в резервуарных парках является гибель и травмирование личного состава оперативных подразделений. По прибытию подразделений к месту вызова, пожарный и аварийно-спасательные автомобили, согласно нормативным документам, устанавливаются не ближе 120 метров от места пожара и первоочередными мероприятиями является охлаждение резервуаров. Согласно руководству тушения пожаров в резервуарных парках, при возникновении пожара в резервуаре объемом более 5000 м³, необходимо использовать лафетные стволы или гидромониторы, для работы которых необходимо по две магистральные линии от пожарного автомобиля, проще говоря, личный состав будет заниматься установкой пожарных автомобилей на водоисточники и прокладкой магистральных линий.

Далее личному составу, работающему непосредственно на охлаждение РВС необходимо работать в тепло отражательных костюмах тяжелого типа, что увеличивает вес снаряжения пожарного на 15-20 кг. На личный состав, направленный на охлаждение горящего и соседний воздействует тепловое излучение. За дальнюю границу теплового воздействия обычно принимают такое расстояние, где интенсивность теплового потока равна 3,5 кВт/м².

Из таблицы 5 видно, что с увеличением диаметра резервуара средняя температура факела пламени уменьшается, а лучистый тепловой поток возрастает. Также при непосредственном омывании пламенем рядом стоящего резервуара с горящим, тепловые нагрузки составляют около 60-80

$\text{kBt}\cdot\text{m}^{-2}$ и естественно такой пожар не так легко удержать и препятствовать его распространению

Таблица 5 – Значения ЛВЖ и ГЖ в горящем РВС в зависимости от диаметра резервуара

| Горючие жидкости | Диаметр резервуара, м | $T_{пл}^{cp}, ^\circ\text{C}$ | $q, \text{Вт}/\text{м}^2$ |
|-------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Бензин | 22,8 | 1097 | 83000 |
| | 18,6 | 1102 | 82000 |
| Дизельное топливо | 22,8 | 1022 | 63000 |
| | 2,7 | 1260 | 14600 |

Значения плотности падающего теплового потока указаны в таблице 6. Отсюда можно сделать вывод, что личный состав не может долго находиться в зоне теплового воздействия и требуется своевременная его замена, что увеличивает количество задействованного личного состава пожарных подразделений.

Таблица 6 – Значения плотности падающего теплового потока, $\text{kBt}\cdot\text{m}^{-2}$, при различных условиях

| | |
|---|----|
| Распространение пожара возможно, даже если находящиеся в опасности резервуары охлаждаются | 36 |
| Распространение пожара маловероятно при достаточном охлаждении | 12 |
| Распространение пожара почти невозможно | 8 |

В таблице 7 представлено рекомендуемое время отдыха в зависимости от продолжительности работы личного состава личного состава пожарных подразделений.

Таблица 7 – Рекомендуемое время отдыха в зависимости от продолжительности работы

| Продолжительность работы, мин. | Продолжительность отдыха, мин. |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 15 | 10 |
| 30 | 15 |
| 45 | 20 |
| 60 | 30 |
| 75 | 40 |
| 90 | 60 |

Личный состав, работающий непосредственно на охлаждение резервуаров в непосредственной близости от огня, охлаждает группа ствольщиков, которая дислоцируется дальше на длину подачи ствола, так называемая эшелонированная защита, при которой задействуется большое количество людей. Далее производится подготовка специальных пожарных автомобилей к пенной атаке, подвоз пенообразователя и другие мероприятия по тушению пожара, определенные нормативными документами [26].

Анализ тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в РП указывает, на то, что на ликвидацию пожаров на таких объектах затрачивается от нескольких часов до нескольких суток и привлекается от 18 до 85 отделений на основных и специальных пожарных автомобилях, от которых подается от 8 до 25 ручных стволов, также, если объем РВС свыше 5000 м³ может быть подано от 3 до 12 лафетных стволов на охлаждение резервуаров.

Все вышеуказанные мероприятия по тушению пожаров в резервуарных парках, только увеличивают время тушения, а с увеличением времени тушения пожара возрастает и вероятность выброса или вскипания вещества, находящегося в резервуаре, в зависимости от его типа. В международной науке и практике защита от выброса и вскипания стала проблемой № 1. По мнению «LASTFIRE», в настоящее время есть только один надёжный способ предотвращения выброса – быстрое тушение пожара.

Чем меньше время свободного развития пожара, тем меньше тепла накапливается в стенках резервуара и меньше толщина слоя прогреваемых жидкостей (влажная нефть, мазут) и тем легче потушить пожар. В идеальном случае было бы вводить силы средства оперативных подразделений не на охлаждение резервуаров, а сразу на тушение, тем самым ограничив пребывание личного состава в зоне воздействия лучистой энергии.

Данная проблема решается с комплексным использованием стационарных роботизированных средств, а именно стационарных роботизированных лафетных стволов и технических средств для обнаружения пожаров.

2.2 Комплексная оценка методов управления при тушении пожаров в резервуарных парках с применением робототехнических средств

Стационарные робототехнические средства состоят из системы обнаружения пожара в резервуарном парке и стационарных роботизированных лафетных стволов.

Системы обнаружения пожара и оповещения о нем в резервуарных парках монтируются по тем же принципам, что и обычная пожарная сигнализация. Отличительная черта лишь в том, что все оборудование выполнено в специальном взрывозащищенном исполнении [30].

В систему пожарной сигнализации резервуарных парков входят резервуарные тепловые пожарные извещатели, основным назначением которых является контроль за превышением установленных границ температуры в резервуарах с нефтью и нефтепродуктами.

Резервуарные тепловые пожарные извещатели монтируются на крыше РВС с внешней стороны, при этом его чувствительный элемент располагается в воздушном зазоре между жидкостью и крышей самого резервуара.

Вследствие рассмотренных причин пожара на нефтеперерабатывающих предприятиях часто приобретают крупномасштабное развитие, что в свою очередь, приводит к большим материальным тратам, загрязнению окружающей среды, а иногда и к человеческим жертвам. Так, к значительному материальному ущербу и гибели 17 человек. Статистический анализ пожаров на объектах хранения, переработки и транспортировки нефти и нефтепродуктов, проведен за последние 20 лет, свидетельствует, что из 200 пожаров 92 % возникло в наземных резервуарах. Из них 26% – в резервуарах с нефтью, 49% – с бензином и 24% – в резервуарах с мазутом, дизтопливом и керосином. Чаще всего пожары возникали и в резервуарах типа РВС-5000 (32% от общего количества), РВС-3000 (27%), РВС-20000 (19%) [30].

В настоящее время на нефтеперерабатывающих предприятиях используются две технологии тушения пожаров в резервуарах: подача воздушно-механической пены сверху на источник горения и метод подслоного тушения. Оба метода требуют большого количества огнетушащих веществ и не всегда эффективно работает.

Для пожаротушения и установок, помещений и оборудования нефтеперерабатывающих предприятий применяются ряд систем и средств пожаротушения. Применяются системы газового пожаротушения кратковременного действия модульного типа, газового пожаротушения кратковременного действия баллонного типа, порошкового пожаротушения кратковременного действия модульного типа, установки с использованием тонкого распыления водных огнетушащих веществ, установки с использованием распыления порошковых огнетушащих веществ (реагентов). Также для локального пожаротушения на открытых насосных станциях светлых нефтепродуктов и дизельного топлива, в закрытой нефтяной насосной и станции смешивания используются модульные быстродействующие автономные порошковые извещатели.

Согласно общепринятой модели в задачах пожарной безопасности применяется принцип треугольника: горючее вещество-окислитель-источник

зажигания. Данный принцип минимизирует количество необходимых и достаточных условий для возникновения горения, однако, данная теория не учитывает самовоспламенение и самовозгорание, а также ряд других факторов возникновения и развития пожара, которые в целом влияют на пожарную безопасность резервуаров для хранения нефтепродуктов.

На основании принципа треугольника предлагается следующая теоретическая модель автоматического обнаружения пожара, которая, в частности, может быть применена к емкостному оборудованию с ЛВЖ и ГЖ [13].

Модель состоит из трех уровней, верхним из которых является принцип пожарной безопасности (рисунок 6).

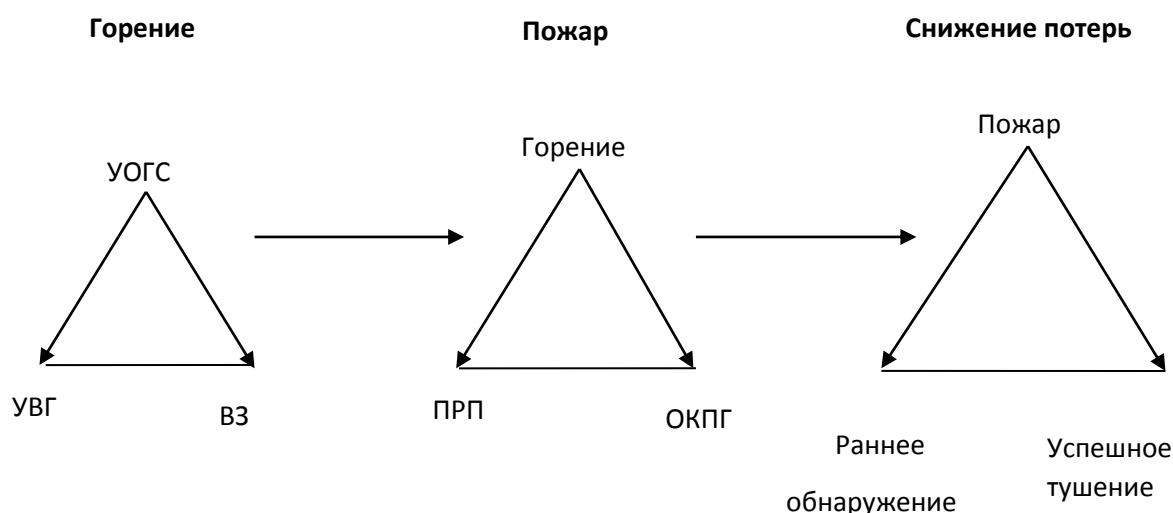


Рисунок 6 – Теоретическая модель автоматического обнаружения пожара

Верхний уровень «Принцип пожарной безопасности»: УВГ – условия возникновения горения, УОГС – условия образования горючей среды, ВЗ – вынужденное зажигание, ПРП – пути распространения пожара; ОКПГ – отсутствие контроля над процессом горения.

Комплексное использование СРЛС и средств обнаружения пожара, объединенные в роботизированный пожарный комплекс выполняет задачу последнего треугольника и обеспечение пожарной безопасности на объекте защиты, в данном случае в резервуарном парке.

Роботизированный пожарный комплекс – совокупность нескольких пожарных роботов (ПР), объединенных общей системой управления и обнаружения пожара. Пожарный робот – стационарное автоматическое средство, смонтированное на неподвижном основании, состоящее из пожарного ствола, имеющего несколько степеней подвижности, оснащенного системой приводов, а также из устройства программного управления.

СРТС предназначается:

- для тушения и локализации пожара в автоматическом или дистанционном режиме;
- для охлаждения объектов защиты, находящихся в непосредственной близости к очагу пожара в автоматическом или дистанционном режиме.

С точки зрения всех параметров пожарный робот характеризуется соответствием обеспечивающим автоматическое пожаротушение установкам. Данный робот способен в автоматическом режиме обеспечивать применительно к защищаемой зоне автоматическую пожарную сигнализацию, определять координаты возгорания, автоматически тушить пожар посредством пены или распыленной воды. Защищаемая одним пожарным роботом площадь находится в диапазоне от пяти до двадцати тысяч метров квадратных. Расход воды, соответственно, составляет от двадцати до ста литров в секунду. Наиболее часто используются дистанционно управляемые роботы, основанные на использовании лафетных пожарных стволов со стационарным размещением.

Пожарные роботы имеют техническое зрение в виде сканера, инфракрасного датчика и камеры. Данные роботы способны взаимодействовать с другими подобными роботами, производить наведение на очаг возгорания, определять координаты цели, распознавать образы и др. Изображения пожарных роботов представлены на рис. 7-10.



Рисунок 7 – Универсальная радиоуправляемая машина для борьбы с низовыми пожарами, 3D-модель



Рисунок 8 – Малогабаритная мобильная роботизированная установка пожаротушения, 3D-модель

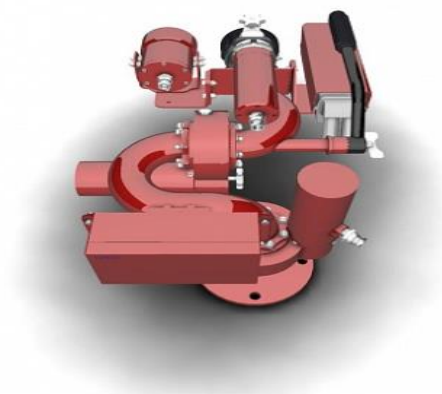


Рисунок 9 – Робототехнический комплекс пожаротушения среднего класса ЕЛЬ, 3D-модель

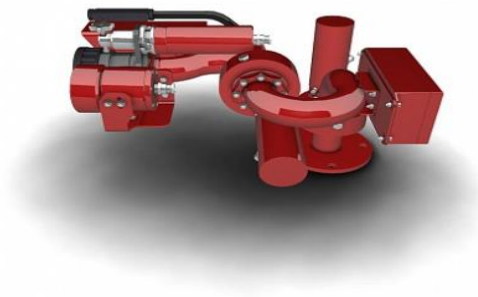


Рисунок 10 – Мобильная роботизированная установка пожаротушения МУПР-С-СП-Э-ИК-ТВ-УП-20, 3D-модель

С помощью ИК-датчика со сканером и системы видеонаблюдения возможно регистрировать следующие факторы пожара:

- открытое пламя – электромагнитное излучение открытого огня;
- черный дым на открытом пространстве – распознается системой видеонаблюдения, по резкому изменению контраста изображения;
- взрыв – распознавание происходит системой видеонаблюдения при изменении геометрических параметров РВС.

Пожарные роботы связаны между собой и центральным пультом информационной сетью и интегрированы в комплексную систему безопасности, образуя в целом роботизированный пожарный комплекс (РПК) Объединенная схема автоматической установки пожаротушения на основе СРТС показана на рисунке 11.

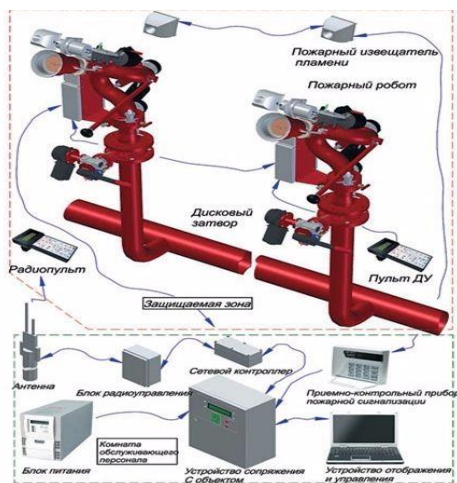


Рисунок 11 – Объединенная схема СРТС

Чувствительность ПР позволяет обнаружить очаг возгорания площадью 0,1 м² в пределах защищаемой зоны, а быстродействие составляет считанные секунды, в течение которых определяются размеры возгорания в трехмерной системе координат.

Принципиальная схема расстановки СРТС на примере группы из 9-ти РВС представлена на рисунке 12.

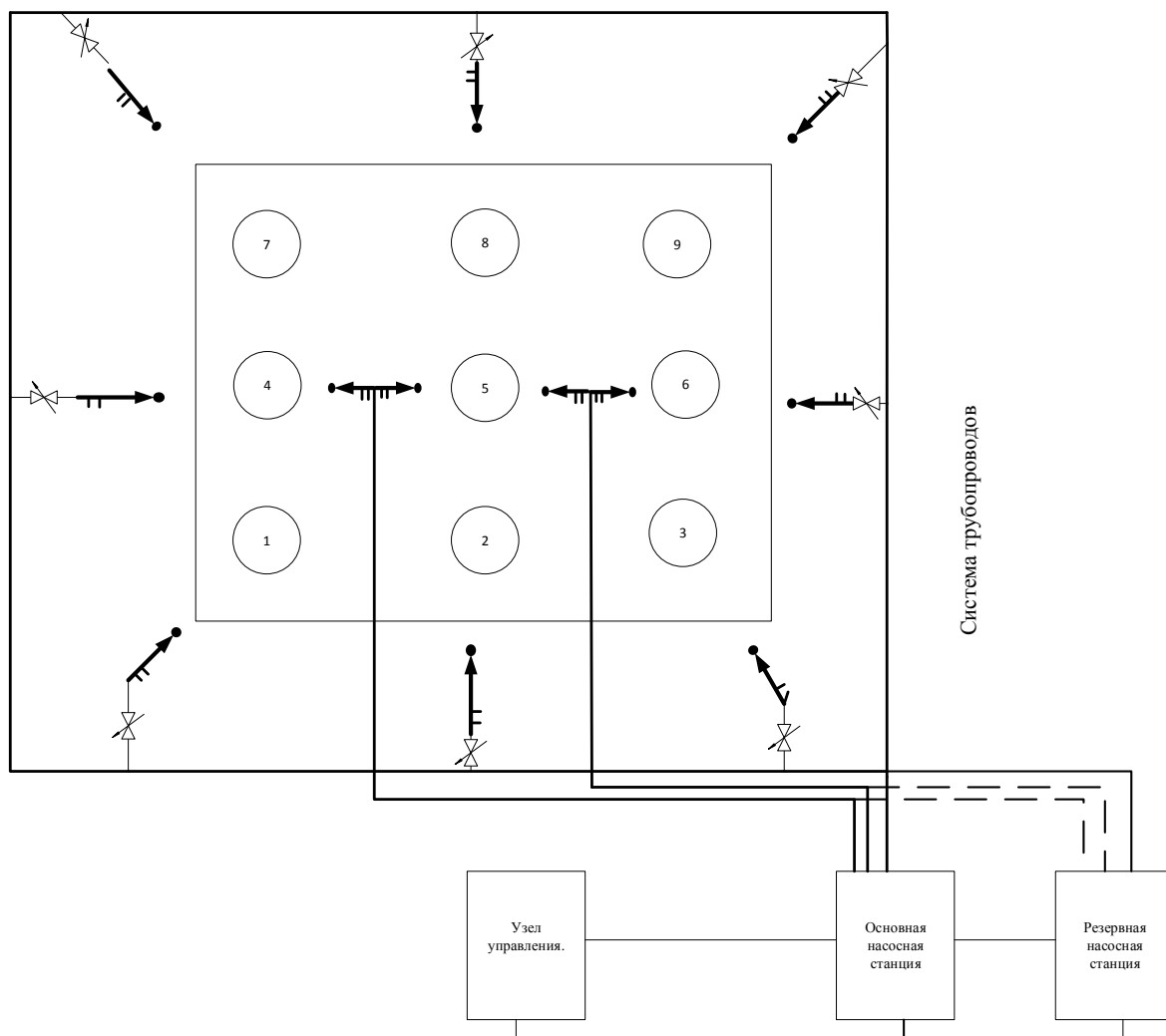


Рисунок 12 – Принципиальная схема расстановки СРТС на примере группы из 9-ти РВС

СРТС обеспечивают:

- передачу сигнала «Пожар» в пожарную часть;
- передачу сигнала «Пожар» на пожарный пост (помещение круглосуточного дежурства);

- передачу сигнала «Внимание» при срабатывании одного автоматического извещателя общего обзора или любого автоматического зонного извещателя в помещение круглосуточного дежурства;

- формирование сигналов на включение пожарного насоса;

- автоматический пуск резервного насоса в случае отказа пуска или невыхода на рабочий режим в течение установленного времени основного пожарного насоса;

- формирование сигналов на управление противопожарными системами и технологическим оборудованием (при необходимости до подачи огнетушащего вещества);

- автоматическое переключение цепей питания с основного ввода электроснабжения на резервный при исчезновении напряжения на основном вводе с последующим переключением на основной ввод электроснабжения при восстановлении напряжения на нем;

- отключение и восстановление режима автоматического пуска СРТС (при необходимости);

- автоматическое включение дисковых затворов с электроприводом и других запорных устройств;

- автоматический контроль соединительных линий запорных устройств с электроприводом на обрыв; соединительных линий приборов, регистрирующих срабатывание узлов управления, формирующих команду на автоматическое включение пожарных насосов на обрыв и короткое замыкание;

- временную задержку на пуск СРТС (при необходимости);

- автоматический пуск и отключение дренажного насоса.

В ситуации, когда срабатывают автоматические адресные извещатели, происходит включение звуковой сигнализации, световой сигнализации на контрольном приборе. При этом индицируется номер шлейфа.

Передача сигнала о пожаре производится на имеющееся в роботизированной установке УСО – устройство сопряжения с объектом

блоком сопряжения интерфейсов. Происходит запуск программы пожаротушения.

СРТС функционирует в следующих режимах:

- дистанционном;
- автоматическом;
- полуавтоматическом;
- ручном.

При первом режиме возможна комбинация со вторым, третьим режимами. Для того, чтобы обеспечить более эффективное пожаротушение, охлаждение корректировка функционирования СРТС проводится оператором.

Дистанционный режим применяется при пуско-наладочных работах и оперативном управлении непосредственно на объекте по визуальному контролю. В этом режиме управление осуществляется с пульта дистанционного управления (ПДУ), подключенного к соединительной коробке ПР или к разъему УСО, или с пульта радиуправления (ПРУ) в зоне действия радиосигнала.

. Данный режим сопровождается управлением посредством ПРУ – пульта радиуправления, или посредством пульта ДУ, который подключается к разъему УСО или к коробке ПР.

Следующий вариант целесообразно использовать для того, чтобы обеспечивать в условиях отсутствия дежурных работников пожарную защиту объекта.

В сопоставлении с данным вариантом особенность третьего варианта в следующем – оператором выдается разрешение на то, чтобы искать очаг пожара и открывать дисковые затворы [10].

Автоматический режим работы СРТС. Охлаждение резервуаров в автоматическом режиме предусматривается по специальному алгоритму от автоматической пожарной сигнализации адресного типа. При срабатывании взрывозащищенных пожарных извещателей, или ИК-сканера сигнал о

пожаре поступает на прибор пожарной сигнализации. Также электронная система мониторит целостность самих извещателей на случай взрыва. В зависимости от номера резервуара, в котором произошел пожар или взрыв, срабатывает по сигналу соответствующий электромагнитный клапан на подводящем трубопроводе системы охлаждения резервуаров и подаются огнетушащие вещества [9].

Регистрация всей информации о тушении пожара производится посредством электронного протокола и видеокамеры. В протоколе указывается последовательность действий. Система осуществляет самотестирование в дежурное время. Если появляется необходимость, она информирует о том, что следует провести коррекцию.

Несмотря на соответствие требованиям противопожарных норм, согласно Своду правил 7.13130.2013 и Федеральному закону от 22.08.2007 №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», таких как вентиляция, кондиционирование и отопление, в некоторых случаях системы пожаротушения не выполняют свои функции [32], [38], [42].

Причины это являются:

- значительная инерционность используемых централизованных систем пожаротушения, которая может равняться нескольким минутам. За это время пожар значительно распространяется, а пеногенераторы, которые попадают в зону пожара, подвергаются повреждениям, и не способны выполнить свои функции;

- низкая эффективность полустационарных систем пожаротушения, ибо обуславливается выходом из их строя до прибытия пожарных подразделений;

- нахождением централизованных автоматических систем пожаротушения в режиме ручного пуска;

- использованием для отключения насосов задвижек с ручным приводом и расположение их, в большинстве случаев, впоследствии чего в условиях пожара они попадают в возгорание.

Также для тушения, например, резервуара вместимостью 5000 м, необходимо иметь запас пенообразователя массой около 10 т, которой должно полностью сменять один раз в три года. Все это, наряду с неэффективностью, делает эти системы очень затратными.

Практический опыт по обеспечению условий успешного тушения пожаров на нефтеперерабатывающих предприятиях свидетельствует, что практически во всех случаях их ликвидация осуществляется силами подразделений оперативно-спасательной службы гражданской защиты МЧС с применением передвижной противопожарной техники.

Так, например, в некоторых случаях удастся ликвидировать пожар в резервуарах вместимостью до 5 тыс. м², а пожары в резервуарах с вместимостью более 5 тыс. м кв., как правило ликвидируются лишь на стадии полного выгорания нефтепродукта, при этом полностью разрушается резервуар.

Для тушения пожаров на нефтеперерабатывающих предприятиях привлекается как основная противопожарная техника (пожарные автоцистерны, автомобили пенного, порошкового, комбинированного тушения, пожарные насосные станции), так и специальные (пожарные автолестницы, автоподъемники, рукавные автомобили связи и освещения, технические службы). Помимо этого, привлекается вспомогательная техника для организации проходов в обваловке, для передвижения основных пожарных автомобилей в условиях грунтов с низкой несущей способностью.

Автомобили пенного тушения созданы для специального использования их во время тушения нефти и нефтепродуктов на нефтеперерабатывающих заводах, в резервуарных парках и нефтехранилищах и т.д. На место пожара они доставляют оперативный расчет, пожарно-техническое оснащение, технические средства для подачи воздушно-механической пены (стационарные, ствола-мачты, или передвижные пеноподъемники, пенные насосы).

Программа пожаротушения через расчетный интервал времени автоматически прекращается, и продолжается программа поиска очага загорания по всей защищаемой зоне. Программа поиска очага загорания периодически повторяется при отсутствии обнаруженного очага загорания и отключается только оператором. При повторном обнаружении очага загорания вновь включается программа пожаротушения.

Полуавтоматический режим работы СРТС. В этом режиме работа РУП контролируется оператором. После получения светового и звукового сигнала «Пожар» на дисплее УСО появляется информация о сигнале «Пожар» и команда «Поиск очага загорания».

При запуске оператором этой команды:

а) УСО формирует управляющие сигналы на наведение соответствующих ПР, не менее 2-х, в заданную зону;

б) при вхождении ПР в заданную зону включается программа поиска очага загорания, а устройства обнаружения загорания при наведении на очаг загорания выдают сигналы в УСО о его угловых координатах;

в) УСО при получении сигналов от 2-х ПР определяет координаты очага загорания в трехмерной системе координат и формирует программу тушения очага загорания.

Ручной режим работы применяется при аварийном возникновении какой-либо аварийной ситуации с СРТС. Типовая схема защиты объекта пожарными роботами продемонстрирована на рисунке 13.

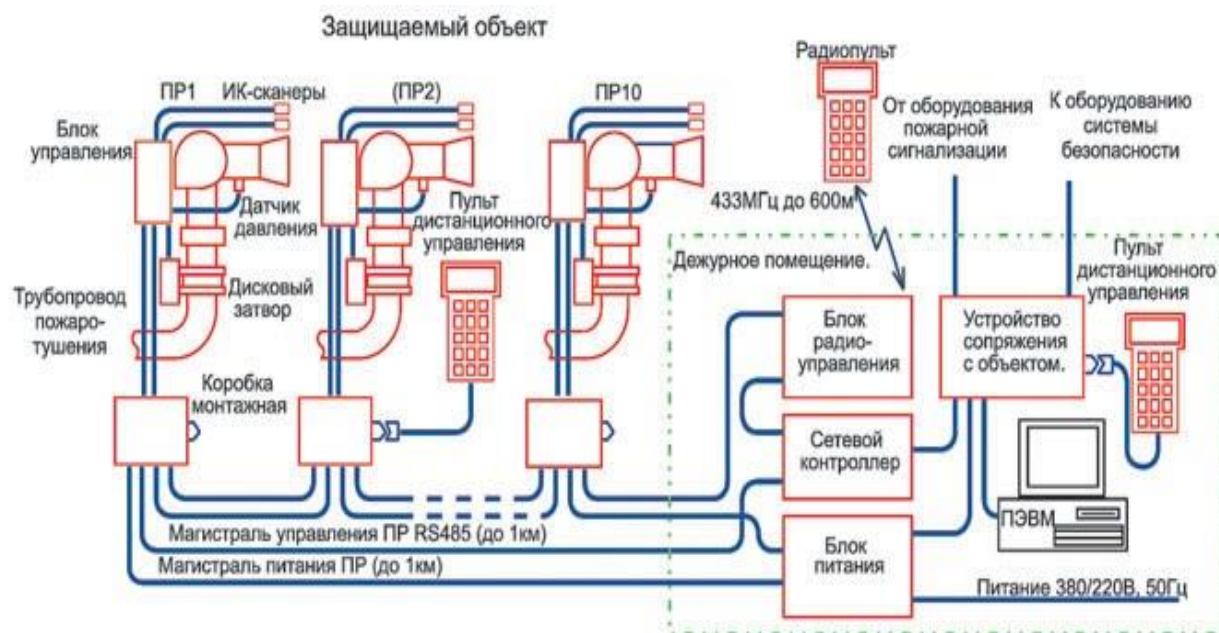


Рисунок 13 – Типовая схема защиты объекта пожарными роботами

В данном разделе рассмотрены основные проблемы, связанные с тушением пожаров в резервуарных парках и явления, затрудняющее пожаротушение. Проведен обзор и порядок работы СРТС. На основании принципов и различных режимов работы СРТС, можно провести оценку методов управления силами и средствами при тушении пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств и за счет них повысить тактические возможности пожарно-спасательных подразделений, сократить время тушения пожара и исключить гибель и травмирование личного состава.

Вывод по 2 разделу

Во 2 разделе рассмотрены основные проблемы, связанные с тушением пожаров в резервуарных парках и явления, затрудняющее пожаротушение. Проведен обзор и порядок работы СРТС. На основании принципов и различных режимов работы СРТС, можно провести оценку методов управления силами и средствами при тушении пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств и за счет

них повысить тактические возможности пожарно-спасательных подразделений, сократить время тушения пожара и исключить гибель и травмирование личного состава. Программа пожаротушения через расчетный интервал времени автоматически прекращается, и продолжается программа поиска очага загорания по всей защищаемой зоне. Программа поиска очага загорания периодически повторяется при отсутствии обнаруженного очага загорания и отключается только оператором. При повторном обнаружении очага загорания вновь включается программа пожаротушения

3 Разработка методов управления стационарными робототехническими средствами при тушении пожаров в резервуарных парках

3.1 Методы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров в резервуарных парках

Управление силами и средствами на пожаре в РП включает в себя следующие оперативно-тактические действия:

- оценку обстановки и создание нештатной службы управления силами и средствами на пожаре – штаба пожаротушения;
- установление компетентности оперативных должностных лиц и их персональной ответственности при выполнении поставленных задач;
- проведение других мероприятий, направленных на обеспечение эффективного выполнения основной задачи.

Руководитель тушения пожара (РТП) на принципах единоначалия управляет оперативными подразделениями при выполнении задач, направленных на тушение пожара и проведении аварийно-спасательных работ [7], [44].

При тушении пожаров в РП руководитель тушения пожара обязан:

- обеспечить управление оперативными подразделениями непосредственно или через нештатную службу управления силами и средствами;
- установить границы территории, на которой ведутся действия по тушению пожара, порядок и тактически особенности данных действий;
- провести разведку места пожара, определить решающее направление, на котором направляются и вводятся силы и средства оперативных подразделений;
- организывает связь на пожаре и информационный обмен между
- участниками тушения пожара;

- на основе данных в ходе разведки определяет номер (ранг) пожара, вызвать силы и средства в необходимом количестве для ликвидации пожара;
- организовать охлаждение требуемое охлаждение горящего и соседних РВС;
- определить способ тушения пожара;
- создавать при угрозе вскипания и выброса нефтепродукта второй рубеж защиты по обвалованию соседних РВС с установкой пожарных автомобилей на водоисточники не ближе 120 метров и прокладкой резервных магистральных и рабочих рукавных линий;
- обеспечивать взаимодействие со службами жизнеобеспечения, привлекаемыми к тушению пожара;
- принять меры по соблюдению требуемых правил охраны труда и установить единый сигнал оповещения участников тушения пожара об опасности на случай возникновения угрозы вскипания или выброса [22],[31].

При вскипании нефтепродукта резко увеличивается температура, а высота факела несколько больше обычного, конвективный тепловой поток увеличивается. Выбросы темных нефтепродуктов из горящих РВС происходят в момент, при котором хранимая жидкость в РВС полностью прогреется. Продолжительность выброса может происходить от 3 сек. до 7 минут.

Причиной длительных выбросов является результат одновременного соприкосновения прогретого слоя горючей жидкости с водой вследствие обрушения и деформации конструктивных элементов РВС, что приводит к неравномерности процесса прогрева продукта.

Высота выброса может достигать 10 диаметров резервуара.

Основные признаки, которые указывают на вероятность предстоящего выброса:

- усиление горения;
- изменение цвета пламени;
- усиление шума при горении;

- потрескивание и вибрация стенок.

Первоочередные действия участников ликвидации пожаров в РВС направлены для охлаждения, горящего и соседних с ним резервуаров и защиты дыхательной и другой арматуры. Объясняется это тем, что воздействие на свободный борт стенки РВС при отсутствии охлаждения в течение 3-5 мин. приводит к предельным состояниям конструктивных элементов РВС. Также интенсивное охлаждение стенок РВС необходимо для снижения скорости разрушения пенообразующего вещества, подаваемого на тушение пожара.

Правильное определение места ввода пеноподающих элементов имеет большую роль при тушении пожаров в резервуарных парках. Необходимо вводить пенные установки в направлениях, где пена может беспрепятственно растекаться и тепловое воздействие на нее минимально. Для успешного тушения пожара нужно вводить пенные установки с нескольких направлений мощными потоками, по причине меньшего разрушения пены, пена быстрее растекается по всей площади зеркала РВС. В резервуары пенные составы вводятся, как правило, с наветренной стороны [45].

3.2 Разработка модели управления пожарно-спасательными подразделениями с применением робототехнических средств

Как описывалось во 2 разделе данной работы, СРТС в автоматическом режиме срабатывают в течение 1 минуты, отсюда система управления оперативными подразделениями и тактика тушения пожара в резервуарных парках с применением СРТС строится следующим образом:

- при возникновении пожара срабатывает робототехнический комплекс и осуществляется охлаждение резервуаров. Личный состав объектовых подразделений проводит подготовку имеющейся на вооружении пожарной техники и запаса пенообразователя для действий по тушению пожара;

- силы и средства оперативных подразделений согласно расписанию выезда и плана привлечения сил и средств автоматически высылаются по повышенному номеру, за счет этого можно минимизировать эшелонирование;

- по прибытию к месту вызова руководитель тушения пожара проводит разведку с поста управления СРТС с помощью системы видеомониторинга пожарных роботов и от складывающейся обстановки направляет личный состав на подготовку пожарной техники и пеноподающего оборудования для пенной атаки. Организуется штаб пожаротушения;

- после подготовки специальной техники, оборудования и огнетушащих веществ объектовым, а также прибывшими подразделениями, проводится первая пенная атака. Далее по ходу прибытия последующих оперативных подразделений, происходит наращивание сил и средств на участке по тушению пожара и введения большего количества специальной пеноподающей техники и оборудования [11], [24].

Данная схема управления силами и средствами показана на рисунке 14.

Внедрение СРТС для защиты резервуарных парков позволит повысить тактические возможности пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров и решить ряд проблемных вопросов, затрудняющих процесс пожаротушения таких как:

- возможность повышения скорости и точности выполнения заданной последовательности действий;

- повышение уровня защиты людей от воздействия опасных факторов пожара за счет удаления оператора и других участников тушения пожара на безопасное расстояние от зоны горения;

- сокращение времени тушения пожаров и аварийно-спасательных работ;

- сокращение экономического ущерба, за счет своевременных целенаправленных действий для выполнения основной задачи;

– сокращение экологического ущерба, в связи с уменьшением продолжительности тушения пожаров [34].

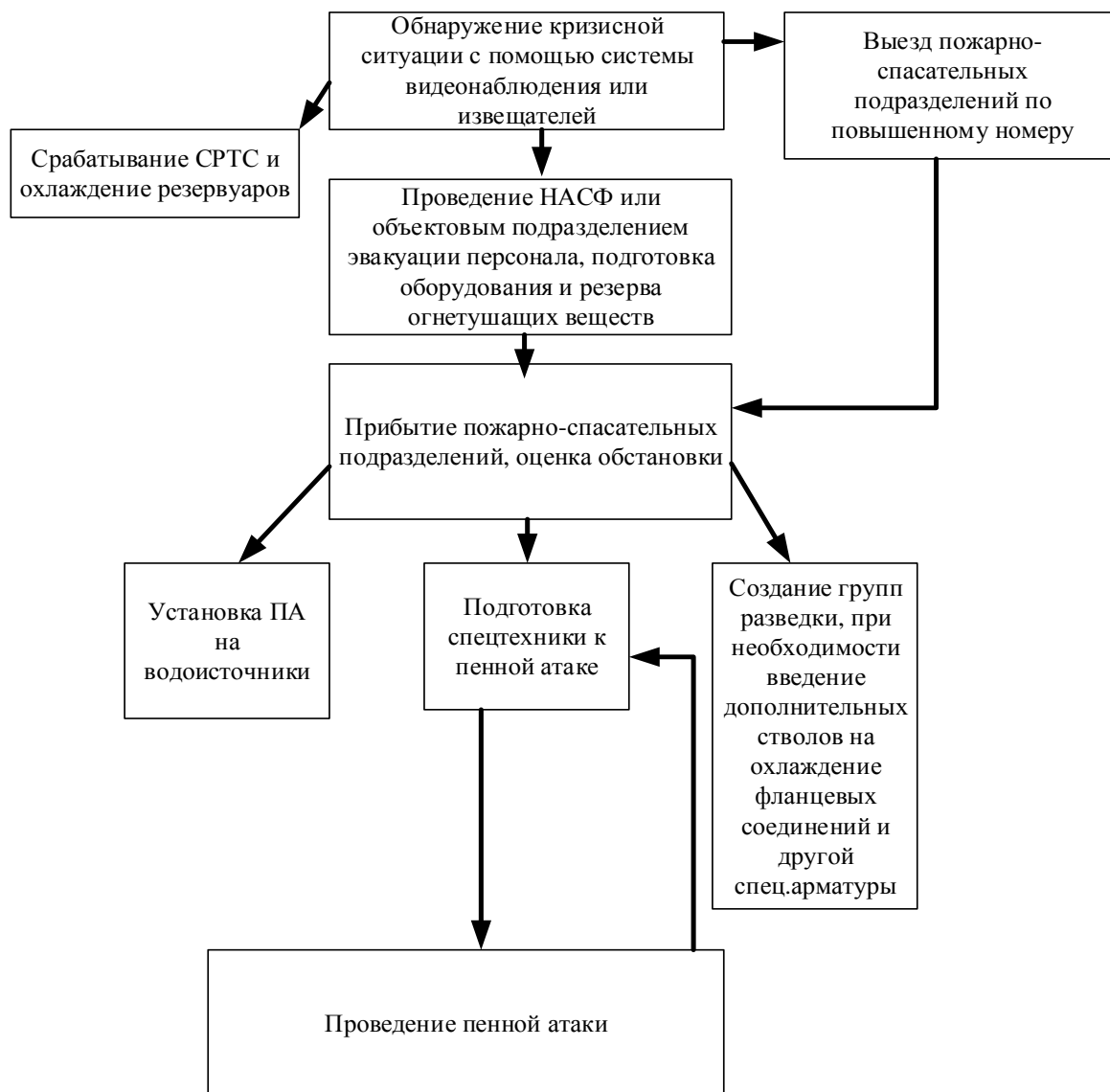


Рисунок 14 – Схема управления оперативными подразделениями при тушении пожаров в резервуарных парках с применением СРТС

В данном разделе проведен сравнительный анализ существующей системы управления подразделениями с предложенной системой управления с применением стационарных робототехнических средств. Выявлено, что пожарные роботы позволяют решить ряд проблемных вопросов, существующих на данный момент в системе пожаротушения и управления силами и средствами при тушении пожаров в резервуарных парках, повысить тактические возможности оперативных подразделений, сократить время

тушения пожаров и самое главное обезопасить личный состав от воздействия высоких температур и лучистой энергии, за счет уменьшения количества пожарных привлекаемых для работы в непосредственной близости от зоны горения. Высокое быстродействие, адресная доставка огнетушащего вещества, концентрация огнетушащего вещества на локальный участок возгорания, гибкая система управления, самотестирование – вот далеко неполный перечень технических показателей пожарных роботов, которые значительно расширяют технические возможности пожарной автоматики и повышают надежность защиты объектов в целом.

Вывод по 3 разделу

В 3 разделе проведен сравнительный анализ существующей системы управления подразделениями с предложенной системой управления с применением стационарных робототехнических средств. Выявлено, что пожарные роботы позволяют решить ряд проблемных вопросов, существующих на данный момент в системе пожаротушения и управления силами и средствами при тушении пожаров в резервуарных парках, повысить тактические возможности оперативных подразделений, сократить время тушения пожаров и самое главное обезопасить личный состав от воздействия высоких температур и лучистой энергии, за счет уменьшения количества пожарных привлекаемых для работы в непосредственной близости от зоны горения. Высокое быстродействие, адресная доставка огнетушащего вещества, концентрация огнетушащего вещества на локальный участок возгорания, гибкая система управления, самотестирование – вот далеко неполный перечень технических показателей пожарных роботов, которые значительно расширяют технические возможности пожарной автоматики и повышают надежность защиты объектов в целом.

4 Оценка эффективности применения стационарных робототехнических средств тушения пожаров в резервуарных парках

4.1 Сравнительный анализ применения водяных стволов и пожарных роботов

В 3 разделе данной работы говорилось, что первоочередными действиями пожарно-спасательных подразделений является охлаждение резервуаров. Охлаждение осуществляется с помощью водных стволов, которые подразделяются на ручные пожарные стволы и лафетные, но для охлаждения резервуаров рекомендуется использование лафетных стволов.

Данные стволы подразделяются на стационарные (С) – смонтированные на пожарном автомобиле, специализированной вышке или промышленном оборудовании (например – ЛС-С20У, – С40У и т.д.), возимые (В) – на прицепе и переносные (П) – (например, СЛК-П20, ЛС-П20У, ЛС-20У и т.д.)

Ниже приведены тактико-технические характеристики лафетных стволов, имеющих на вооружении оперативных подразделений. Одним из таких является лафетный переносной ствол типа ПЛС-20 (рисунок 15, таблица 8).



Рисунок 15 – Лафетный переносной ствол типа ПЛС-20

Таблица 8 – Технические характеристики ПЛС-20

| Параметр | Значения | | |
|---------------------------------------|---------------------|----|----|
| | Диаметр насадка, мм | 22 | 28 |
| Условное давление, кг/см ² | 6 | 6 | 6 |
| Расход воды, л/с | 19 | 23 | 30 |
| Дальность струи воды, м: | 61 | 7 | 68 |
| Масса не более, кг | 27 | 27 | 27 |

Переносной ствол пожарный лафетный ЛС-П20У (рисунок 16, таблица 9), где: ЛС – лафетный ствол с ручным управлением; П – переносной; 20 – с расходом воды 20 л/с; У – универсальный, формирующий распыленную струю воды или пены с изменяемым углом факела.



Рисунок 16 – Лафетный переносной ствол типа ЛС-П20У

Таблица 9 – Технические характеристики ЛС-П20У

| Параметр | Значения |
|--|-----------|
| Расход: | 20 л/с |
| Номинальное давление, Мпа | 6,0 + 0,5 |
| Рабочее давление, Мпа | 6,0 - 8,0 |
| Расход воды / раствора пенообразователя, л/с | 20 / 25 |
| Кратность пены | 7 |
| Диапазон угла факела распыла струи, град | 0 - 100 |

Переносной лафетный ствол CROSSFIRE-RU (КРОСФАЕ) может изменять конфигурацию струи от сплошной (компактной) до распыленной (защитный экран). Возможна фиксация лафета в любом положении (рисунок 17, таблица 10).



Рисунок 17 – Переносной лафетный ствол CROSSFIRE-RU (КРОСФАЕ)

Таблица 10 – Технические характеристики переносного лафетного ствола CROSSFIRE-RU (КРОСФАЕ)

| Параметр | Значения |
|---|------------|
| Рабочее давление, бар | 7 |
| Производительность, л/с | от 9 до 78 |
| Дальность подачи водяной струи, м | до 70 |
| Угол поворота в горизонтальной плоскости | 250° |
| Угол подъема струи в вертикальной плоскости | 35-85° |
| Вес, кг | 27 |

Ствол пожарный лафетный водо-пенный, универсальный, стационарный, с ручным управлением, с расходом 40 л/с ЛС-С-40УВ (рисунок 18, таблица 11).



Рисунок 18 – Лафетный стационарный ствол ЛС-С-40УВ

Таблица 11 - Технические характеристики стационарного лафетного ствола ЛС-С-40УВ

| Параметр | Показатель |
|----------------------|--|
| Номинальное давление | 0,6 МПа (6 кгс/см ²) |
| Рабочее давление | 0,4 – 0,8 Мпа (4 – 8 кгс/см ²) |
| Расход воды | не менее 40 л/с |

Далее рассмотрим тактико-технические характеристики пожарных роботов.

Пожарные роботы оснащаются:

- ИК – автоматическим извещателем наведения;
- ТВ – видеокамерой.

В комплект роботов входят три электропривода:

- для управления по горизонтали;
- для управления по вертикали;
- для управления насадкой.

Дополнительно в комплект входит привод подъема/опускания.

Пример обозначения:

- ПР-ЛСД-С40У-ИК-ТВ-Ех ПР – пожарный робот;
- ЛСД – на базе лафетного ствола с дистанционным управлением;
- С40У – стационарный, с расходом 40 л/с;

- ИК – оснащен автоматическим извещателем наведения;
- ТВ – оснащен телекамерой видеонаблюдения;
- Ех – изготовлен во взрывозащищенном исполнении [20].

Технические характеристики пожарных роботов представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Технические характеристики пожарных роботов

| Наименование, характеристики | Характеристики | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|----|----|-------------|----|----|-------------|----|----|--------------|----|-----|
| | ПР-ЛСД-С20У | | | ПР-ЛСД-С40У | | | ПР-ЛСД-С60У | | | ПР-ЛСД-С100У | | |
| Тип пожарных роботов | | | | | | | | | | | | |
| Скорость движения, град/с | 3-12 | | | | | | | | | | | |
| Номинальное давление, МПа | 0,8 | | | | | | | | | | | |
| Рабочее давление, МПа | 0,4-1,0 | | | | | | | | | | | |
| Расход при давлении 0,6 МПа: | 15 | 20 | 25 | 20 | 30 | 40 | 40 | 50 | 60 | 80 | 90 | 100 |
| Дальность струи при давлении 0,6 МПа: | | | | | | | | | | | | |
| - сплошной, м | 50 | 55 | 59 | 50 | 62 | 70 | 70 | 75 | 80 | 87 | 95 | 100 |
| - Распыленной при 30°, м | 31 | 34 | 35 | 34 | 38 | 43 | 43 | 46 | 49 | 58 | 63 | 64 |
| Зона перемещения ствола град: | от – 45 до +90 | | | | | | | | | | | |
| - по вертикали | 345 | | | | | | | | | | | |
| - по горизонтали | | | | | | | | | | | | |
| Дальность обнаружения очага с помощью извещателя наведения (ИК), м. | Не менее 50 | | | | | | | | | | | |
| Пределы обнаружения очага, град | 345 | | | | | | | | | | | |

Сравнивая технические характеристики водяных стволов, имеющих на вооружении пожарно-спасательных подразделений и пожарных роботов, можно сделать вывод, что пожарные роботы имеют ряд неоспоримых преимуществ таких как:

- способность обнаружения очага на дальнем расстоянии;
- расход и дальность подачи огнетушащих веществ;
- маневренность;
- способность передачи информации на пост управления;
- возможность охлаждения стенок РВС, фланцевых и других соединений, а также тушение пожара в обваловании;
- сокращение времени тушения пожара в резервуарном парке.

4.2 Оценка повышения эффективности тушения пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств

С помощью формул 1-2 и программы Microsoft Office Excel проведен расчет количества технических средств, необходимых для охлаждения резервуаров, а также личного состава, который будет задействован на тушение пожара в резервуарном парке в зависимости от характеристик резервуаров (в расчетах принимался сценарий одного горящего и трех соседних резервуаров). При расчете личного состава, работающего от передвижной пожарной техники, принимались ствольщик и подствольщик на один ствол. При расчете личного состава при работе СРТС учитывались группы разведки из тактических соображений.

Необходимое количество средств на охлаждение горящего резервуара рассчитывается по формуле – $N_{охл}^z$:

$$N_{охл}^z = \frac{P_z \cdot I_{mp}^z}{q_{сте}}, \quad (1)$$

где P_z – периметр горящего резервуара, м;

I_{mp}^z – требуемая интенсивность подачи воды для охлаждения горящего резервуара л/ (с × м);

$q_{ств}$ – расход воды из одного ручного (лафетного) или роботизированного пожарного ствола, л/с.

Необходимое количество средств на охлаждение соседних резервуаров рассчитывается по формуле – $N_{охл}^c$:

$$N_{охл}^c = \frac{0,5 \cdot P_c \cdot I_{мп}^c}{q_{ств}}, \quad (2)$$

где P_c – периметр соседнего резервуара, м;

$I_{мп}^c$ – требуемая интенсивность подачи воды для охлаждения соседнего резервуара, л/(с × м);

Интенсивность подачи воды на охлаждение резервуаров принимается по таблице 13.

Таблица 13 – Нормативные интенсивности подачи воды на охлаждение

| Способ орошения | Интенсивность подачи воды на охлаждение, л/с на метр длины окружности резервуара типа РВС | |
|--|---|-------------------------|
| | горящего | не горящего (соседнего) |
| Стволами от передвижной пожарной техники | 0,8 | 0,3 |

Геометрические характеристики резервуаров вертикальных стальных приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Геометрические характеристики РВС

| Тип резервуара емкость, м3 | Высота резервуара, м | Диаметр резервуара, м | Площадь горячего зеркала, м | Периметр резервуара, м | Горючее вещество |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------|
| РВС -100 | 9 | 12 | 120 | 39 | нефть |
| РВС -2000 | 12 | 15 | 181 | 48 | нефть |

Продолжение Таблицы 14

| | | | | | |
|-------------|----|------|------|-----|-------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| PBC -3000 | 12 | 19 | 283 | 60 | нефть |
| PBC -5000 | 12 | 23 | 408 | 72 | нефть |
| PBC -5000* | 15 | 21 | 344 | 65 | нефть |
| PBC -10000 | 12 | 34 | 918 | 107 | нефть |
| PBC -10000* | 18 | 29 | 637 | 89 | нефть |
| PBC -15000 | 12 | 40 | 1250 | 126 | нефть |
| PBC-15000* | 18 | 34 | 918 | 107 | нефть |
| PBC -20000 | 12 | 46 | 1632 | 143 | нефть |
| PBC -20000* | 18 | 40 | 1250 | 125 | нефть |
| PBC -30000 | 12 | 47 | 1764 | 149 | нефть |
| PBC -30000* | 18 | 46 | 1632 | 143 | нефть |
| PBC -50000 | 18 | 61 | 2892 | 190 | нефть |
| PBC -100000 | 18 | 85,5 | 5715 | 268 | нефть |
| PBC -120000 | 18 | 92,3 | 6691 | 290 | нефть |

Полученные результаты в ходе расчетов представлены в виде диаграмм расчетного количества средств и приборов тушения и охлаждения резервуарного парка (рисунок 19), а также динамики изменения количества, привлекаемого личного состава оперативных пожарных подразделений для ликвидации пожаров относительно типов и характерных особенностей резервуаров нефтепровода (рисунок 20).

Исходя из расчетов, отображенных на рисунке 19, можно сделать выводы о том, что количество ресурсов, которое планируется затратить на ликвидацию пожара, будет зависеть исключительно от объема резервуара, в котором произошел пожар.

Таблица 15 – Количество личного состава и технических средств, необходимых для тушения пожара, в зависимости от типа РВС

| Тип РВС | Кол-во РС – 70 на тушение и охлаждение РВС | Кол-во л/с при тушении пожара с РС-70 | Кол-во ПЛС - 20 на тушение и охлаждение РВС | Кол-во л/с на тушение с ПЛС - 20 | Кол-во СРТС - 20 на тушение и охлаждение РВС | Кол-во СРТС- 40 на тушение и охлаждение РВС | Кол-во СРТС - 60 тушение и охлаждение РВС | Кол-во СРТС - 100 на тушение и охлаждение РВС | Общее кол-во л/с при тушении с СРТС |
|-------------|--|---------------------------------------|---|----------------------------------|--|---|---|---|-------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| РВС -100 | 8 | 16 | 5 | 10 | 5 | 4 | 4 | 4 | 8 |
| РВС -2000 | 12 | 24 | 5 | 10 | 5 | 4 | 4 | 4 | 8 |
| РВС -3000 | 13 | 26 | 6 | 12 | 6 | 5 | 4 | 4 | 8 |
| РВС -5000 | 15 | 30 | 6 | 12 | 6 | 5 | 4 | 4 | 8 |
| РВС -5000* | 14 | 28 | 6 | 12 | 6 | 5 | 4 | 4 | 8 |
| РВС -10000 | 22 | 44 | 8 | 16 | 8 | 6 | 5 | 4 | 8 |
| РВС -10000* | 17 | 34 | 7 | 14 | 7 | 5 | 5 | 4 | 8 |

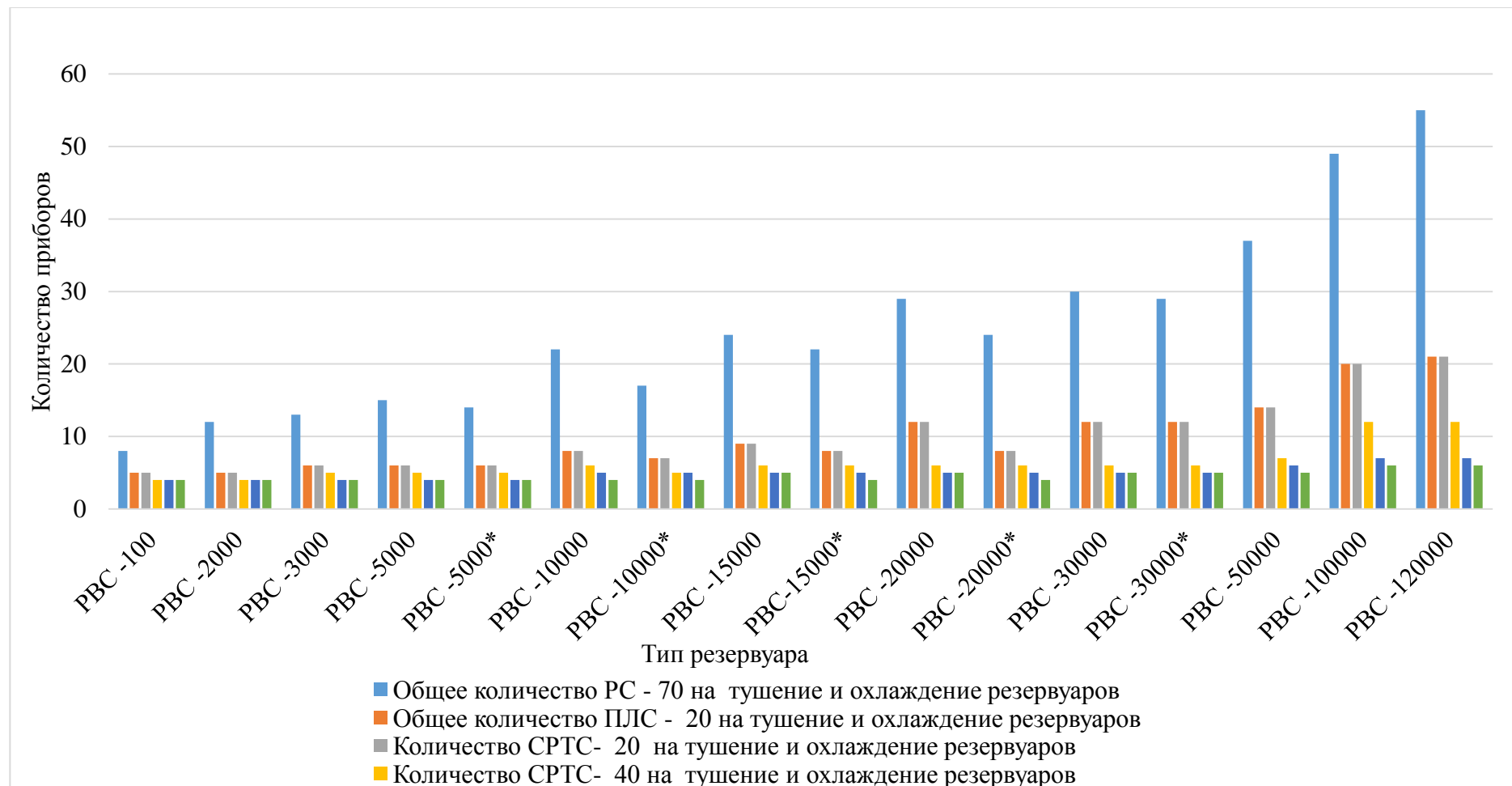


Рисунок 19 – Необходимое количество приборов для тушения пожара в резервуарном парке в зависимости от характеристик резервуаров

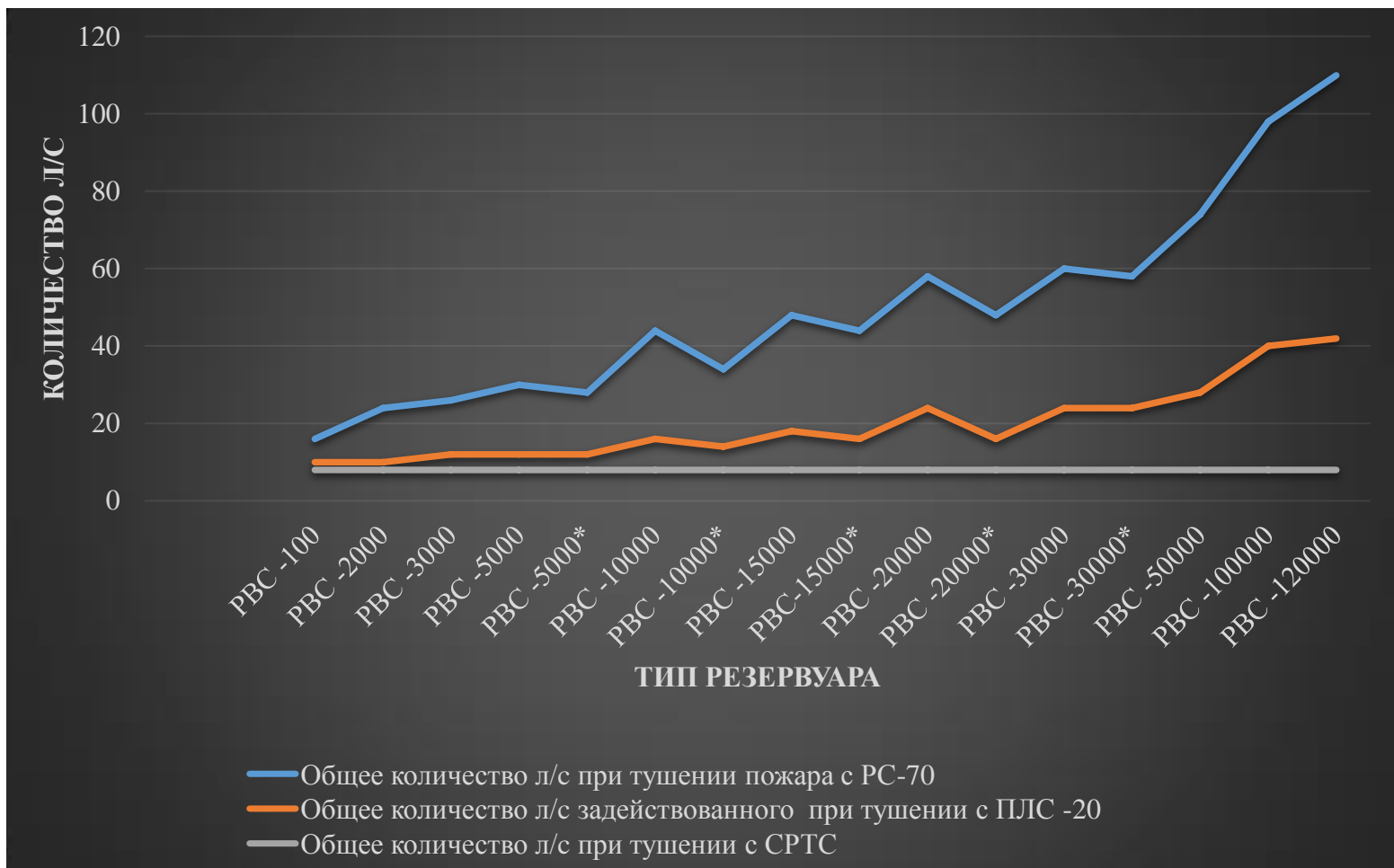


Рисунок 20 – Динамика изменения количества, привлекаемого личного состава оперативных подразделений для тушения пожаров в зависимости от характеристик резервуаров

Так, задействовав стационарные робототехнические средства, будет вполне достаточно 10 сотрудников личного состава для того, чтобы ликвидировать огонь.

При эксплуатации пожарных лафетных стволов, необходимо будет задействовать от 10 до 40 сотрудников личного состава, в зависимости от типа и объема резервуара.

В третьем рассматриваемом случае, для устранения пожара в резервуаре без эксплуатации автоматизированных установок, будет необходимо от 15 до 110 сотрудников личного состава, в зависимости от типа и объема резервуара.

Таким образом, наименьшее количество рабочей силы возможно задействовать при внедрении в эксплуатацию на ликвидации пожара стационарных робототехнических средств. На диаграмме мы можем наблюдать, что максимальное количество сотрудников личного состава при эксплуатации СРТС может быть 10.

В случае использования ПЛС, можно сказать о том, что количество сотрудников, которых будет необходимо задействовать для ликвидации пожара, варьируется в большом диапазоне, что в большинстве случаев может сказаться на эффективности тушения пожара. Так, рассчитав неверное количество сотрудников, которые отправляются на устранение огня, появляется существенный риск в потере времени.

В случае, когда происходит задействование только сотрудников, это также является рискованным. Как в потере времени, так и в сохранении физического состояния и здоровья сотрудников. Возможно, такой способ подойдет только для тушения резервуаров объемом до 100 куб м.

Использование СРТС в тушении пожаров на объектах резервуарных парков, будет наиболее эффективным из всех рассматриваемых вариантов.

Такой способ тушения пожаров предотвратит экологические катастрофы, снизит материальный ущерб, а также сохранит жизнь и здоровье личного состава [43].

Вывод по 4 разделу

В 4 разделе проведена оценка повышения эффективности тушения пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств. Рассмотрены тактико-технические характеристики водяных стволов, имеющиеся на вооружении пожарно-спасательных гарнизонов, а также пожарных роботов. Сравнив технические показатели определено, что пожарные роботы имеют ряд неоспоримых преимуществ, которые могут способствовать быстрому обнаружению пожара, координации сил и средств, органов управления на месте тушения пожара, контролю места пожара, что обеспечивает успешное тушение пожара и ликвидацию ЧС в короткие промежутки времени. Значения, полученные в ходе расчётов, сводят к заключению, что применение СРТС повышает эффективность тушения пожара в резервуарных парках.

Заключение

Данная выпускная квалификационная работа направлена на изучении методики снижения пожарной опасности объектов хранения нефтепродуктов, путем внедрения стационарного робототехнического.

В первом разделе раскрыта основная характеристика объектов хранения нефти и нефтепродуктов, проведен анализ крупных пожаров и возгораний в горящих и соседних резервуарных парках нефтепровода Склады нефти и нефтепродуктов представляют собой комплекс зданий, резервуаров и других сооружений, предназначенных для приема, хранения и выдачи нефти и нефтепродуктов. Приведена статистика тушения пожаров, которая показывает, что резервуары, оснащенные автоматическими системными инженерными комплексами пожаротушения, фактически не справляются со своей задачей по тушению, в виду того, что очень часто происходят их поломки при взрывах или обмятия, как то механические деформации стенок резервуара, что сказывается на низком уровне эффективности их функционирования Действия, направленные на ликвидацию пожаров в горящих и соседних резервуарах, как правило, осуществляются посредством мобильных пожарных средств и расчетов. Разработка мероприятий по повышению эффективности тушения пожара, правильный выбор и использование пожарной техники, снижающий риск получения ожогов личным составом оперативных подразделений, разработка новых методов тушения пожаров имеют большое значение. Из-за плотного монтажа технологического оборудования, обеспечивающих рабочий режим и противопожарную защищенность резервуарных парков затруднена подача пожарных стволов и огнетушащих веществ для скорейшей ликвидации пожара.

Во втором разделе раскрыто проведение комплексной оценки методов управления при устранении пожарного очага в резервуарных парках с

применением стационарных робототехнических средств. Проведен анализ постановки проблем управления при пожаротушении в резервуарных парках. Разработана схема причинно-следственных связей в развитии пожара. Как показывается статистика, имеющиеся знания и практика, существующие стационарные инженерные комплексы тушения, направленные на ликвидацию пожара, в большинстве своем имеют высокого результата по локализации пожара, поэтому имеется необходимость в их совершенствовании, а также применении новых методов управления пожарными подразделениями при пожаротушении.

Рассмотрены основные проблемы, связанные с тушением пожаров в резервуарных парках и явления, затрудняющее пожаротушение. Проведен обзор и порядок работы СРТС. На основании принципов и различных режимов работы СРТС, можно провести оценку, и за счет них повысить тактические возможности пожарно-спасательных подразделений, сократить время тушения пожара и исключить гибель и травмирование личного состава.

В третьем разделе раскрыта разработка методов управления стационарными робототехническими средствами в процессе пожаротушения в горящих резервуарных парках нефтепровода. Предложена принципиально новая модель руководства и контроля за потенциалом личного состава оперативных пожарных подразделений и имеющимися устройствами и средствами при тушении пожаров и проведении АСР в резервуарных парках. Описаны методы управления, способы и средства воздействия на подразделения пожарно-спасательных служб при пожаротушении в резервуарных парках нефтепровода. Изложены комплекс тактико-технологический операций при пожаротушении с применением СРТС и разработка модели управления пожарно-спасательными подразделениями с применением робототехнических средств. В данном разделе проведен сравнительный анализ существующей системы управления подразделениями

с предложенной системой управления с применением стационарных робототехнических средств.

В четвертом разделе подробно рассмотрены тактико-технические характеристики водяных стволов, имеющиеся на вооружении пожарно-спасательных гарнизонов, а также пожарных роботов, даны результаты исследования в виде таблиц и графиков проведен сравнительный анализ применения водяных стволов и пожарных роботов. Проведена оценка повышения эффективности тушения пожаров в резервуарных парках с применением стационарных робототехнических средств. Рассмотрены тактико-технические характеристики водяных стволов, имеющиеся на вооружении пожарно-спасательных гарнизонов, а также пожарных роботов.

За счет концепции развития робототехники в системе МЧС России большие изменения происходят и в пожарной автоматике, неотъемлемой частью которой становятся пожарные роботы.

Следует отметить, что Россия является первой страной мира, где законодательно и нормативно введен новый вид автоматических установок пожаротушения – роботизированные установки пожаротушения. Они введены в Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», в свод правил проектирования установок пожаротушения СП 5.15130.2009 и в государственный стандарт ГОСТ Р 53326-2009 на роботизированные установки пожаротушения.

Модель робота пожарного во многом соответствует видениям и требованиям самих пожарных по обеспечению оперативного тушения очага возгорания без участия человека, так как в круглосуточном наблюдении у такого робота находится вверенная ему зона пожарной защиты, и в случае обнаружения очага он без промедления направит на огонь все ресурсы огнетушащих средств.

Список используемой литературы

1. Андриюшкин А. Ю., Пелех М. Т., Кадочникова Е. Н. Исследование и разработка средств и методом, обеспечивающих снижение пожарной опасности нефтеперерабатывающего оборудования // Научно-аналитический журнал Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. №2. 89-96 с.
2. Бобков С. А., Бабурин А. В., Комраков П. В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. 210 с.
3. Бард В. Л., Кузин А. В. Предупреждение аварий в нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах. М.: Химия, 1984. 10 с.
4. Волков О. М. Версия «Домино» на пожаре группы РВС-20000 на линейно производственно-диспетчерской станции «Конда» [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. 2013. Вып. 3 (49). URL: <https://academygps.ru/> (дата обращения 25.03.2021).
5. Власов К. С. Модели и алгоритмы поддержки управления тушением пожаров в резервуарных парках на основе применения робототехнических средств : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.13.10 / Власов Константин Сергеевич. [Акад. гос. противопожарной службы МЧС России]. М., 2016. 24 с.
6. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (с Изменением № 1). М.: Стандартиформ, 2006.
7. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. М.: Стандартиформ, 2019.

8. ГОСТ 31385-2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2016.
9. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. М.: Стандартинформ, 2014.
10. ГОСТ Р 51330.5-99. (МЭК 60079-4-75). Электрооборудование взрывозащищенное Часть 4. Методы определения температуры самовоспламенения. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
11. ГОСТ Р 53326-2009. Техника пожарная. Установки пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2019.
12. Данилов М. М. Модели и алгоритмы поддержки управленческих решений при тушении пожаров нефтяных резервуаров : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.13.10 / Данилов Михаил Михайлович. [Акад. гос. противопожарной службы МЧС России]. М., 2015. 27 с.
13. Журнал пожарно-спасательной службы Firefighternation. URL: <https://www.firefighternation.com> (дата обращения 28.03.2021).
14. Иванков Д. С., Сметанкина Г. И., Жердев А. В. Проблемы обеспечения пожарной безопасности резервуаров хранения нефти и нефтепродуктов // Мировая наука. 2019. №2 (23). С. 133-138.
15. Кушниренко К. Ф. Краткий справочник по горючему. М.: Воениздат, 1989. 303 с.
16. Лазарев Н. В. Вредные вещества в промышленности, ч.1. Л.: Химия, 1976. 589 с.
17. Маслаков М. Д., Пелех М. Т., Родионов В. А., Хорошилов О. А. Пожарная безопасность электроустановок. Молниезащита и защита от статического электричества: учебное пособие. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2010. 234 с.

18. О пожарной безопасности. [Электронный ресурс]. URL: <http://firesafetyblog.ru/> (дата обращения 25.03.2021).

19. Официальный сайт Международной ассоциации пожарных. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iaff.org/> (дата обращения 28.03.2021).

20. Официальный сайт Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mchs.gov.ru/>. (дата обращения 25.03.2021).

21. Порядок применения пенообразователей для тушения пожаров. Рекомендации (утв. МЧС РФ 27.08.2007). М., ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007.

22. Приказ Минтруда России от 11.12.2020 № 881н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны» (Зарегистрировано в Минюсте России 24.12.2020 № 61779) [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru>, 24.12.2020 (дата обращения: 15.05.2021).

23. Приказ МЧС России от 26.12.2013 N 837 (ред. от 09.03.2017) «Об утверждении свода правил «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности» (вместе с «СП 155.13130.2014. Свод правил...»). Информационный бюллетень о нормативной, методической и типовой проектной документации, № 7, 2014.

24. Приказ МЧС России от 31.08.2020 № 628 «Об утверждении свода правил «Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» (вместе с «СП 485.1311500.2020. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования»). Документ опубликован не был. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 15.05.2021).

25. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (Зарегистрировано в Минюсте России 17.08.2009 № 14541). Документ опубликован не был. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 15.05.2021).

26. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений (утв. Минэнерго СССР 12.10.1987). М.: Энергоатомиздат, 1989. – 56 с.

27. Сайт по продаже роботизированных установок для тушения пожаров. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.firesafecigarettes.org>. (дата обращения 28.03.2021).

28. Сайт правительственного агентства по борьбе с пожарами. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fire.org.uk/>. (дата обращения 28.03.2021).

29. Самигуллин Г. Х., Кадочникова Е. Н., Тепляков Д. Э. Проблемы обеспечения пожарной безопасности на резервуарах и резервуарных парках. // Международная научно-практическая конференция «Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения», 2020. 13-16 с.

30. Скрипник И. Д., Воронин С. В., Кадочникова Е. Н. Анализ снижения пожарной опасности резервуарных парков. // Научно-аналитический журнал «Проблемы управления в техносфере». 2018. № 4. 15-19 с.

31. СП 3.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности (утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009 № 173). М., ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

32. СП 4.13130.2013. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям (утв. Приказом МЧС России от 24.04.2013 № 288) (ред. от 14.02.2020). Документ опубликован не был. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 15.05.2021).

33. СП 7.13130.2013. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности (утв. и введен в действие Приказом МЧС России от 21.02.2013 № 116) (ред. от 12.03.2020). Документ опубликован не был. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 15.05.2021).

34. Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения 28.03.2021).

35. Статистика пожаров на объектах нефтегазовой отрасли. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.refbzd.ru/viewreferat-2270-8.html>. (дата обращения 25.03.2021).

36. Терещнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушный А. В. Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов. М.: Пожнаука, 2007. 324 с.

37. Терещнев В. В., Подгрушный А. В. Пожарная тактика. Основы тушения пожара. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 322 с.

38. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Собрание законодательства РФ, 28.07.2008, N 30 (ч. 1), ст. 3579.

39. Хорошилов О. А., Собкалов А. В. Методические рекомендации для подготовки к проведению проверки противопожарного состояния основных технологических участков нефтебазы ЗАО «СОВЭКС»; под ред.

В.С. Артамонова. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС, 2018. 17 с.

40. Шурыгина Е. Ю. Разработка методов управления стационарными робототехническими средствами при тушении пожаров в резервуарных парках. 2021. №30. С.607-611.

41. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения 28.03.2021).

42. Andy Budd. CSS Mastery: Advanced Web Standarts solutions- N.Y.:Apress, Inc., 2006. P. 272.

43. Fire Safety Journal. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.journals.elsevier.com/fire-safety-journal>. (дата обращения 28.03.2021).

44. Implementation of Advanced Analysis Method for Steel-Framed Structures Under Fire Conditions // Fire Safety Journal. 40(4). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/223624889>_(дата обращения 28.03.2021).

45. Liu P., Yu H., Cang S., Vladareanu L. Robot-assisted smart firefighting and interdisciplinary perspectives. International Conference on Automation and Computing (ICAC), 2016, pp. 395-401. [Электронный ресурс]. URL:https://www.researchgate.net/publication/309414209_RobotAssisted_Smart_Firefighting_and_Interdisciplinary_Perspectives (дата обращения 28.03.2021).

46. Peskoe-Yang L. Paris Firefighters Used This Remote-Controlled Robot to Extinguish the Notre Dame blaze // IEEE Spectrum, 22 Apr 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/colossus-the-firefighting-robot-that-helped-save-notre-dame> (дата обращения 28.03.2021).

47. The Use of Robotics in Firefighting. [Электронный ресурс]. URL: <https://safetymanagement.eku.edu/blog/the-use-of-robotics-in-firefighting/>. (дата обращения 28.03.2021).