

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
(наименование института полностью)

Институт инженерной и экологической безопасности
(наименование учебного структурного подразделения)

20.04.01 Техносферная безопасность
(код и наименование направления подготовки)

Управление пожарной безопасностью
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Обеспечение пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов на нефтеперерабатывающем заводе»

Обучающейся

Н.П. Журавлева

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.х.н., доцент, А.В. Суханов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.э.н., доцент, Т.Ю. Фрезе

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Содержание

Перечень сокращений и обозначений.....	4
Введение.....	6
1 Аналитический обзор пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов.....	14
1.1 Анализ научных публикаций по пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов и статистических данных о пожарах.....	14
1.2 Анализ законодательных и нормативных документов по пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов.....	2
2 Резервуарный парк хранения нефтепродуктов.....	31
2.1 Анализ методов решения, технологий по обеспечению пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов.....	31
2.2 Оценка последствий аварийной ситуации в резервуарном парке.....	48
2.3 Анализ и оценка обеспечения пожарной безопасности и технологического процесса хранения нефтепродуктов на объекте защиты – цех 006 ФГУП «Комбинат» Государственной корпорации по атомной энергии (Росатом).....	68
3 Анализ и разработка инженерно-технических решений для повышения эффективности пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов.....	87
3.1 Дополнительное оборудование для повышения эффективности пожарной безопасности при хранении нефтепродуктов.....	87
3.2 Прогнозирование и оценка развития пожарной ситуации с резервуаром РВС-2000 при хранении дизельного топлива	92
3.3 Оперативно-тактические мероприятия по привлечению сил и средств для обеспечения пожарной безопасности объекта.....	97
3.4 Анализ, оценивание результативности и экономической эффективности предлагаемых мер организации пожаротушения силами подразделений местного пожарно-спасательного гарнизона.....	104

Заключение	114
Список используемых источников	120
Приложение А Общая схема объекта защиты – цех 006 ФГУП «Комбинат».....	127
Приложение Б Схема объекта защиты с расстановкой сил и средств при пожаротушении (сценарий расчета № 1).....	128
Приложение В Схема объекта защиты с расстановкой сил и средств при пожаротушении (сценарий расчета № 2).....	129

Перечень сокращений и обозначений

АЛ – пожарная автолестница

АЦ – автоцистерна пожарная

АШ – пожарный штабной автомобиль

БПЛА – беспилотный летательный аппарат

ГПС-600 – генератор пенный средней кратности с производительностью по пене 600 л/с

ГСМ – горюче-смазочные материалы

ГУПО МЧС России – Главное управление пожарной охраны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

КУРС-8 – ствол пожарный

ЛВЖ – легковоспламеняющиеся жидкости

МЧС России – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

ПЛС-20 – ствол лафетный

ПО – пенообразователь

ПО-6НП – пенообразователь общего назначения

ПСЧ – пожарно-спасательная часть

ПФО – Приволжский федеральный округ

РВС – резервуар вертикальный стальной

РВС-2000 – резервуар вертикальный стальной объемом 2000 м³

РВСП – резервуар вертикальный стальной с понтоном

РВСПК – резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей

Ростехнадзор – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору

РТП – руководитель тушения пожара

СВО – специальная военная операция

СПСЧ – специальная пожарно-спасательная часть

СПТ – служба пожаротушения

ТЭК – топливно-энергетический комплекс

ФГБУ ВНИИПО МЧС России – федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почёта» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России» – федеральное государственное казенное учреждение «Специальное управление федеральной противопожарной службы № 6 Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

ФГУП «Комбинат» – федеральное государственное унитарное предприятие «Комбинат»

ХМАО – Ханты-Мансийский автономный округ

ЦФО – Центральный федеральный округ

ЧП – чрезвычайное происшествие

ЧС – чрезвычайная ситуация

ЮФО – Южный федеральный округ

Введение

На данный момент пожарная безопасность остается ключевым аспектом общей безопасности на предприятиях. Наиболее катастрофическими считаются пожары, возникающие в процессе добычи, перевозки или хранения углеводородов. Резервуары для нефти фигурируют в числе наиболее распространенных причин пожаров в наши дни. Пожары на складах нефтепродуктов отличаются высокой концентрацией задействованных сил и средств, а также продолжительным временным периодом ликвидации последствий.

В российских городах продолжается интенсивный рост нефтехимического сектора. Это обусловлено тем, что углеводородное сырье активно используется в качестве энергетической базы. Добыча нефти, ее последующая переработка, логистика и хранение связаны с повышенными рисками, что определяет важность обеспечения безопасности производственных процессов. В случае воспламенения нефтепродуктов необходимы особые методы тушения и локализации очага, поскольку горящая нефть несет серьезную угрозу жизни людей и оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Горение нефтепродуктов может сопровождаться взрывами, формированием горящих фонтанов, высокими температурами и интенсивным тепловым излучением.

Поэтому приоритетной задачей пожарной охраны и органов государственного управления является обеспечение пожарной безопасности потенциально опасных объектов, каковыми выступают резервуарные парки, предназначенные для хранения нефтепродуктов.

Учитывая вышесказанное, необходимо тщательно изучить и разработать совокупность мер и технических решений, направленных на обеспечение пожарной безопасности объекта, предназначенного для хранения нефтепродуктов.

Наиболее распространенными причинами пожаров в резервуарных парках темных и светлых нефтепродуктов являлись: сбои и нарушения в технологическом процессе, проведение огневых работ, образование разрядов статического электричества, а также ситуации, когда установить причину не удалось.

С началом проведения специальной военной операции, очевидно, что риски возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах, где хранятся нефтепродукты, существенно возросли. На текущий момент, это факт, который уже не вызывает ни у кого сомнений.

В последнее время, среди основных факторов, приводящих к пожарам, приобретающим массовый характер, выделяется воздействие на стальные резервуары и объекты топливно-энергетического комплекса в результате несанкционированных действий с применением беспилотных летательных аппаратов различных типов и моделей.

По имеющимся в Главном управлении пожарной охраны МЧС России сведениям на объектах топливно-энергетического комплекса произошло 225 пожаров, из них 172 пожара произошли в следствие актов незаконного вмешательства с применением беспилотных летательных аппаратов, а также иных средств поражения.

Основным объектом поражения являлись резервуары стальные вертикальные. Общее количество поврежденных РВС составило 132 резервуара, а также 31 технологическое оборудование. Основным горючим веществом являлось авиационное и дизельное топливо, бензин.

Пена является основным и наиболее эффективным средством тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках. Выбор типа пенообразователя, зависит от особенностей конкретного объекта защиты.

Для ликвидации пожаров на складе нефтепродуктов требуется значительное количество пенообразователя. Расчеты сил и средств, выполненные по наиболее сложному сценарию тушения пожара, выявили, что имеющихся запасов пенообразователя в местном пожарно-спасательном

гарнизоне критически не хватает. В связи с этим, важно заранее включать в «План привлечения сил и средств на тушение пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» пути решения этой проблемы.

На текущий момент вопрос обеспечения безопасности резервуарных сооружений сохраняет свою актуальность. Для выработки мер, способствующих повышению уровня пожарной безопасности резервуаров, предназначенных для хранения нефтепродуктов и нацеленных на предотвращение чрезвычайных ситуаций различного характера, требуется проведение анализа произошедших аварийных ситуаций. Необходимым условием выступает понимание конструктивных особенностей вертикальных стальных резервуаров и знание специфики развития пожаров в условиях хранения нефтепродуктов.

Актуальность темы исследования обосновывается рядом факторов:

- бесперебойная работа и безопасное функционирование нефтехранилищ является фундаментом обеспечения национальной безопасности страны;
- объекты, предназначенные для хранения нефтепродуктов, выступают в качестве основного поставщика сырья, обеспечивая развитие и функционирование экономики государства;
- хранилища нефтепродуктов, как правило, содержат огромные объемы этих веществ, что кратно увеличивает потенциальную опасность возникновения экологического вреда окружающей среде, значительного экономического ущерба и человеческих жертв;
- быстрая ликвидация последствий и недопущения развития чрезвычайных ситуаций в условиях потенциальной угрозы террористических актов с применением беспилотных летательных аппаратов различных типов и моделей;
- отсутствует единый нормативно-правовой документ, исчерпывающе регламентирующий все аспекты обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов.

Объект исследования: система обеспечения пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов в цехе 006 ФГУП «Комбинат» (город Лесной Свердловской области).

Предмет исследования: система пожаротушения резервуаров вертикальных стальных объемом 2000 м³ силами и средствами местного пожарно-спасательного гарнизона.

Цель исследования: обеспечить пожарную безопасность процесса хранения нефтепродуктов путем разработки мероприятий по усовершенствованию системы пожаротушения резервуаров с дизельным топливом.

Гипотеза исследования состоит в том, что усовершенствовав систему пожаротушения резервуаров с дизельным топливом можно обеспечить пожарную безопасность предприятия, на котором хранятся нефтепродукты, если:

- провести анализ отечественных источников пожарной опасности нефтебаз, законодательных и нормативных документов, научных публикаций по пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов и статистических данных о пожарах;
- определить соответствие объекта защиты и технологического процесса хранения нефтепродуктов на нем современным требованиям пожарной безопасности;
- произвести расчет сил и средств тушения пожара;
- изучить научно-технический проект обеспечения пожарной безопасности и технологического процесса хранения нефтепродуктов;
- разработать комплекс мер, направленных на оптимизацию системы пожаротушения резервуаров, предназначенных для хранения дизельного топлива.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Осуществить комплексный анализ нормативно-технических документов, касающихся обеспечения пожарной безопасности на нефтебазах и аналогичных объектах, опубликованных научных статей по данному вопросу. Детально изучить аналитические обзоры и статистические сведения, собранные в отношении пожаров, имевших место на предприятиях, занимающихся хранением и переработкой нефтепродуктов.
2. Провести анализ и оценку обеспечения пожарной безопасности и технологического процесса хранения нефтепродуктов в резервуарном парке цеха 006 ФГУП «Комбинат».
3. Произвести расчет сил и средств тушения пожара в резервуарном парке цеха 006 ФГУП «Комбинат» подразделениями ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России».
4. Найти подходящие варианты научно-технических проектов обеспечения пожарной безопасности нефтепродуктов и предложить к разработке, внедрению современные устройства противопожарной защиты процесса хранения нефтепродуктов.
5. Разработать комплекс мероприятий по совершенствованию системы пожаротушения резервуаров с дизельным топливом.

Теоретико-методологическую основу исследования составили:

- фундаментальные, научно-технические аспекты пожарной безопасности, отраженные в работах отечественных исследователей: В.В. Терехнева, М.А. Стадникова, Е.В. Глебовой, А.В. Мурадова, Л.Э. Шейнкмана, А.Ф. Шароварникова, И.К. Бакирова;
- законодательные акты, нормативные положения и правовые документы Российской Федерации, устанавливающие правила пожаротушения на предприятиях, специализирующихся на переработке и хранении нефтепродуктов;

- приказы МЧС России, касающиеся вопросов тушения пожаров и противопожарной безопасности объектов, представляющих потенциальную угрозу, а также регламентирующие порядок действий пожарно-спасательных гарнизонов;
- исследовательские статьи Калагиной Ю.М. и Петровой Н.В.;
- информативные данные официальных источников средств массовой информации, ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

Базовым для настоящего исследования явилось также: «Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках».

Методы исследования: в ходе работы над теоретической частью диссертации были использованы следующие методы: изучение и сравнение, сбор данных.

Опытно-экспериментальная база исследования цех 006 ФГУП «Комбинат» Государственной корпорации по атомной энергии (Росатом) и подразделения ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России».

Научная новизна исследования заключается в разработке мероприятий по повышению эффективности пожаротушения резервуара РВС-2000 с дизельным топливом в резервуарном парке.

Теоретическая значимость исследования заключается в:

- внедрении инновационных систем пожаротушения на нефтеперерабатывающих предприятиях и схожих объектах;
- применении заключений и результатов анализа, полученных в рамках исследования, на других предприятиях.

Практическая значимость исследования заключается в разработке мероприятий по повышению эффективности пожаротушения резервуара РВС-2000 с дизельным топливом в резервуарном парке цеха 006 ФГУП «Комбинат» подразделениями местного пожарно-спасательного гарнизона.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

- подкреплением наглядно представленных в таблицах и рисунках фактических данных по основным положениям и выводам в диссертации;
- предоставлением полных расчетов.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в выполнении теоретических и экспериментальных расчетов.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты докладывались на научно-практической конференции сотрудников ФПС ГПС МЧС России «О статистике и причинах возникновения крупных и затяжных пожаров в 2024 году, а также проблемных вопросах по их тушению», состоявшийся в январе 2025 года в городе Екатеринбург.

На защиту выносятся:

- Результаты изучения и комплексного анализа нормативных документов по пожарной безопасности при работе с нефтепродуктами, который выявил отсутствие единого нормативного акта, детально описывающего требования к системе пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов.

Анализ предоставленных статистических данных о пожарах выявляет, что на частоту их возникновения влияют: функциональное назначение объекта (где именно произошло возгорание) (45,75% - резервуарные парки нефтебаз и нефтеперерабатывающих заводов), тип используемого резервуара (78% - резервуары типа РВС), а также вид хранимой в нем жидкости. Анализ пожаров на предприятиях нефтехранения позволяет выделить ключевой момент: почти все из них обусловлены сложным взаимодействием нескольких факторов. Приведенные данные подтверждают вывод о том, что основная причина лежит в человеческом факторе – ошибках персонала.

- Результаты оценки соответствия объекта защиты (резервуарного парка цеха 006 ФГУП «Комбинат») современным требованиям пожарной безопасности. Расчеты зоны разрушения и границы поражения людей, производственных зданий и РВС при взрыве облака газопаровоздушной смеси при различных сценариях аварийной ситуации в указанном выше резервуарном парке.
- Результаты расчетов, которые были получены для тушения пожара в обваловании и резервуаре с дизельным топливом, имеющих сил и средств, привлекаемых местным пожарно-спасательным гарнизоном по вызову «Пожар №2» (установленному автоматически для данного объекта), который подтверждает, что сил и средств гарнизона для тушения данного пожара не достаточно (по пенообразователю).
- Мероприятия по совершенствованию практики применения традиционных средств пожаротушения, демонстрирующей подлинную эффективность в ликвидации возгораний, а также минимизирующей риски для пожарных, участвующих в борьбе с огнем, основанной на превентивных мерах.
- Технический проект, предложенный в исследовании по замене пенообразователя с ПО-6НП на «PETROFILM», подтвержденный расчетами и существенными преимуществами: и по затратам на его закупку, и по техническим характеристикам, и по количеству личного состава, участвующего в тушении пожара.

Структура магистерской диссертации: работа состоит из введения, 3 разделов, заключения; содержит 13 рисунков, 16 таблиц, список использованной литературы (51 источник), 3 приложения. Основной текст работы изложен на 119 страницах.

1 Аналитический обзор пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов

1.1 Анализ научных публикаций по пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов и статистических данных о пожарах

В соответствии со Стратегией национальной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента РФ от 02 июля 2021 г. № 400 [42], основными угрозами государственной и общественной безопасности являются «угрозы, связанные с возникновением чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в том числе вследствие изменения климата, пожаров, наводнений и паводков». Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [43] определяет пожар, как «неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства», а пожарную безопасность как «состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров».

Итак, пожарная безопасность, безусловно, является основополагающим фактором, обеспечивающим общее благосостояние каждого гражданина. Она рассматривается как приоритетная задача и сфера деятельности государства.

В современных условиях нефть является одним из главных мировых энергетических ресурсов. Нефтеперерабатывающая промышленность как отрасль занимается выработкой готовых нефтепродуктов, которые непосредственно используются потребителями. Цель переработки нефти – производство нефтепродуктов, прежде всего различных видов топлива (автомобильного, авиационного, котельного и т.д.) и сырья для последующей химической переработки.

Обычно на нефтеперерабатывающем заводе или рядом с ним имеется нефтебаза для хранения поступающего сырья для сырой нефти, а также

больших объёмов жидких продуктов – базы хранения готовой продукции, представляющие наибольшую опасность, поскольку именно там концентрируются большие объёмы готовых пожаровзрывоопасных продуктов нефтепереработки.

Реестр НПЗ России, включая строящиеся и проектируемые, ведётся Министерством энергетики РФ. По состоянию на 1 февраля 2023 года в нём было указано 86 НПЗ. Из них введёнными в эксплуатацию считаются 36, строящимися и реконструируемыми — 8, проектируемыми — 42.

«Большая часть существующих в России нефтеперерабатывающих заводов была построена ещё в советский период. Распределение нефтеперерабатывающих предприятий по регионам осуществлялось по двум принципам — близости к месторождениям сырья и сообразно необходимости поставок горюче-смазочных материалов и продуктов нефтехимии в конкретные районы РСФСР, или же в соседние республики СССР. Данные факторы и предопределили картину расположения нефтеперерабатывающих мощностей на территории современного российского государства.

Современный этап развития отечественной переработки «чёрного золота» характеризуется не только наращиванием мощностей, но и тотальной модернизацией производства» [13].

В частности, «по данным Минэнерго России в 2023 году объём добычи нефти составил 530 млн. тонн. По добыче нефти зафиксировано незначительное снижение (менее 1 %), но при этом увеличились показатели переработки нефти на 1,1 %. Производство бензина увеличилось почти на 2,8 процента (до 43,8 млн т), дизельного топлива – на 3,4 процента (до 88 млн т)» [41]. Эта динамика служит подтверждением блестящих перспектив и ведущего положения индустрии, что, в свою очередь, диктует острую необходимость в обеспечении и поддержании её безопасного функционирования.

В тоже время, первостепенное внимание уделяется противопожарной защите тех предприятий, где возгорание может привести к серьезным

техногенным последствиям. К таким предприятиям относятся и объекты нефтепереработки.

Стоит подчеркнуть, что взрывы, возгорания, пожары на таких производствах влекут за собой материальные потери, как в масштабах страны, так и для собственников, а порой и гибель людей (прямой и косвенный ущерб).

Исследованием аварийных ситуаций с нефтепродуктами занимались следующие российские ученые: М.А. Стадникова, Е.В. Глебова, А.В. Мурадов, Л.Э. Шейнкман [39]. Проведя анализ статистических данных по авариям и возможным проблемам, авторы выделяют наиболее значимые причины аварийных отказов на линейной части магистральных нефтепроводов, которые могут привести к выбросам большого количества нефтепродукта.

Сотрудники ФГБУ ВНИИПО МЧС России уже многие годы успешно применяют научно обоснованные методы для решения задач пожарной безопасности объектов нефтяной отрасли. Это достигается путем выполнения теоретических и экспериментальных исследований, включая крупномасштабные испытания. «В частности, выполнены теоретические и экспериментальные исследования процессов разлития, испарения и горения аварийных выбросов горючих газов и жидкостей; разработаны методы и способы ограничения распространения пожара, а также методы оценки опасности и риска на производственных объектах и т.п. Институт регулярно участвует в работах по обеспечению пожарной безопасности различных объектов нефтегазового комплекса. На основании проведенных исследований был разработан ряд нормативных правовых актов, нормативных и методических документов по пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса» [2].

Некоторые вопросы обеспечения пожарной безопасности нефтяной отрасли были исследованы в монографии отечественного исследователя И.К. Бакирова [1].

В частности, имеется немало научных работ, посвященных исследованию факторов, приводящих к взрывам и пожарам на нефтебазах и иных подобных сооружениях.

«Анализ данных о пожарах на объектах транспортировки, хранения и переработки нефти и нефтепродуктов в период с 2000 по 2020 год показал, что за данный период времени произошло больше 224 пожаров. Наибольшая доля пожаров пришлась на объекты нефтепродуктообеспечения – 51 %, а на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) – 49 %.

В свою очередь причинами аварийных ситуаций на данных объектах являлись: самовозгорания пирофорных соединений – 11,6 % (из этого числа на НПЗ 62,5 %, на промыслах 37,5 %), 5,8 % из-за разрядов атмосферного электричества, 8,7 % пожаров из-за разрядов статического электричества, 2,9 % – от искр ударов, возникающих при отборе проб. Согласно имеющимся данным, наибольшая доля аварийных ситуаций была связана с предремонтной подготовкой (34,7 %) и проведением огневых работ» [14].

Автор статьи Дупляков Г.С. [10], ссылаясь на исследования взятые из источника [15], приводит статистику пожаров, распределяя их по месту возникновения следующим образом:

- «резервуарные парки нефтебаз 30,75 %,
- резервуарные парки нефтеперерабатывающих заводов 15%,
- резервуары для хранения нефтепродуктов, расположенные на территории промышленных предприятий 2,5%,
- нефтетрубопроводы 2,5%,
- сливо-наливные эстакады 2,5%,
- склады горюче-смазочных материалов 2,5%,
- железнодорожные цистерны для перевозки нефтепродуктов 2,5%,
- автозаправочные станции 11%,
- автоцистерны для перевозки нефтепродуктов 6,25%,
- прочие объекты, не относящиеся к хранению нефти и нефтепродуктов, 24,5%» [10].

Наглядно статистика представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пожары, произошедшие на «объектах, связанных с хранением, транспортировкой и переработкой нефти и нефтепродуктов» [10]

Согласно информации, представленной в источнике [2], за двадцатилетний период на территории нашей страны зафиксировано более двухсот пожаров в резервуарных парках. Следует отметить, что преобладающее большинство этих возгораний, составляющее 78%, пришлось на резервуары типа РВС. «В зависимости от частоты и места возникновения пожары на резервуарах распределились следующим образом: распределительные нефтебазы – 48,3%, нефтеперекачивающие станции – 27,7%, нефтепромыслы – 14%, нефтепроводы – 10%» [2]. «В зависимости от вида хранимых продуктов пожары происходили в резервуарах с бензином в 53,8%, в резервуарах с сырой нефтью в 32,4%, а на долю резервуаров с другими нефтепродуктами 13,8% от общего числа пожаров» [2].

Анализ статистики, представленной из источника [2], демонстрирует, что на вероятность возникновения оказывают влияние функциональное предназначение объекта (место происшествия), тип резервуара и вид хранимого вещества.

Автор статьи «Статистика пожаров на объектах нефтегазовой отрасли» Калагина Ю.М. [12], анализируя причины возникновения пожаров в резервуарах и резервуарных парках, таким образом распределяет пожары:

«1. Пожары на нормально работающих резервуарах (без нарушения технологических регламентов):

- пожары от атмосферного электричества;
- пожары от самовозгорания пирофорных отложений;
- пожары, возникающие при отборе проб;
- пожары от создания локальных зон с взрывоопасной концентрацией на территории резервуарных парков.

2. Пожары на резервуарах при их очистке (подготовке) к ремонтным работам.

3. Пожары при проведении ремонтных и огневых работ:

- на предварительно очищенных резервуарах;
- без предварительной очистки (подготовки) резервуаров» [12].

Итак, анализ пожаров на предприятиях нефтехранения позволяет выделить ключевой момент: почти все из них обусловлены сложным взаимодействием нескольких факторов. Каждый из этих факторов по отдельности не может стать причиной серьезного пожара, но их одновременность (сочетаемость) приводит к катастрофическим результатам.

Петрова Н.В. в своей исследовательской статье [15] распределяет основные причины пожаров: «огневые и ремонтные работы 23,5%, искры электроустановок 11,7%, удары молний и вторичные проявления атмосферного электричества 9,2%, разряды статистического электричества 9,7%, иные источники (самовозгорание, поджог, открытое пламя и пр.) 45,9%» [15].

Высокий уровень пожарной опасности складов, где концентрируется большое количество нефтепродуктов, обусловлен их способностью к воспламенению и горению, о чем свидетельствуют чрезвычайные ситуации. Например, «в 2019 году в городе Новопавловск Ставропольского края произошел пожар на нефтеперерабатывающем заводе ООО «Шигл». Загорелись емкости объемом 300 кубических метров с остатками нефтепродуктов. В результате ЧП пострадали трое рабочих. Возгорание было ликвидировано на площади 50 квадратных метров» [16]. «25 сентября 2019 года в Киришском районе Ленинградской области на нефтеперерабатывающем заводе «Кинеш» загорелась установка по переработке дизельной фракции. Высота горения факела в ООО «Кинеш» достигала 10 метров. Угрозы соседним сооружениям и пострадавшим не было» [16]. «4 декабря 2019 года в Омске на нефтеперерабатывающем заводе «Газпромнефти» произошло возгорание выведенной в ремонт резервуарной емкости с бутиленом. Пожар был ликвидирован на площади 150 квадратных метров, в результате возгорания никто не пострадал» [16]. «4 декабря 2019 года на территории нефтеперекачивающей станции «Калейкино» в Альметьевском районе Татарстана произошел пожар. В результате ЧП загорелся неэксплуатируемый резервуар объемом 20 тысяч кубических метров. Пострадали два человека» [16].

«9 января 2020 года в городе Ухте Республики Коми загорелась установка нефтеперерабатывающего завода «Лукойл». Площадь, охваченная огнем, составила тысячу квадратных метров, пожару был присвоен третий номер сложности. В результате ЧП пострадал один человек» [16]. «24 апреля 2020 года в Перми на территории завода «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» при подготовке емкости не кондиции к проведению ремонтных работ на одной из установок произошло возгорание. Никто не пострадал» [16]. «12 июня 2020 года в Нижневартовске в ХМАО на нефтеперерабатывающем предприятии произошло возгорание на выведенном

из эксплуатации резервуаре, который находился на плановом ремонте. Загорелись незначительные остатки нефтепродуктов. В результате пострадали двое сотрудников, находившихся рядом с объектом» [16]. «22 декабря 2020 года в Комсомольске-на-Амуре на нефтеперерабатывающем заводе произошел пожар, площадь возгорания составила около 50 квадратных метров. Никто не пострадал» [16].

«25 января 2021 года в Уфе (Башкирия) произошел крупный пожар на установке по переработке газа на нефтехимическом заводе «Уфаоргсинтез». Одна емкость с нефтепродуктами была полностью разрушена, вторая получила сильные повреждения. В результате ЧП один человек погиб, один был госпитализирован в состоянии средней тяжести» [16]. «6 марта 2021 года в Тутаевском районе Ярославской области произошел пожар на нефтеперерабатывающем заводе имени Менделеева. Загорелись две емкости с горючим объемом 600 кубических метров. При пожаре никто не пострадал» [16]. «5 февраля 2021 года на Уфимском нефтеперерабатывающем заводе произошел пожар из-за разгерметизации трубопровода. Высота факельного горения достигла 10 метров» [16]. «27 мая 2021 года в Алексеевском районе Самарской области произошел пожар на территории Первомайского месторождения, которое принадлежит ООО «Регион-Нефть». Загорелся резервуар с нефтешламом объемом 300 кубических метров. Возгорание удалось потушить» [16].

«4 января 2022 года в Тюмени на Антипинском нефтеперерабатывающем заводе произошло горение одной из секций установки глубокой переработки мазута. Погибших и пострадавших не было. Пожар был локализован, эвакуация не проводилась» [16]. «1 марта 2022 года в Рязани на территории Рязанской нефтеперерабатывающей компании на площади 100 квадратных метров загорелась установка. При пожаре пострадали два человека, они были госпитализированы. Производственный процесс на заводе не прекращался» [16]. «22 марта 2022 года на нефтебазе «Лукойла» в Кстовском районе Нижегородской области загорелись семь

бензовозов. В каждом из них находилось около 30 кубических метров нефтепродуктов. Возгорание произошло при наливке бензовоза, жертв и пострадавших нет» [16].

По данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, основной причиной пожаров являются «ошибки персонала эксплуатирующих и сервисных организаций, связанные с несоблюдением требований законодательства в области промышленной безопасности при ведении технологического процесса, техническом обслуживании и ремонте основного технологического и вспомогательного оборудования, в том числе при организации и проведении газоопасных и огневых работ, повлекшие разгерметизацию и разрушение технических устройств (оборудования) и сооружений на опасных производственных объектах» [2]. За последние годы в нашей стране наблюдается позитивная тенденция: сокращение количества пожаров на предприятиях НПК, возникающих по причине человеческого фактора.

1.2 Анализ законодательных и нормативных документов по пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов

Правила пожарной безопасности при работе с нефтепродуктами не сводятся к одному документу, регламентирующему конкретную область. Они охватывают целый набор нормативных правовых актов разных уровней, включая федеральные и региональные. В итоге, формируется отдельная ветвь российского законодательства – законодательство о пожарной безопасности.

Базовые принципы юридического регулирования, экономической поддержки и социальной организации мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на территории нашей страны устанавливаются Федеральным законом от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [43]. Этот же нормативный акт регулирует «отношения между органами государственной власти, органами местного

самоуправления, общественными объединениями, юридическими лицами, должностными лицами, гражданами» [43] в области пожарной безопасности.

Следовательно, согласно положениям Закона [43], установлены базовые принципы обеспечения пожарной безопасности при организации производственных процессов, связанных с нефтепродуктами. Данный Закон [43] регулирует важнейшие моменты взаимодействия между участниками нефтегазовой отрасли и различными организациями, в числе которых: государственные структуры, местные органы власти, а также служащие соответствующих государственных ведомств, ответственные за пожарную безопасность, и прочие заинтересованные стороны.

Законом (ст. 1) [43] вводятся основные понятия в указанной области. Такие как, пожарная безопасность определяется как «состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров» [43], а требования пожарной безопасности как «специальные условия социального и (или) технического характера, установленные в целях обеспечения пожарной безопасности федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, а также нормативными документами по пожарной безопасности» [43]. Закон [43] уточняет, что под противопожарным режимом понимается «совокупность установленных нормативными правовыми актами всех уровней требований пожарной безопасности, определяющих правила поведения людей, порядок организации производства и (или) содержания территорий и различных объектов защиты для обеспечения на них пожарной безопасности» [43].

Поскольку пожары и взрывы, возникающие при обращении с нефтепродуктами, причисляются к техногенным авариям, представляющим собой потенциальную угрозу для здоровья и жизни граждан, а также для окружающей среды, то правовые аспекты пожарной безопасности при их применении подлежат урегулированию в соответствии с российским законодательством, касающегося технического регулирования. Основа его –

Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ «О техническом регулировании» [44].

Важнейшее значение имеет принятый как федеральный закон Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [45], который «определяет основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности и устанавливает минимально необходимые требования пожарной безопасности к объектам защиты (продукции), в том числе к зданиям и сооружениям, производственным объектам, пожарно-технической продукции и продукции общего назначения» [45].

Относительно темы хранения нефтепродуктов в Техническом регламенте [45] определены категории складов нефти и нефтепродуктов, где указаны максимальный объем одного резервуара и общая вместимость склада, установлены противопожарные расстояния от зданий и сооружений складов нефти и нефтепродуктов до граничащих с ними объектов защиты, в зависимости от категории склада.

Для исключения разлива нефти и нефтепродуктов на территории населенных пунктов, организаций, на пути железных дорог общей сети или в водоем при аварии резервуаров следует предусматривать дополнительные мероприятия, если резервуарные парки нефти и нефтепродуктов размещены «на площадках, имеющих более высокие отметки по сравнению с отметками территорий соседних населенных пунктов, организаций и путей железных дорог общей сети, расположенных на расстоянии до 200 метров от резервуарного парка, а также при размещении складов нефти и нефтепродуктов у берегов рек на расстоянии 200 и менее метров от уреза воды (при максимальном уровне)» [45]. Итак, видится более целесообразным располагать емкости для нефтепродуктов на участках, расположенных ниже, чем все прочие объекты на территории предприятия. При этом, «территории складов нефти и нефтепродуктов должны быть ограждены продуваемой оградой из негорючих материалов высотой не менее 2 метров» [45] и «вдоль границ лесных насаждений лесничеств со складами нефти и нефтепродуктов

должны предусматриваться шириной не менее 5 метров наземное покрытие из материалов, не распространяющих пламя по своей поверхности, или вспаханная полоса земли» [45].

Государственные органы власти, действуя в рамках предоставленных им полномочий по формированию правовых норм и стремясь предотвратить в жизнь положения федеральных законов, наделены правом выпускать подзаконные акты. Эти акты призваны регулировать вопросы, связанные с обеспечением пожарной безопасности. Значительный объем властных полномочий, определяющих выпуск нормативно-правовых документов, регулирующих вопросы пожарной безопасности, отнесен к сфере ответственности федеральных органов исполнительной власти. В частности, в статье 20 Закона [43] закреплено, что «нормативные правовые акты федеральных органов исполнительной власти, устанавливающие требования пожарной безопасности, разрабатываются в порядке, установленном Правительством Российской Федерации» [43]. Чаше остальных нормотворческие полномочия в области установления правил хранения нефтепродуктов реализует МЧС России как федеральный орган исполнительной власти, в зону ответственности которого входит решение задач в области пожарной безопасности. Также Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) заинтересована в развитии и укреплении нормативно-правовой базы отрасли как осуществляющая функции по контролю и надзору в сфере промышленной безопасности, безопасности производства, хранения и применения взрывчатых материалов промышленного назначения, а также специальные функции в области государственной безопасности в указанной сфере. Особое место среди подзаконных актов в области пожарного законодательства занимает Приказ Ростехнадзора от 15 декабря 2020 г. № 529 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности складов нефти и нефтепродуктов» [24], которые «устанавливают требования, направленные

на обеспечение промышленной безопасности на опасных производственных объектах складов нефти и нефтепродуктов» [24].

В нормативном документе [24] определены нормы и правила, направленные на поддержание безопасного функционирования опасных производственных объектов, предназначенных для хранения нефти и нефтепродуктов. Речь идет о промбезопасности комплексов, инженерно-технического обеспечения данных объектов, а также о процедурах проведения работ, техобслуживания и ремонта технологического оборудования, резервуарного парка, технологических трубопроводов и инженерных систем, размещенных на этих объектах. Как раз все то, как описывалось выше, что может стать причиной пожара при несоблюдении.

Особо следует отметить и приказ МЧС России от 26 декабря 2013 г. № 837 «Об утверждении свода правил «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности» [17], а также приказ МЧС России от 17 июня 2015 г. № 302 «Об утверждении свода правил «Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности» [18]. Приказ [18] уточняет требования пожарной безопасности на вновь строящиеся и реконструируемые объекты обустройства нефтяных и газовых месторождений. Приказ [17] регламентирует правила размещения объектов на нефтебазах, где хранятся нефть и нефтепродукты. Это необходимо для соблюдения всех норм пожарной безопасности. Кроме того, в приказе прописаны особые требования к организации работы с нефтепродуктами на таких складах.

Подчеркнем существенный момент: правила пожарной безопасности при работе с нефтепродуктами не сводятся к одному документу, регламентирующему конкретную область. Они охватывают целый набор нормативных правовых актов разных уровней, включая федеральные и региональные. В итоге, формируется отдельная ветвь российского законодательства – законодательство о пожарной безопасности.

Отсутствует единый нормативный акт, детально описывающий требования к системе пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов. Сейчас указанные моменты находят свое отражение в ряде нормативных актов, каждый из которых находится в подчинении разных ведомств и обладает различной юридической значимостью. Многие вопросы и требования в этих документах дублируются, а некоторые содержатся только в одном из них. Например, категории складов для хранения нефти и нефтепродуктов, а также противопожарные расстояния, указаны и в Техническом регламенте о пожарной безопасности [45] и в Приказе от 26 декабря 2013 г. № 837 [17]. В связи с этим, возникает необходимость в проведении скрупулезного анализа обширного объема документации. Из каждой единицы требуется извлечь и зафиксировать исключительно уникальные конкретные требования, касающиеся противопожарной безопасности.

Выводы по первому разделу

Подводя итог, хочется отметить, в научных публикациях приведены основные сведения о составе, физико-химических свойствах нефти и продуктов её переработки. Дан анализ пожарной опасности основных технологических процессов, типового оборудования нефтеперерабатывающих заводов. Описаны противопожарные мероприятия для резервуарных парков и других объектов нефтеперерабатывающих заводов. Ученые заложили научные основы обеспечения пожарной безопасности производств, став инициаторами научных исследований по актуальным проблемам противопожарной защиты производственных объектов. Знание характеристик пожарной опасности, присущих технологическим процессам, критически важно для аргументирования выбора мер пожарной профилактики. Это касается и строительства, и эксплуатации электрооборудования, и планирования проведения тушения пожаров на предприятиях нефтепереработки.

Развитие технологии позволило за последние годы существенно уменьшить число опасных происшествий в нефтегазовой отрасли. Несмотря на осуществление обширного комплекса мероприятий по обеспечению пожарной безопасности резервуарных парков в них происходят пожары как у нас в стране, так и за рубежом. Этот факт свидетельствует о необходимости дальнейшего усовершенствования противопожарной безопасности данных объектов.

Множество научных работ обращается к изучению проблемы пожаров, а также к анализу текущего состояния резервуарных парков, предназначенных для хранения нефти и нефтепродуктов на территории России, анализу специфики обеспечения пожарной безопасности в подобных зонах. Поднимается вопрос о необходимости установления причинно-следственных связей. Ведь, игнорирование правил пожарной безопасности приводит к ежегодному нанесению ущерба зданиям, сооружениям, и, что еще важнее, к ущербу жизни и здоровью людей. В связи с этим, ключевое значение приобретает комплекс мер, направленных на профилактику чрезвычайных ситуаций. Вопреки распространенному убеждению о непредсказуемости подобных происшествий, опыт показывает, что большинство из них можно предотвратить.

Анализ пожаров на предприятиях нефтехранения позволяет выделить ключевой момент: почти все из них обусловлены сложным взаимодействием нескольких факторов. Каждый из этих факторов по отдельности не может стать причиной серьезного пожара, но их одновременность (сочетаемость) приводит к катастрофическим результатам.

Из приведенных выше данных вполне очевидно следует вывод о том, что основная причина лежит в человеческом факторе – ошибках персонала.

Таким образом, не теряющие актуальности вопросы обеспечения пожарной безопасности на складах нефтяного сектора, в частности нефтебаз и резервуарных парков, затрагиваются авторами публикаций с тем, чтобы

руководство, инженерный персонал, проектировщики и непосредственные исполнители работ могли четко понимать все процессы и решения.

Требования к обеспечению пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов определяются федеральными, отраслевыми нормативами и правилами.

Законодательство Российской Федерации в области пожарной безопасности постоянно совершенствуется. Практически ежегодно обновляется редакция основополагающего Федерального закона от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [43]. За последние три года одиннадцать раз вносились поправки в данный закон, последние из которых вступили в силу 17 апреля 2024 года. Изменялся и дополнялся три раза за эти годы и Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [45].

С целью актуализации требований за последние три года осуществлен пересмотр стандартов: ГОСТ 17032-2022 (действует с 01 сентября 2022 года взамен ГОСТ 17032-2010) [8], ГОСТ 31385-2023 (действует с 01 август 2023 года взамен ГОСТ 31385-2016) [9], СП 485.1311500.2020 (введен взамен СП 5.13130.2009) [37]. Росстандарт зарегистрировал 20 февраля 2024 года и с 1 марта 2024 года ввел в действие, разработанное ФГБУ ВНИИПО МЧС России и утвержденное приказом МЧС России от 29 декабря 2023 года № 1384, изменение № 2 к своду правил СП 155.13130.2014 [34].

С 1 января 2021 года вступили в силу тридцать восемь Федеральных норм и правил от Ростехнадзора по промышленной безопасности, в частности, применительно к теме – приказ Ростехнадзора от 15 декабря 2020 г. № 529 [24]. В период с 2022 по 2023 год, для обеспечения соблюдения требований Федеральных норм и правил в сфере промышленной безопасности, Ростехнадзор провел работу по обновлению, дополнению и совершенствованию положений других нормативных правовых актов и документов, касающихся анализа риска возникновения аварийных ситуаций при функционировании опасных производственных объектов, к которым

относятся резервуары для нефти и нефтепродуктов, а именно приказы: от 3 ноября 2022 года № 387 [25], от 28 ноября 2022 года № 414 [26], от 29 декабря 2022 года № 475 [27], от 10 января 2023 г. № 4 [28] – признав утратившими силу, соответственно, приказы: от 11 апреля 2016 года № 144, от 29 июня 2016 года № 272, от 17 июня 2016 года № 228, от 17 августа 2015 года № 317.

Таким образом, законодательно предусмотрены меры, гарантирующие надлежащую пожарную безопасность при хранении нефтепродуктов. Указанные нормы и правила подлежат обязательному учету на этапах проектирования, оснащения и организации работы резервуарных парков. Каждый аспект критически важен, и пренебрежение ими влечет за собой рост пожарных угроз на подобных объектах.

2 Резервуарный парк хранения нефтепродуктов

2.1 Анализ методов решения, технологий по обеспечению пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности нефтебаз, складов горюче-смазочных материалов предприятий регламентируют официальные документы. Основной из них – «СП 155.13130.2014. Свод правил. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности», которым необходимо «руководствоваться при разработке нормативных документов, регламентирующих требования пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов, при проектировании, строительстве, реконструкции, техническом перевооружении и ликвидации складов нефти и нефтепродуктов» [17]. В этом документе указаны значения основных параметров предприятий, например:

- разделение на категории складов «в зависимости от их общей вместимости и максимального объема одного резервуара» [17];
- минимальные расстояния до объектов, примыкающих к зданиям и с сооружениям складов нефти и нефтепродуктов;
- расстояния между наземными резервуарами для хранения нефти и нефтепродуктов и строениями, сооружениями, наружными установками складов.

Так же действует «СП 18.13330.2019. Свод правил. Производственные объекты. Планировочная организация земельного участка (СНиП II-89-80 «Генеральные планы промышленных предприятий»)» [35].

«СП 485.1311500.2020. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» [37] регламентирует «проектирование установок

пожаротушения автоматических для зданий и сооружений различного назначения» [37]. «Настоящий свод правил не распространяется на проектирование установок пожаротушения автоматических: резервуаров нефтепродуктов» [37]. Данный документ рассматривает применение установок пожаротушения автоматических «для локализации или ликвидации пожаров классов А, В и класса Е» [37].

Нормы «СНиП 2.11.03-93. Склады нефти и нефтепродуктов» [31] «распространяются на склады нефти и нефтепродуктов и устанавливают противопожарные требования к ним» [31]. Согласно указанным правилам, «здания и сооружения складов нефти и нефтепродуктов должны быть I, II или IIIа степеней огнестойкости» [31].

«Склады нефти и нефтепродуктов – 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)» [17].

Обобщенное представление о классификации, согласно документа [17], представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Состав складов нефти и нефтепродуктов

Резервуар — стационарный сосуд для хранения жидкостей и газов. По определению, такие емкости не могут быть мобильными, но могут быть сборно-разборными. Их можно перевезти с места на место, но хранить содержимое допускается только в стационарном состоянии.

Нефтепродукт — углеводороды, которые получают из нефти и нефтяных газов. Это жидкое топливо, ГСМ, мазут, сырье для пластика. Они имеют разную плотность, вязкость, пожарную опасность, поэтому резервуары и емкости для них могут существенно различаться по конструкции, материалу, объему.

Повышенная пожарная опасность нефтехранилищ и нефтезаводов объясняется следующим: работа основных элементов – резервуарных парков, насосных станций, железнодорожных эстакад, обеспечивающих слив (налив), напрямую связана с транспортировкой нефтепродукта, это, в свою очередь, сопряжено с вероятностью возникновения пожароопасных смесей паров нефтепродукта с воздухом, что может произойти из-за утечек, разливов, нарушения технологического цикла.

С целью снижения негативных последствий аварийных разливов, вызванных повреждением резервуаров, резервуарные парки обычно ограничиваются защитными сооружениями: обвалованиями, стенками, поддонами. Обвалования могут сооружаться как вокруг группы резервуаров,

так и вокруг каждого резервуара. Эти преграды должны быть рассчитаны на прочность.

По схеме установки резервуары в парках могут быть:

- наземными, у которых «днище находится на уровне или выше планировочной отметки прилегающей площадки» [56];
- подземными, когда «наивысший уровень жидкости в резервуаре или разлившейся жидкости в здании или сооружении склада ниже не менее чем на 0,2 м ниже планировочной отметки прилегающей площадки (в пределах 3 м от стенки резервуара или от стен здания или сооружения)» [31].



Рисунок 3 – Примеры установки резервуаров в парках

Наиболее экономичный и распространенный вариант хранения – наземный. Остальные применяют в особых случаях. Например, заглубленные – для естественного утепления грунтом в северных районах. Подземные – для маскировки стратегических объектов.

По форме различают вертикальные цилиндрические, горизонтальные цилиндрические, прямоугольные, каплевидные резервуары.

В зависимости от материала изготовления резервуары делятся на металлические и неметаллические. Металлические сооружают преимущественно из стали, иногда из алюминия. К неметаллическим относятся железобетонные и пластмассовые резервуары.

Наибольшую распространенность получили вертикальные стальные резервуары, поскольку данная геометрическая форма обеспечивает наибольший предел прочности на разрыв, тем самым обеспечивая возможность хранения больших объемов жидкостей.

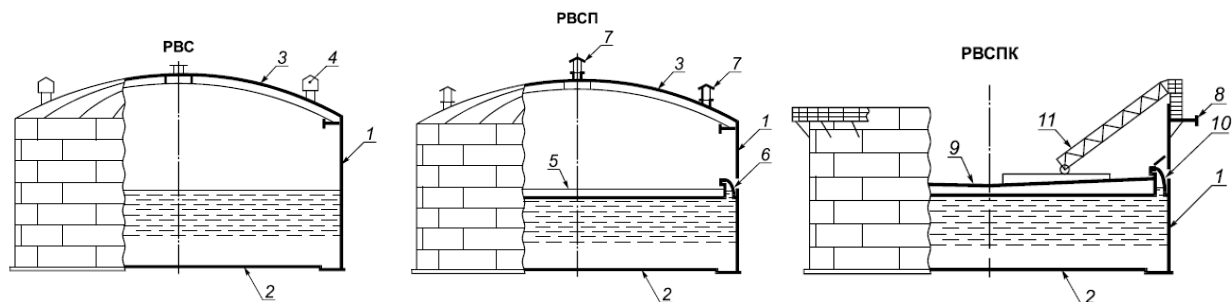
В России только два государственных стандарта, которые регулируют резервуары для нефтепродуктов:

- ГОСТ 17032-2022 «Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов», который распространяется на горизонтальные стальные резервуары объемом от 3 до 100 м³ [8];
- ГОСТ 31385-2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов» – на вертикальные цилиндрические стальные резервуары номинальным объемом от 100 до 120000 м³ [9].

Требования к проектированию, изготовлению, монтажу и испытанию вертикальных цилиндрических стальных резервуаров устанавливает ГОСТ 31385-2016 [9], определяя следующие виды:

- РВС (резервуар вертикальный стальной). Со стационарной крышей. Понтон в такой емкости отсутствует;
- РВСП (резервуар вертикальный стальной с понтоном). Со стационарно расположенной крышей. Сосуд дополнен понтоном, назначение которого – снижать испарение нефтепродукта с его зеркала. Этот элемент располагают между стационарной крышей и самим продуктом;
- РВСПК (резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей). Такие емкости не имеют стационарной крыши. Ее функции выполняет стальной диск, который плавает непосредственно по зеркалу нефти или нефтепродукта [9].

Схемы и конструктивные особенности резервуаров представлены на рисунке 4.



«1 - стенка; 2 - днище; 3 - стационарная крыша; 4 - дыхательный клапан; 5 - понтон; 6 - уплотняющий затвор; 7 - вентиляционный проем; 8 - ветровое кольцо; 9 - плавающая крыша; 10 - уплотняющий затвор с погодозащитным козырьком; 11 - катучая лестница» [9]

Рисунок 4 – Типы резервуаров

При выборе типа резервуарной емкости для хранения первостепенное значение имеют характеристики содержимого вещества: температура вспышки, давление паров при предполагаемой температуре. Также следует принимать во внимание геометрические параметры, определенные в ГОСТ 31385-2016 [9].

В зависимости от общей вместимости и максимального объема одного резервуара осуществляется категорирование складов нефти и нефтепродуктов согласно таблицы 1 [31].

Таблица 1 - Категории складов для хранения нефти и нефтепродуктов в зависимости от их общей вместимости

Категория	Максимальный объем одного резервуара, м ³	Общая вместимость склада, м ³
I	-	Более 100 000
II	-	20 000-100 000
IIIа	До 5000 включительно	10 000-20 000
IIIб	До 2000 включительно	2 000-10 000
IIIв	До 700 включительно	До 2 000

«Единичная номинальная вместимость резервуаров, суммарная допустимая номинальная емкость группы резервуаров и минимальное расстояние между резервуарами в одной группе» [31] устанавливаются согласно документа [31] и представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики групп резервуаров

Резервуары	Единичный номинальный объем резервуаров, устанавливаемых в группе, м ³	Вид хранимых нефти и нефтепродуктов	Допустимая общая номинальная вместимость группы, м ³	Минимальное расстояние между резервуарами, расположенными в одной группе
С плавающей крышей	50000 и более	Независимо от вида жидкости	200000	30 м
	Менее 50000	Независимо от вида жидкости	120000	0,5D, но не более 30 м
С понтоном	50000	Независимо от вида жидкости	200000	30 м
	Менее 50000	Независимо от вида жидкости	120000	0,65D, но не более 30 м
Со стационарной крышей	50000 и менее	Нефть и нефтепродукты с температурой вспышки выше 45°C	120000	0,75D, но не более 30 м
		Нефть и нефтепродукты с температурой вспышки 45°C и ниже	80000	0,75D, но не более 30 м

Для обеспечения пожарной безопасности и осуществления мер профилактики пожаров на складах нефти и нефтепродуктов создана и функционирует система обеспечения пожарной безопасности. «Целью создания системы обеспечения пожарной безопасности объекта защиты является предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита имущества при пожаре» [45]. В то же время «система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности» [45].

К созданию системы обеспечения пожарной безопасности для объектов, предназначенных для хранения нефти и нефтепродуктов, предъявляется внушительный набор требований и правил, основанных на нормативных документах [5], [7], [17], [23].

Действительное положение дел с пожарной безопасностью на нефтепредприятии – это комплекс мер, базирующихся на анализе риска.

Предельно-допустимые значения приемлемого пожарного риска для населения, проживающего на прилегающей к объектам нефтяной инфраструктуры территории, рассчитываются в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-2012 [6], а регламентируются Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности [45], в котором установлено, что «величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну миллионную в год» [45].

Общие положения о порядке анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах представлены в Руководстве по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденном приказом Ростехнадзора от 3 ноября 2022 г. № 387 [25]. Порядок анализа риска аварий на объектах резервуарного парка хранения горючей жидкости (нефть, нефтепродукт и т.п.) представлен в Руководстве по безопасности «Методика анализа риска на опасных производственных объектах нефтегазодобычи», утвержденном приказом Ростехнадзора от 10 января 2023 г. № 4 [28], Руководстве по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденном приказом Ростехнадзора от 28 ноября 2022 г. № 414 [26], Руководстве по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов», утвержденном приказом

Ростехнадзора от 29 декабря 2022 г. № 475 [27]. Основные этапы проведения анализа риска аварий на опасном производственном объекте приведены в п. 13 [25].

Итак, для гарантирования пожарной безопасности при складировании нефтепродуктов, требуется строго придерживаться установленных нормативов, ведь на сегодняшний день, пожарная безопасность выступает одним из самых значимых аспектов безопасности на производствах повышенной опасности.

«Для хранения нефти и нефтепродуктов применяются резервуары железобетонные, металлические, из синтетических материалов, земляные, льдогрунтовые» [30]. Наиболее используемые стальные вертикальные цилиндрические резервуары.

Проектная модель развития пожара, изучалась и практиковалась в 80-е годы, предусмотрена в документах по пожарной безопасности, описывает возникновение пожара в следствие нарушений в работе технологического оборудования или неосторожного обращения с огнем. Развитие такого пожара происходит по следующему сценарию.

Процесс возникновения пожара как правило сопровождается взрывом паровоздушной смеси в полости резервуара, оборудованного стационарной кровлей, с последующим ее частичным или полным отрывом. Далее происходит возгорание на зеркале (поверхности хранящейся в резервуаре жидкости) резервуара. Такой процесс горения формирует гомотермический (то есть прогретый) слой жидкости.

При взрыве происходит процесс горения в нефтепродуктах, содержащих парообразующие этапы: химически связную воду или подслоиную воду.

Каждый нефтепродукт имеет некоторое содержание воды, плотность которой выше плотности жидкости или приближена к ней. В следствие длительного хранения жидкости, вода отстаивается, образуя пограничный слой «нефтепродукт-вода». При длительном горении

прогретый слой достигает слоя воды, который также нагревается до температуры кипения (около 100 °С). При нагревании воды до указанной температуры происходит процесс образования парового пузыря и увеличение давления, что приводит к перемешиванию воды с нефтепродуктом и, как следствие, к вскипанию жидкости [30] .

«Основными параметрами пожаров на объектах хранения и переработки нефти и нефтепродуктов являются: площадь пожара, высота факела пламени, плотность теплового потока, скорость выгорания горючей жидкости, скорость прогрева жидкости (образование гомогенного слоя)» [30].

Несмотря на реализацию широкого комплекса мероприятий, направленных на профилактику и ликвидацию пожаров, вопросы обеспечения безопасности нефтяных резервуаров продолжают оставаться актуальными, о чем свидетельствует статистика крупных пожаров.

На данный момент наиболее полно исследована эффективность тушения пеной средней кратности, получаемых из эжекционных генераторов, таких как генераторы пены средней кратности (ГПС).

Одним из наиболее эффективных и надежных технических решений в области противопожарной защиты резервуаров хранения нефтепродуктов является устройство тушения пожаров в резервуарах при помощи перфорированного сухотруба (патент № 2425702). «После обнаружения пожара доставка огнетушащего вещества сквозь слой горючего вещества осуществляется через размещенный в резервуаре перфорированный сухотруб, состоящий из одной секции, проходящий сквозь слой горючего вещества. При этом один конец сухотруба присоединен к системе пожаротушения, а другой конец сухотруба выступает над максимальным уровнем слива жидкого горючего вещества, хранящегося в резервуаре» [46].

Недостаток данного устройства является его ориентированность лишь на ликвидацию пожара. Система не предусматривает сохранение прочности резервуара в случае взрыва внутри него, что снижает общий уровень

безопасной эксплуатации. Кроме того, существует вероятность повреждения (сжатия, деформации) перфорированного сухотруба из-за избыточного давления, возникшего при взрыве. В результате сухотруб может утратить способность эффективно распределять огнетушащее вещество при тушении, что негативно сказывается на надежности всей системы пожаротушения.

Изобретение (патент № 2773473) предназначено для минимизации последствий взрыва паров нефти или продуктов ее переработки внутри наземного металлического резервуара. Главная задача – уменьшить давление внутри емкости до уровня, при котором сварной шов, воспринимающий нагрузку, останется невредимым, обеспечивая тем самым сохранение общей прочности конструкции. Дополнительно, предусмотрена ликвидация возгорания. Это достигается за счет снижения концентрации кислорода, достигаемого посредством разбавления горючей смеси инертным газом – азотом или гелием. «Использование изобретения приводит к повышению надежности, универсальности и эффективности работы системы сохранения целостности и пожаротушения резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов при возникновении взрыва внутри резервуара и его возгорании, что соответственно повышает безопасность при эксплуатации резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов любой конструкции» [47].

Другой способ и устройство для тушения нефтепродуктов в резервуаре (патент № 2429082) состоит в том, «что подачу вышеуказанной огнетушащей смеси ведут из всплывающего на поверхность горячей жидкости поплавкового распылителя. Тушение пожара организуют в три этапа» [48]. «Техническим результатом изобретения является обеспечение эффективного времени тушения, снижение удельного расхода металлоконструкции, устойчивость к взрыву паров нефти и нефтепродуктов» [48].

Изобретение (патент № 2579730) предусматривает метод ликвидации очага в резервуарах с плавающей крышей. Пеногенерирующее устройство, установленное в центре основания резервуара, подает пену под слой

горючего. Автор доказывает, что эффективность предложенного способа более чем в два раза выше существующего способа тушения пожара системой подслоного тушения пожара в резервуаре с понтоном [49].

Для решения задач автоматического тушения нефтепродуктов в вертикальных стальных резервуарах (РВС) с любыми типами крыши без участия человека возможно применение системы пожаротушения (патент № 2553956). Это достигается тем, что на телескопическом подъемнике снаружи резервуара неподвижно установлен пеногенератор и подведен рукав, который соединен с подводящим трубопроводом и резервуарами с пенообразователем и водой [50].

Тушение пожаров в резервуарах, как правило, производится с применением пены. Ее подача на горящую поверхность обеспечивается в автоматических системах пожаротушения посредством стационарных пеносливов. При тушении с использованием мобильной пожарной техники, пена направляется на очаг возгорания струей из пеногенераторов.

«При тушении резервуара путем подачи пены на слой горючего пеноподъемниками или передвижной автотехникой затрудняется доставка ее на горящую поверхность при неблагоприятных погодных условиях» [11].

В определенных обстоятельствах целесообразно использовать метод, примером которого может служить изобретение (патент № 2745857), относящееся к области пенного пожаротушения, а именно к оперативному тушению пожаров в объемных резервуарах, цехах переработки нефтепродуктов, наливных эстакадах и проливах горючего на открытых пространствах. Предложенный метод тушения пожаров резервуаров предполагает монтаж за ограждающим обвалованием резервуара стационарной или передвижной установки. Она предназначена для раздельного хранения воды и пенообразователя, а также подготовки и доставки пены. Пена генерируется с использованием твердотопливного газогенератора и подается по трубопроводу подслоного пожаротушения

внутри резервуара. Одновременно осуществляется подача пены на поверхность горящего нефтепродукта. Главное отличие заключается в том, что мобильное устройство подготовки и подачи пены, наряду с подачей в трубопровод подслоного тушения обеспечивает одновременную ее подачу в верхнюю часть резервуара автомобилем – пеноподъемником, пристыкованным к трубопроводу орошения устройства подачи пены [51].

Таким образом, в настоящее время пена является основным ключевым средством для борьбы с пожарами в резервуарах. Это обусловлено ее способностью создавать изолирующий слой на поверхности горючего вещества, обеспечивая долговременную защиту от повторного воспламенения и надежность тушения. Однако введение пены непосредственно в слой горючей жидкости оказывает влияние на сам механизм ликвидации пламени. В таких условиях формируются новые, специфические закономерности процесса тушения.

Анализ текущей практики применения традиционных средств пожаротушения выявляет потребность в создании системы, демонстрирующей подлинную эффективность в ликвидации возгораний, а также минимизирующей риски для пожарных, участвующих в борьбе с огнем. В качестве альтернативы для пожаротушения предлагается метод подслоной подачи пены низкой кратности по трубопроводной системе непосредственно в горючий слой в основание резервуара [51].

«Основным средством тушения пожаров в резервуарах является пена средней и низкой кратности» [30], подаваемая на поверхность горючей жидкости. Вместе с тем СНиП 2.11.03-93 «Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы» [31] разрешает использование подачи пены под слой нефтепродуктов, а также применение иных методов и устройств для ликвидации пожаров в резервуарах, подтвержденных данными научных изысканий и одобренных в соответствии с регламентом. «Для тушения нефти и нефтепродуктов применяются отечественные и зарубежные

пеногенераторы и пенообразователи, прошедшие сертификацию и имеющие рекомендации по их применению и хранению» [30].

«В зависимости от области применения пенообразователи в России согласно ГОСТ 4.99-83 делятся на две группы: общего и целевого назначения. Пенообразователи общего назначения (ПО-3АИ, ПО-3НП и другие) имеют углеводородную основу и предназначены для получения пены или растворов смачивателей для тушения пожаров твердых сгораемых материалов (класс А) и горючих жидкостей (класс В). Пенообразователи целевого назначения (фторированные) используются при тушении нефти, нефтепродуктов и полярных органических жидкостей» [30].

«За рубежом пенообразователи в зависимости от поверхностно-активной основы делятся на протеиновые (белковые), фторпротеиновые, синтетические (углеводородные), фторсинтетические пленкообразующие (AFFF) и фторпротеиновые пленкообразующие (FFFP)» [55].

«Пленкообразующие пенообразователи состоят из смеси углеводородного и фторуглеродного пленкообразующего поверхностно-активного вещества. Фторуглеродный компонент снижает поверхностное натяжение водного раствора пенообразователя до величины, меньшей, чем у нефтепродуктов. Вследствие этого пленка раствора, выделяющегося из пены, растекается по поверхности топлива и резко сокращает скорость его испарения. Кроме того, фторуглеродный компонент пенообразователя придает пене инертность к углеводородным жидкостям, что существенно снижает возможность загрязнения пены топливом и позволяет подавать низкократную пену в очаг пожара навесной струей или в нижнюю часть резервуара под слой нефтепродукта. Огнетушащая эффективность пены из пленкообразующих пенообразователей типа AFFF значительно выше, чем пены из синтетических (углеводородных) пенообразователей» [54].

«Огнетушащее действие воздушно-механической пены заключается в изоляции поверхности горючего от факела пламени, снижении вследствие этого скорости испарения жидкости и сокращении количества горючих

паров, поступающих в зону горения, а также в охлаждении горячей жидкости. Роль каждого из этих факторов в процессе тушения изменяется в зависимости от свойств горячей жидкости, качества пены и способа ее подачи» [30].

Механизм во многом определяется спецификой и типом возгорания, свойствами горючего материала и окружающими условиями. Выбор огнетушащего состава, методика его использования (направление подачи в очаг), необходимые объемы, скорость и интенсивность подачи, а также иные характеристики, влияющие на эффективность пожаротушения, напрямую зависят от планируемого способа и принципа прекращения горения. Именно сочетание этих аспектов определяет успех и качество ликвидации возгорания в конкретном случае.

Горят и взрываются при смешивании с воздухом и воспламенении не сами ЛВЖ и ГЖ, а их пары. При соприкосновении с воздухом начинается испарение этих жидкостей, скорость которого увеличивается при нагревании жидкостей. Слой пены, достигающий 5 см в толщину, демонстрирует способность снижать скорость испарения бензина в 35 раз. Эффективность изоляции, обеспечиваемой этим слоем, напрямую связана с его структурными особенностями и физико-химическими параметрами. Кроме того, на этот процесс оказывают влияние: толщина слоя, температура на поверхности и, конечно, химическая природа испаряющегося горючего вещества.

К преимуществам пенных огнетушащих веществ следует отнести их способность к тушению, не требующую немедленного охвата всей зоны пожара. Процесс тушения предусматривает нанесение пены на локальные очаги возгорания. Распространяясь, пена обволакивает горящую поверхность формируя защитный слой. Пена подается на поверхность горячей жидкости обычно у борта резервуара. Образующаяся при этом горка пены затем растекается по поверхности нефтепродукта, образуя слой определенной толщины и увеличивая общую толщину слоя.

Скорость растекания пены по холодному нефтепродукту стабильна и составляет 0,34 м/с. При контакте с горящим веществом скорость растекания снижается. Такое замедление объясняется разрушением пены под воздействием высокой температуры, когда интенсивность разрушения превышает скорость подача пены.

Достоинством пены также является то, что «после прекращения подачи пены при полной ликвидации горения на всей поверхности горючей жидкости образуется устойчивый пенный слой толщиной до 10 см, который в течение 2 – 3 ч защищает поверхность горючей жидкости от повторного воспламенения» [30].

Исходя из рассмотренных механизмов развития горения на объектах, для ликвидации возгорания целесообразно применять воздушно-механическую пену низкой или средней кратности. Оптимальная степень кратности будет определяться спецификой конкретного помещения или участка, нуждающегося в защите. Главным достоинством пенных составов выступает их многостороннее воздействие, заключающееся в изоляции, охлаждении и разбавлении. Это обеспечивает надежность тушения, снижение вероятности повторного воспламенения и предотвращает формирование взрывоопасных смесей, образующихся в результате соединения паров горючих веществ с воздухом.

Тушение возможного пожара обеспечивается конструктивными, объемно-планировочными, инженерно-техническими и организационными мероприятиями. К ним относятся:

- устройство пожарных проездов и подъездных путей для пожарной техники, совмещенных с функциональными проездами и подъездами;
- обустройство противопожарного водопровода, включая сухотрубы и резервуары с запасом воды (противопожарные водоемы, емкости);
- организация расположения на объекте пожарной техники, соответствующей задачам пожаротушения.

«Тушение пожара подачей пены в основание резервуара может быть осуществлено двумя способами. Первый заключается в подаче низкократной пены снизу на поверхность горящей жидкости через эластичный рукав, который защищает пену от непосредственного контакта с нефтепродуктом. Такая защита пены необходима, поскольку для ее получения применяется обычный пенообразователь общего назначения. Второй способ - подача низкократной пены непосредственно в слой горючей жидкости - стал возможным после появления фторсодержащих пленкообразующих пенообразователей, пены которых инертны к нефти и нефтепродуктам. Он является более надежным и простым в исполнении.

Преимущество подслоного способа перед традиционным, где пену подают сверху, заключается в защищенности пеногенераторов и пенопроводов от взрыва паровоздушной смеси. Важно, что при реализации подслоного способа личный состав пожарных подразделений и техника находятся за обвалованием и меньше подвергаются непосредственной опасности от выброса или вскипания горящей нефти.

При ликвидации пожаров в резервуарах, оборудованных системой подслоного тушения, подача пены низкой кратности осуществляется непосредственно в слой нефтепродукта через пенопроводы системы пожаротушения, находящиеся в нижней части резервуара, с помощью передвижной пожарной техники.

Система подслоного тушения включает протяженную линию трубопроводов для подачи пенообразующего раствора к пеногенераторам и далее низкократной пены по пенопроводам через стенку резервуара внутрь, непосредственно в нефтепродукт, через систему пенных насадков» [30].

Преимущества системы подслоного пожаротушения по сравнению с традиционной техникой пожаротушения:

- обеспечивает результативное устранение возгорания нефтяных продуктов в резервуарах, вне зависимости от степени повреждения верхних элементов конструкции;

- производительность системы остается неизменной вне зависимости от температуры внутри резервуара или времени возникновения возгорания;
- необходимость в автоматизированной системе или разветвленной линии для подачи раствора отсутствует.

Единственный путь гарантировать обеспечить надежную противопожарную защиту предприятий, специализирующихся на переработке, транспортировке и хранении нефтепродуктов, является разработка и внедрение самых современных методик и технологических решений в области пожаротушения.

2.2 Оценка последствий аварийной ситуации в резервуарном парке

Аварии в резервуарных парках с дизельным топливом, влекущие за собой чрезвычайные ситуации, представляющие опасность для населения, производственных объектов и окружающей среды – это, в первую очередь, разливы дизельного топлива, пожары и загрязнение прилегающих участков.

Чтобы предотвратить и ликвидировать подобные ЧС, необходимо провести количественную оценку риска возможных разливов, а также их последствий, основываясь на которой разработать комплекс мер, направленных на предупреждение и поддержание в режиме постоянной готовности необходимых сил и средств.

Оценка последствий аварийной ситуации в резервуарном парке с дизельным топливом требует комплексного подхода, учитывающего как непосредственные физические факторы, так и потенциальное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. В первую очередь, необходимо оценить масштабы разлива дизельного топлива, включая объем вытекшего вещества, площадь загрязнения и скорость распространения. Эти параметры напрямую влияют на тяжесть последствий и определяют стратегию реагирования.

Одним из наиболее критичных последствий становится загрязнение почвы и водных систем. Помимо этого, аварии с дизельным горючим могут способны спровоцировать пожары и взрывы, особенно в присутствии источников зажигания.

Для минимизации риска повторных инцидентов требуется провести детальное изучение причин, выявить упущения в системе безопасности и принять меры для их устранения.

Превентивные меры имеют решающее значение для недопущения возникновения аварий. Требуется осуществлять регулярное техническое обслуживание и инспекцию оборудования, разрабатывать и внедрять планы действий в чрезвычайных ситуациях, а также проводить обучение персонала правилам безопасного функционирования объекта. Вложения в профилактику всегда оказываются более рациональными, чем расходы на устранение последствий аварийных происшествий.

В соответствии со статьей 93 № 123-ФЗ [45] «величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну миллионную в год» [45].

Расчет «величин пожарного риска на производственных объектах класса функциональной пожарной опасности Ф5» [22] производят по «методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [22].

Вытекание дизельного топлива из резервуара РВС-2000 может произойти по нескольким причинам. Во-первых, это физическое повреждение металлических стенок, вызванное внешним воздействием. Во-вторых, возникновение трещин в результате коррозии металла или усталости материала, что приведет к медленному просачиванию продукта. В-третьих, разрушение фундамента резервуара, при котором содержимое моментально выльется наружу. В качестве зоны разлива следует рассматривать площадь внутри обвалования.

Произведем расчеты для резервуарного парка, в состав которого входят 2 резервуара объемом по 2000 м^3 каждый (диаметр резервуара 12 м, высота – 15,2 м). Резервуары стальные вертикальные цилиндрические с крышей без понтона. Площадь внутри обвалования парка составляет 1500 м^2 . Резервуарный парк предназначен для хранения дизельного топлива.

Данные по частотам реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для резервуаров (резервуары для хранения ЛВЖ при давлении близком к атмосферному со стационарной крышей) принимались в соответствии с [22] и указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Частоты реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий

Наименование оборудования	Инициирующее аварийно событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при единичном объеме 450 м^3 и более)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25	$8,8 \times 10^{-5}$
		100	$1,2 \times 10^{-5}$
		Полное разрушение	$5,0 \times 10^{-6}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ со стационарной крышей	Пожар по всей поверхности резервуара	-	$9,0 \times 10^{-5}$

Условные вероятности мгновенного воспламенения и условные вероятности последующего воспламенения при отсутствии мгновенного, а также условные вероятности сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении в зависимости от типа утечки принимались по [22] и указаны в таблице 4.

Таблица 4 – Условные вероятности воспламенения

Массовый расход истечения, кг/с		Условная вероятность мгновенного воспламенения	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения	Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении
Диапазон	Номинальное среднее значение			
Большой (>50)	100	0,040	0,042	0,050
Полный разрыв	Не определено	0,050	0,061	0,100

Данные по вероятности успешного срабатывания различных систем противоаварийной и противопожарной защиты принята в соответствии с таблицей П 2.2 [52],[53] и принимается равной 0,5.

Максимальная повторяемость штиля на территории г. Лесного Свердловской области составляет 0,1.

Анализ происшествий с пожарами и взрывами при нефтехраниении, к которым относится рассматриваемый в настоящем примере резервуарный парк, дает возможность выявить повторяющиеся моменты в возникновении и развитии пожарных ситуаций. Установлено, что аварии с возгораниями и взрывами, как правило, являются следствием развития ситуаций по следующей типовой схеме:

- в результате нарушения герметичности оборудования происходит истечение горючих продуктов в окружающее пространство;
- вышедшие горючие продукты либо воспламеняются, либо создают обширную зону газопаровоздушной смеси с взрывоопасной концентрацией горючего;
- количество выходящего продукта и масштабы пожара увеличиваются со временем, принося большой материальный ущерб.

Перечень рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров, а также сценариев их развития приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Сценарии развития пожароопасных ситуаций

Пожароопасная ситуация	Сценарий развития	Полученные расчеты частоты реализации
Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование (диаметр отверстия истечения 25 мм)	Сценарий 1. Пожар пролива дизельного топлива в обваловании без возникновения вторичного пожара по всей поверхности резервуара № 1	$1,7 \cdot 10^{-7}$
	Сценарий 2. Пожар пролива дизельного топлива в обваловании с возникновением вторичного пожара по всей поверхности резервуара № 1	$1,7 \cdot 10^{-7}$
	Сценарий 3. Пожар пролива дизельного топлива в обваловании с возникновением вторичного пожара по всей поверхности резервуара № 2	$1,7 \cdot 10^{-7}$
	Сценарий 4. Пожар пролива дизельного топлива в обваловании с возникновением вторичных пожаров по всей поверхности резервуаров № 1 и № 2	$1,7 \cdot 10^{-7}$
	Сценарий 5. Взрыв паровоздушного облака	$3,5 \cdot 10^{-8}$
	Сценарий 6. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$3,2 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование (диаметр отверстия истечения 100 мм)	Сценарий 7. Пожар пролива дизельного топлива в обваловании без возникновения вторичного пожара по всей поверхности резервуара № 1	$2,3 \cdot 10^{-7}$
	Сценарий 8. Пожар пролива дизельного топлива в обваловании с возникновением вторичного пожара по всей поверхности резервуара № 1	$2,3 \cdot 10^{-7}$
	Сценарий 9. Пожар пролива дизельного топлива в обваловании с возникновением вторичного пожара по всей поверхности резервуара № 2	$2,3 \cdot 10^{-7}$
	Сценарий 10. Пожар пролива дизельного топлива в обваловании с возникновением вторичных пожаров по всей поверхности резервуаров № 1 и № 2	$2,3 \cdot 10^{-7}$

Продолжение таблицы 5

Пожароопасная ситуация	Сценарий развития	Полученные расчеты частоты реализации
	Сценарий 11. Взрыв паровоздушного облака	$4,8 \cdot 10^{-9}$
	Сценарий 12. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$4,4 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением	Сценарий 13. Пожар пролива дизельного топлива в обваловании без возникновения вторичных пожаров	$2,6 \cdot 10^{-7}$
	Сценарий 14. Пожар пролива дизельного топлива в обваловании с последующим возгоранием резервуара № 2	$2,6 \cdot 10^{-7}$
	Сценарий 15. Взрыв паровоздушного облака	$2,9 \cdot 10^{-8}$
	Сценарий 16. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$2,6 \cdot 10^{-7}$
Возникновение пожара резервуара по всей поверхности	Сценарий 17. Пожар резервуара №1 по всей поверхности (зеркало и обвалование) без последующего пожара	$4,5 \cdot 10^{-7}$
	Сценарий 18. Пожар резервуара №1 по всей поверхности (зеркало и обвалование) с последующим возгоранием резервуара № 2	$4,5 \cdot 10^{-7}$

Частота реализации сценариев:

– № 1:

$$Q_1 = Q_{\text{разгерм.рез.25мм}} \cdot (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{сраб.}} \cdot P_{\text{сраб.}} \quad (1)$$

$$Q_1 = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot (0,04 + (1 - 0,04) \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,042) \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 1,7 \cdot 10^{-7}$$

– № 2:

$$Q_2 = Q_{\text{разгерм.рез.25мм}} \cdot (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \times$$

$$\times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{сраб.}}) \cdot P_{\text{сраб.}} \cdot \quad (2)$$

$$Q_2 = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot (0,04 + (1 - 0,04) \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,042) \cdot (1 - 0,5) \cdot 0,5 = 1,7 \cdot 10^{-7}$$

– № 3:

$$Q_3 = Q_{\text{разгерм.рез.25мм}} \cdot (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{сраб.}} \cdot (1 - P_{\text{сраб.}}) \cdot \quad (3)$$

$$Q_3 = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot (0,04 + (1 - 0,04) \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,042) \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5) = 1,7 \cdot 10^{-7}$$

– № 4:

$$Q_4 = Q_{\text{разгерм.рез.25мм}} \cdot (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{сраб.}}) \cdot (1 - P_{\text{сраб.}}) \cdot \quad (4)$$

$$Q_4 = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot (0,04 + (1 - 0,04) \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,042) \cdot (1 - 0,5) \cdot (1 - 0,5) = 1,7 \cdot 10^{-7}$$

– № 5:

$$Q_5 = Q_{\text{разгерм.рез.25мм}} \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \cdot P_{\text{штиля}} \times \\ \times P_{\text{обр.изб.давл.}} \cdot \quad (5)$$

$$Q_5 = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot (1 - 0,04) \cdot 0,1 \cdot 0,042 \cdot 0,1 = 3,5 \cdot 10^{-8}$$

– № 6:

$$Q_6 = Q_{\text{разгерм.рез.25мм}} \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \cdot P_{\text{штиля}} \times \\ \times (1 - P_{\text{обр.избыт.давл.}}) \cdot \quad (6)$$

$$Q_6 = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot (1 - 0,04) \cdot 0,1 \cdot 0,042 \cdot (1 - 0,1) = 3,2 \cdot 10^{-7}$$

– № 7:

$$Q_7 = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} \cdot (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{сраб.}} \cdot P_{\text{сраб.}} \cdot \quad (7)$$

$$Q_7 = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (0,04 + (1 - 0,04) \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,042) \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 2,3 \cdot 10^{-7}$$

– № 8:

$$Q_8 = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} \cdot (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{сраб.}}) \cdot P_{\text{сраб.}} \cdot \quad (8)$$

$$Q_8 = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (0,04 + (1 - 0,04) \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,042) \cdot (1 - 0,5) \cdot 0,5 = 2,3 \cdot 10^{-7}$$

– № 9:

$$Q_9 = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} \cdot (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{сраб.}} \cdot (1 - P_{\text{сраб.}}) \cdot \quad (9)$$

$$Q_9 = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (0,04 + (1 - 0,04) \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,042) \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5) = 2,3 \cdot 10^{-7}$$

– № 10:

$$Q_{10} = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} \cdot (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{сраб.}}) \cdot (1 - P_{\text{сраб.}}) \cdot \quad (10)$$

$$Q_{10} = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (0,04 + (1 - 0,04) \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,042) \cdot (1 - 0,5) \cdot (1 - 0,5) = 2,3 \cdot 10^{-7}$$

– № 11:

$$Q_{11} = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \cdot P_{\text{штиля}} \times \\ \times P_{\text{обр.изб.давл.}} \cdot \quad (11)$$

$$Q_{11} = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (1 - 0,04) \cdot 0,1 \cdot 0,042 \cdot 0,1 = 4,8 \cdot 10^{-9}$$

– № 12:

$$Q_{12} = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \cdot P_{\text{штиля}} \times \\ \times (1 - P_{\text{обр.избыт.давл.}}) \cdot \quad (12)$$

$$Q_{12} = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (1 - 0,04) \cdot 0,1 \cdot 0,042 \cdot (1 - 0,1) = 4,4 \cdot 10^{-8}$$

– № 13:

$$Q_{13} = Q_{\text{полн.разр.рез.}} \cdot (P_{\text{мгн.воспл.рез.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.рез.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.рез.}}) \cdot P_{\text{сраб.}} \cdot \quad (13)$$

$$Q_{13} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (0,05 + (1 - 0,05) \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,061) \cdot 0,5 = 2,6 \cdot 10^{-7}$$

– № 14:

$$Q_{14} = Q_{\text{полн.разр.рез.}} \cdot (P_{\text{мгн.воспл.рез.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.рез.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \times P_{\text{посл.воспл.рез.}}) \cdot (1 - P_{\text{сраб.}}) \cdot \quad (14)$$

$$Q_{14} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (0,05 + (1 - 0,05) \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,061) \cdot (1 - 0,5) = 2,6 \cdot 10^{-7}$$

– № 15:

$$Q_{15} = Q_{\text{полн.разр.рез.}} \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.рез.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.рез.}} \cdot P_{\text{штиля}} \times P_{\text{обр.изб.давл.}} \cdot \quad (15)$$

$$Q_{15} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - 0,05) \cdot 0,1 \cdot 0,061 \cdot 0,1 = 2,9 \cdot 10^{-8}$$

– № 16:

$$Q_{16} = Q_{\text{полн.разр.рез.}} \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.рез.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.рез.}} \cdot P_{\text{штиля}} \times (1 - P_{\text{обр.изб.давл.}}) \cdot \quad (16)$$

$$Q_{16} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - 0,05) \cdot 0,1 \cdot 0,061 \cdot (1 - 0,1) = 2,6 \cdot 10^{-7}$$

– № 17:

$$Q_{17} = Q_{\text{пож.пов.рез.}} \cdot P_{\text{сраб.}} \cdot \quad (17)$$

$$Q_{17} = 9 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 = 4,5 \cdot 10^{-7}$$

– № 18:

$$Q_{18} = Q_{\text{пож.пов.рез.}} \cdot (1 - P_{\text{сраб.}}) \cdot \quad (18)$$

$$Q_{18} = 9 \cdot 10^{-5} \cdot (1 - 0,5) = 4,5 \cdot 10^{-7}$$

Оценка опасных факторов пожара проводится по методике [22].

Для рассматриваемых сценариев согласно методики [22] учитываются следующие факторы:

– «тепловое излучение при пожарах проливов и резервуаров;

- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газопаровоздушной смеси;
- расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки» [22].

Расчет оценки параметров процесса при истечении жидкости.

«Массовый расход жидкости G (кг/с) через отверстие во времени t (с) определяется по формуле:

$$G(t) = G_0 \cdot \frac{p \cdot g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2}{A_R} \cdot t, \quad (19)$$

где G_0 – массовый расход в начальный момент времени, кг/с, определяемый по формуле:

$$G_0 = \mu \cdot p \cdot A_{hol} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_0 - h_{hol})}, \quad (20)$$

где p – плотность жидкости, кг/м³ (860 кг/м³);

g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²);

μ – коэффициент истечения (0,8);

A_{hol} – площадь отверстия, м² (0,001 м²);

h_{hol} – высота расположения отверстия, м (5 м);

A_R – площадь сечения резервуара, м² (113,1 м²);

h_0 – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м (12 м)» [22].

«Высота столба жидкости в резервуаре h (м) в зависимости от времени t определяется по формуле» [22]:

$$h(t) = h_0 - \frac{G_0}{p \cdot A_R} \cdot t + \frac{g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2 \cdot t^2}{2 \cdot A_R^2}. \quad (21)$$

$$G(t) = 8,05 \cdot \frac{860 \cdot 9,8 \cdot 0,8^2 \cdot 0,001^2}{113,1} \cdot 3600 = 1,39 \text{ кг/с}$$

$$G_0 = 0,8 \cdot 860 \cdot 0,001 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot (12 - 5)} = 8,05 \text{ кг/с}$$

$$h(t) = 12 - \frac{8,05}{860 \cdot 113,1} \cdot 3600 + \frac{9,8 \cdot 0,8^2 \cdot 0,001^2 \cdot 3600^2}{2 \cdot 113,1^2} = 11,7 \text{ м}$$

«Количество поступивших в окружающее пространство горючих веществ, которые могут образовать взрывоопасные газопаровоздушные смеси или проливы горючих сжиженных газов, ЛВЖ и ГЖ на подстилающей поверхности, определяется исходя из следующих предпосылок:

г) в качестве расчетной температуры при пожароопасной ситуации с наземно расположенным оборудованием следует принимать максимально возможную температуру воздуха в соответствующей климатической зоне в наиболее теплое время года;

д) длительность испарения жидкости с поверхности пролива принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с» [22].

Значит, расчетная температура принимается равной максимально возможной температуре воздуха в климатической зоне размещения объекта (Свердловская область, г. Лесной) $+35^{\circ}\text{C}$, а длительность испарения дизельного топлива с поверхности пролива принимается равной 3600 с.

Расчет оценки параметров процесса при разгерметизации наземного резервуара.

«Масса жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, определяется по формуле:

$$m_a = \rho_L \cdot V_R, \quad (22)$$

где m_a – масса жидкости, кг;

ρ_L – плотность жидкости, кг/м^3 (860 кг/м^3);

V_R – объем жидкости в резервуаре, м^3 (2000 м^3)» [22].

$$m_a = 860 \cdot 2000 = 1720000 \text{ кг}$$

«При проливе на неограниченную поверхность площадь пролива $F_{\text{ПР}} (\text{м}^2)$ жидкости определяется по формуле:

$$F_{\text{ПР}} = f_p \cdot V_{\text{Ж}}, \quad (23)$$

где f_p – коэффициент разлития, м^{-1} (при отсутствии данных следует принимать равным 20 м^{-1} при проливе на спланированное грунтовое покрытие);

$V_{\text{ж}}$ – объем жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, м^3 » [22].

$$F_{\text{ПР}} = 20 \cdot 1160 = 23200 \text{ м}^2$$

Расчет оценки параметров процесса испарения дизельного топлива со свободной поверхности в резервуаре.

«В случае наполнения резервуара масса паров определяется по формуле:

$$m_V = p_V \cdot V_R \cdot \frac{P_H}{P_0}, \quad (24)$$

где

$$p_V = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_0)}, \quad (25)$$

где m_V – масса выходящих паров ЛВЖ, кг;

p_V – плотность паров ЛВЖ, $\text{кг}/\text{м}^3$;

P_H – давление насыщенных паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа (0,17 кПа);

P_0 – атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101);

V_R – геометрический объем паровоздушного пространства резервуара (при отсутствии данных следует принимать равным геометрическому объему резервуара), м^3 (2000 м^3);

M – молярная масса паров ЛВЖ, $\text{кг}/\text{кмоль}$ ($203,6 \text{ кг}/\text{кмоль}$);

V_0 – мольный объем, равный $22,413 \text{ м}^3/\text{кмоль}$;

t_0 – расчетная температура, $^{\circ}\text{C}$ (35°C)» [22].

$$m_V = 8,05 \cdot 2000 \cdot 0,17/101 = 27,048 \text{ кг}$$

$$p_V = 203,6 / 22,413 \cdot (1+0,00367 \cdot 35) = 8,05 \text{ кг/м}^3$$

Давление насыщенных паров дизельного топлива при расчетной температуре:

$$P_H = 10^{(A - \frac{B}{t_p + C_A})}, \quad (26)$$

где A, B, C_A – константы уравнения Антуана;

t_p – расчетная температура, $^{\circ}\text{C}$ (35°C).

$$P_H = 10^{5,00109 - (1314,04 : (35 + 192,473))} = 0,17 \text{ кПа}$$

Разгерметизация резервуара (для всех типов утечек, кроме полного разрушения) приводит к истечению всего содержимого дизельного топлива с образованием пролива, ограниченного обвалованием. При расчете количества испарившегося с поверхности пролива дизельного топлива для указанных пожароопасных ситуаций площадь поверхности испарения (F_R) оценивалась площадью внутри обвалования и принималась равной 1500 м^2 .

«Масса паров ЛВЖ при испарении со свободной поверхности в резервуаре определяется по формуле:

$$m_V = G_V \cdot t_E, \quad (27)$$

где G_V – расход паров ЛВЖ, кг/с, который определяется по формуле:

$$G_V = F_R \cdot W, \quad (28)$$

где t_E – время поступления паров из резервуара, с (3600 с);

F_R – максимальная площадь поверхности испарения ЛВЖ в резервуаре, м^2 (1500 м^2);

W – интенсивность испарения ЛВЖ, $\text{кг/м}^2\text{с}$ ($2,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2\text{с}$)» [22].

$$m_V = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 = 12,96 \text{ кг}$$

$$G_V = 1500 \cdot 2,4 \cdot 10^{-6} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Расчет оценки параметров давления при взрыве резервуара с перегретой жидкостью.

«Избыточное давление ΔP и импульс I^+ в волне давления, образующиеся при взрыве резервуара с перегретой ЛВЖ, ГЖ в очаге пожара, определяются по формулам:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(0,8 \cdot \frac{m_{\text{ПР}}^{0,33}}{r} + 3 \cdot \frac{m_{\text{ПР}}^{0,66}}{r^2} + 5 \cdot \frac{m_{\text{ПР}}}{r^3} \right), \quad (29)$$

$$I^+ = 123 \cdot \frac{m_{\text{ПР}}^{0,66}}{r}, \quad (30)$$

где P_0 – атмосферное давление, кПа (при расчетах допускается принимать 101,3 кПа);

r – расстояние от геометрического центра резервуара до рассматриваемого объекта, м;

$m_{\text{ПР}}$ – приведенная масса паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, рассчитываемая по формуле:

$$m_{\text{ПР}} = M_{\text{ГП}} \cdot Z \cdot \frac{Q_H}{Q_O}, \quad (31)$$

где $m_{\text{ГП}}$ – масса паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство, кг;

Z – коэффициент участия, который допускается принимать при расчетах 0,1;

Q_H – удельная теплота сгорания пара, кДж/кг;

Q_O – константа равная $4,52 \cdot 10^3$ кДж/кг» [22].

$$m_{\text{ПР}} = 27,048 \cdot 0,1 \cdot \frac{42000}{4520} = 25,13 \text{ кг}$$

$$I^+ = 123 \cdot \frac{8,397}{20} = 51,64$$

$$\Delta P = 101,3 \cdot \left(0,8 \cdot \frac{2,89}{20} + 3 \cdot \frac{8,39}{20^2} + 5 \cdot \frac{25,13}{20^3} \right) = 19,014 \text{ кПа}$$

Аналогичным образом по формуле (29) рассчитаем избыточное давление ΔP для различных расстояний от геометрического центра резервуара до рассматриваемых объектов. Результаты расчетов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Рассчитанные значения ΔP для различных расстояний

ΔP , кПа	Расстояние, м
19,01	20
11,08	30
7,63	40
6,21	50
4,66	60
3,9	70
1,8	140

По данным таблицы 6 построен график зависимости уменьшения избыточного давления по мере удаления от эпицентра аварии, представленный на рисунке 5, и на рисунке 6 наглядно изображены зоны удаления от центра аварии.

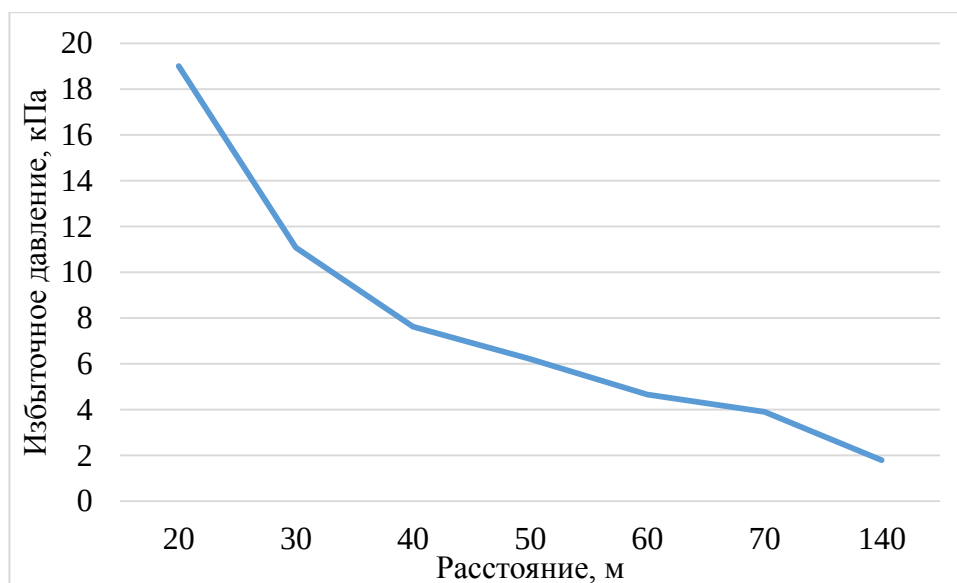


Рисунок 5 – Зависимость уменьшения избыточного давления по мере удаления от эпицентра аварии

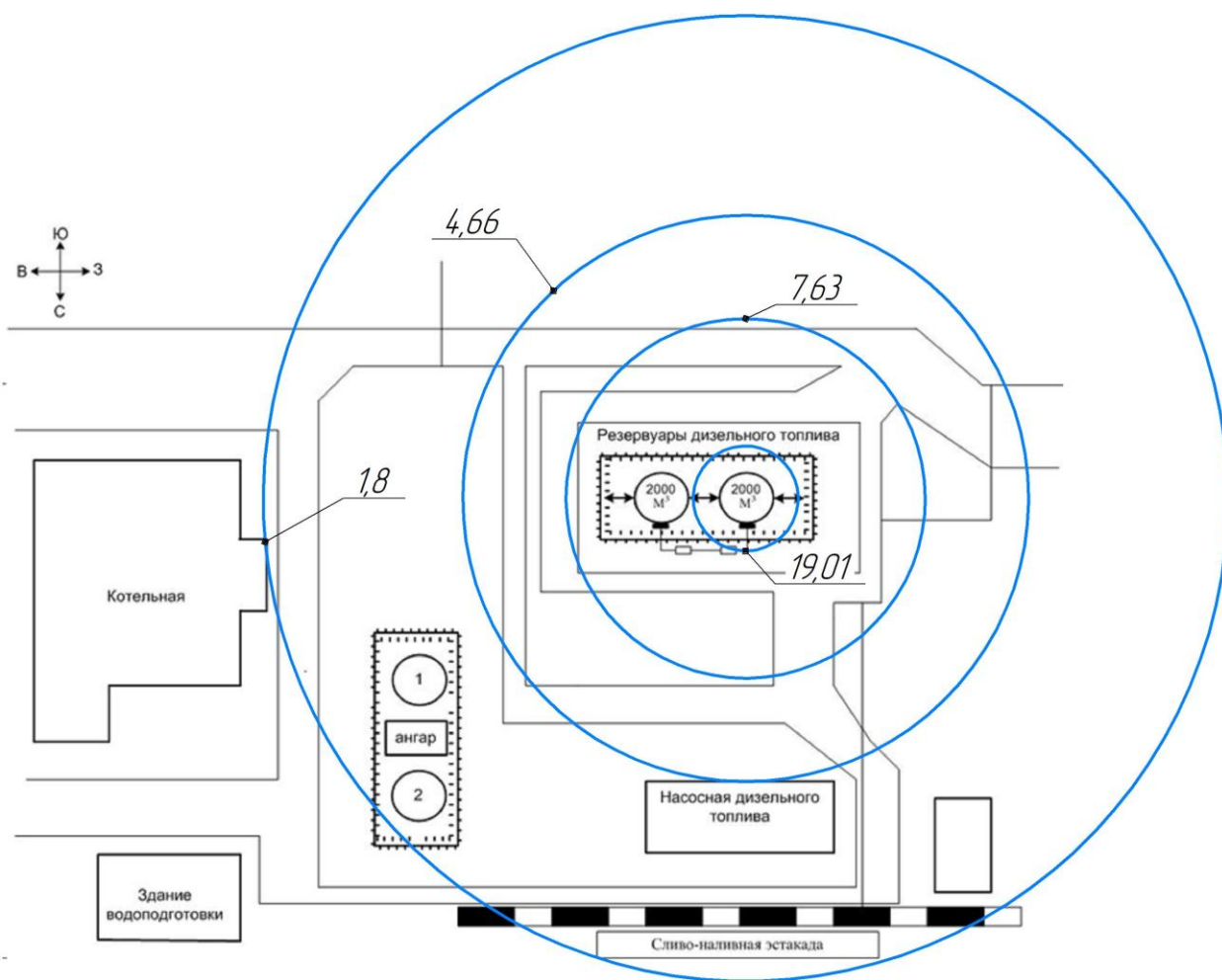


Рисунок 6 – Влияние избыточного давления по зонам удаления в резервуарном парке

По данным рисунков 5 и 6 можно по таблице П 4.1 [22] определить степень поражения волной давления и разрушения резервуаров и зданий в резервуарном парке.

В зоне максимально избыточного давления произойдет умеренное повреждение конструкции соседнего резервуара. Нижний порог повреждения волной давления может достигнуть людей, находившихся в здании насосной дизельного топлива, это же здание может получить малые повреждения, в виде разбитого остекления.

Расчет оценки параметров пожара пролива.

Площадь очага пожара (площадь пролива) в случае пожара резервуара (диаметр резервуаров 12 м) по всей поверхности принималась равной 113,1 м² в точке, расположенной на расстоянии 20 м.

«Эффективный диаметр пролива d (м) рассчитывается по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{пр}}}{\pi}}, \quad (32)$$

где F - площадь пролива, м² (113,1 м²)» [22].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 113,1}{3,14}} = 12 \text{ м}$$

Длина пламени L (м) при $u_* < 1$ определяется по формуле:

$$L = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{p_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \quad (33)$$

«где m' – удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м²·с) (0,04 кг/(м²·с);

p_a – плотность окружающего воздуха, кг/м³ (1,14 кг/м³);

g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²)» [22].

$$L = 42 \cdot 12 \cdot \left(\frac{0,04}{1,14 \cdot \sqrt{9,8 \cdot 12}} \right)^{0,61} = 15,12 \text{ м}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r' + 0,5d. \quad (34)$$

$$X = 20 + 0,5 \cdot 12 = 26 \text{ м}$$

$$a = \frac{2 \cdot L}{d}, \quad (35)$$

$$b = \frac{2 \cdot X}{d}, \quad (36)$$

$$A = \sqrt{(a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b + 1) \cdot \sin\theta)}, \quad (37)$$

$$B = \sqrt{(a^2 + (b - 1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b - 1) \cdot \sin\theta)}, \quad (38)$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta)}, \quad (39)$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1}\right)}, \quad (40)$$

$$E = \frac{a \cdot \cos\theta}{b - a \cdot \sin\theta}, \quad (41)$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)}, \quad (42)$$

«где X – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м;

d – эффективный диаметр пролива, м;

L – длина пламени, м;

θ – угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра ($\theta=0$)» [22].

$$a = \frac{2 \cdot 15,12}{12} = 2,52$$

$$b = \frac{2 \cdot 26}{12} = 4,3$$

$$A = \sqrt{(2,52^2 + (4,3 + 1)^2 - 2 \cdot 2,52 \cdot (4,3 + 1) \cdot 0)} = 5,9$$

$$B = \sqrt{(2,52^2 + (4,3 - 1)^2 - 2 \cdot 2,52 \cdot (4,3 - 1) \cdot 0)} = 4,2$$

$$C = \sqrt{(1 + (4,3^2 - 1) \cdot 1^2)} = 4,3$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{4,3-1}{4,3+1}\right)} = 0,79$$

$$E = \frac{2,52 \cdot 1}{4,3 - 2,52 \cdot 0} = 0,59$$

$$F = \sqrt{(4,3^2 - 1)} = 4,18$$

«Угловой коэффициент облученности F_q определяется по формуле:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (43)$$

где F_V , F_H – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, определяемые для площадок, расположенных в 90° секторе в направлении наклона пламени, по следующим формулам» [22]:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctg D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\}, \quad (44)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctg \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b+1 + a \cdot b \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \right\}. \quad (45)$$

$$F_V = \frac{1}{3,14} \cdot \{ -0,59 \cdot \arctg 0,79 + 0,59 \cdot \left[\frac{2,52^2 + (4,3+1)^2 - 2 \cdot 4,3 \cdot (1 + 2,52 \cdot 0)}{5,9 \cdot 4,2} \right] \times \\ \times \arctg \left(\frac{5,9 \cdot 0,79}{4,2} \right) + \frac{1}{4,3} \cdot \left[\arctg \left(\frac{2,52 \cdot 4,3 - 4,18^2 \cdot 0}{4,18 \cdot 4,3} \right) + \arctg \left(\frac{4,18^2 \cdot 0}{4,18 \cdot 4,3} \right) \right] \} = \\ = \frac{1}{3,14} \cdot \{ -0,59 \cdot 0,67 + 0,59 \cdot 1,04 \cdot 0,83 + \\ + 0,23 \cdot [0,06 + 0] \} = 0,04$$

$$F_H = \frac{1}{3,14} \times$$

$$\times \left\{ \arctg \left(\frac{1}{0,79} \right) + \frac{0}{4,3} \left[\arctg \left(\frac{2,52 \cdot 4,3 - 4,18^2 \cdot 0}{4,18 \cdot 4,3} \right) + \arctg \left(\frac{4,18^2 \cdot 0}{4,18 \cdot 4,3} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{2,52^2 + (4,3+1)^2 - 2 \cdot (4,3+1 + 2,52 \cdot 4,3 \cdot 0)}{5,9 \cdot 4,2} \right] \cdot \arctg \left(\frac{5,9 \cdot 0,79}{4,2} \right) \right\} =$$

$$= 0,32 \cdot \{ 0,9 + 0 \cdot 0,83 \} = 0,3$$

$$F_q = \sqrt{0,04^2 + 0,3^2} = 0,3$$

«Интенсивность теплового излучения q (кВт/м²) для пожара пролива ЛВЖ, ГЖ, сжиженного природного газа (далее - СПГ) или СУГ определяется по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (46)$$

где E_f – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м² (принимается 40 кВт/м²);

F_q – угловой коэффициент облученности;

τ – коэффициент пропускания атмосферы» [22].

«Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определяется по формуле» [22]:

$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)]. \quad (47)$$

$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (26 - 0,5 \cdot 12)] = \exp[-0,014] = 0,986$$

Таким образом, интенсивность теплового излучения для пожара пролива дизельного топлива (пожар резервуара по всей поверхности) в точке, расположенной на расстоянии 20 м от границы очага пожара составляет:

$$q = 40 \cdot 0,3 \cdot 0,986 = 1,18 \text{ кВт/м}^2$$

Расчет оценки параметров процесса испарения дизельного топлива из пролива.

Интенсивность испарения дизельного топлива определим по формуле:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (48)$$

«где η – коэффициент, при проливе жидкости вне помещения допускается принимать $\eta=1$;

M – молярная масса жидкости, кг/кмоль (203,6 кг/кмоль);

P_H – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа» [22].

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{203,6} \cdot 0,17 = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2\text{с}$$

Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара пролива дизельного топлива (пожар резервуара по всей поверхности) в точке, расположенной на расстоянии 20 м от границы очага пожара. Интенсивность теплового излучения указанного выше пожара в рассматриваемой точке составляет $1,18 \text{ кВт/м}^2$, избыточное давление образующиеся при взрыве резервуара с перегретой ЛВЖ, ГЖ в очаге пожара, $7,5 \text{ кПа}$.

«Детерминированные критерии поражения людей, в том числе находящихся в здании, избыточным давлением при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей в помещениях или на открытом пространстве» [22] согласно таблицы П 4.1 [22] соответствует степени поражения «нижний порог повреждения человека волной давления» [22].

Таким образом, рассмотрев различные сценарии аварийной ситуации в резервуарном парке, были рассчитаны зоны разрушения и границы поражения людей, производственных зданий и РВС при взрыве облака газопаровоздушной смеси. Отмечается, что люди, которые будут находиться в момент взрыва в здании насосной дизельного топлива, могут быть подвержены нижнему порогу повреждения волной давления.

2.3 Анализ и оценка обеспечения пожарной безопасности и технологического процесса хранения нефтепродуктов на объекте защиты – цех 006 ФГУП «Комбинат» Государственной корпорации по атомной энергии (Росатом)

«Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности» [45].

Показатели пожарной опасности веществ, хранимых на объекте защиты, указаны в таблице 7.

Таблица 7 – Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов

Показатель пожарной опасности	Природный газ	Дизельное топливо
Группа горючести	ГГ	ЛВЖ
Коэффициент дымообразования, м ² /кг		620
Концентрационные пределы распространения пламени (воспламенения) в газах и парах, %об, пылях, кг/м ³	4,5-13,5	1-6%
Максимальная скорость распространения пламени вдоль поверхности горючей жидкости, м/с	0,176	30-40
Минимальная энергия зажигания, МДж		0,250
Низшая рабочая теплота сгорания, МДж/кг		43,54
Температура воспламенения (возгорания для ПГ), °С	650	62-105
Температура вспышки, °С		35-40
Температура самовоспламенения, °С		300-310
Температурные пределы распространения пламени (воспламенения), °С		от 99 до 135
Удельная массовая скорость выгорания, кг · м ² /с		48,3
Удельная теплота сгорания, МДж/кг	16-35	4,6

Предотвращение пожара на объекте достигается:

- максимально возможным применением негорючих и трудногорючих веществ и материалов;
- максимально возможным по условиям технологии и строительства ограничением массы и (или) объема горючих веществ, материалов и наиболее безопасным способом их размещения;
- изоляцией горючей среды путем применения изолированных отсеков, помещений, оборудования и т.п. (изоляция помещений категории А, Б, В1-В4 противопожарными преградами с нормируемым пределом огнестойкости);
- установкой пожароопасного оборудования с соответствующим классом защиты;
- применением устройств защиты оборудования с горючими веществами от повреждений и аварий, установкой отключающих, отсекающих и других устройств;
- применением электрооборудования, соответствующего пожароопасной и взрывоопасной зонам, группе и категории

взрывоопасной смеси в соответствии с требованиями № 123-ФЗ [45];

- применением оборудования, удовлетворяющего требованиям электростатической искробезопасности по ГОСТ 12.1.018-93 [3];
- устройством молниезащиты зданий;
- исключением возможности появления искрового разряда в горючей среде с энергией, равной и выше минимальной энергии зажигания;
- ликвидацией условий для теплового, химического и (или) микробиологического самовозгорания обращающихся веществ, материалов, изделий и конструкций;
- уменьшением определяющего размера горючей среды ниже предельно допустимого по горючести.

Ограничение распространения пожара за пределы очага горения обеспечивается:

- устройством противопожарных преград,
- установлением предельно допустимых площадей пожарных отсеков,
- устройством аварийного отключения и переключения установок и коммуникаций,
- применением огнепреграждающих устройств в оборудовании.

Перед эксплуатацией объекта:

а) выполнено:

- определены и оборудованы места для курения;
- установлен порядок уборки горючих отходов и пыли, хранения промасленной одежды;
- определен порядок обесточивания электрооборудования в случае пожара и по окончании рабочего дня;

б) регламентированы:

- порядок проведения временных огневых и других пожароопасных работ;

- порядок осмотра и закрытия помещений после окончания работы;
- действия работников при обнаружении пожара;
- определен порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначены ответственные за их проведение.

Вся данная информация содержится в инструкции о мерах пожарной безопасности.

Принятые проектные решения функциональных характеристик системы обеспечения пожарной безопасности соответствуют требованиям № 123-ФЗ [45].

На территории объекта защиты размещены следующие здания и сооружения: котельная, дымовые трубы, баки-аккумуляторы, резервуары дизельного топлива (2 резервуара по 2000 м³), насосная станция дизельного топлива, площадка автомобильного слива, площадка установки приемной сливной емкости, водоподготовка с солехранилищем, станция очистки ливневых вод, резервуары с канализационной насосной станцией, площадка для сбора мусора на три контейнера, пост охраны.

Общая схема объекта защиты представлена в приложении А.

В соответствии с требованиями таблицы 3 СП 4.13130.2013 [17] расстояние между зданиями категорий Г, Д степеней огнестойкости I-IV класса пожарной опасности С0 не нормируется. Следовательно, расстояния между следующими зданиями и сооружениями не нормируется: котельная, дымовые трубы, баки-аккумуляторы, водоподготовка с солехранилищем, станция очистки ливневых вод, резервуары с канализационной насосной станцией.

В соответствии с таблицей 14 № 123-ФЗ [45] склад дизельного топлива относится к категории IIIб.

Таблица 8 – Расстояния между зданиями и сооружениями

Наименования зданий и сооружений/ Категория, Класс конструктивной пожарной опасности	Наименования зданий и сооружений/ Категория, Класс конструктивной пожарной опасности	Расстояние фактическое/ нормативное, метры	Примечания
Резервуары дизельного топлива/ БН	Насосная станция дизельного топлива/ СО II, СО, кат. Б	43/15	Таблица 15 СП 4.13130.2013 [17]
	Площадка автомобильного слива/ БН	51/20	Таблица 15 СП 4.13130.2013 [17]
Площадка автомобильного слива/ БН	Промежуточный резервуар слива (приемная сливная емкость)	Не нормируется	Таблица 16 СП 4.13130.2013 [17]
	Насосная станция дизельного топлива/ СО II, СО, кат. Б	15/ 15	Таблица 16 СП 4.13130.2013 [17]

Расстояния от зданий и сооружений склада дизельного топлива до соседних зданий и сооружений объекта составляет более 50 м, что соответствует требованиям таблицы 14 СП 4.13130.2013 [17].

Время подъезда пожарных подразделений до объекта составляет менее 10 минут – расстояние до ближайшей специальной пожарно-спасательной части № 1 ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России» не более 1 км.

Таблица 9 – Расчетные расходы воды на наружное пожаротушение на объекте

Наименование объекта, класс ФПО/ категория по взрывопожарной и пожарной опасности	Степень огнестойкости/ класс КПО	Строительный объем, м3	Расход на наружное пожаротушение, л/с	Время тушения, ч
Котельная. Ф 5.1/ категория Г	II/ СО	50767	15	3
Насосная станция. Ф 5.1/ категория Б	II/ СО	38881	10	3

Продолжение таблицы 9

Наименование объекта, класс ФПО/ категория по взрывопожарной и пожарной опасности	Степень огнестойкости/ класс КПО	Строительный объем, м ³	Расход на наружное пожаротушение, л/с	Время тушения, ч
Водоподготовка с солевыхранилищем. Ф 5.1/ категория Д	II/ C0	5260	10	3
Станция очистки ливневых вод. Ф 5.1/ категория Д	IV/C0	135	10	3
Пост охраны. Ф 4.3	IV/C0	15	10	3

Расчетное количество одновременных пожаров на промышленном предприятии принято в зависимости от занимаемой им площади (п. 6.1 СП 8.13130.2009) [20] – площадь территории цеха 006 ФГУП «Комбинат» 107810,73 м² – один пожар (площадь менее 150 га).

Транспортировка нефтепродуктов осуществляется автоцистернами емкостью 40 м³.

Расчетная площадь тушения определяется по площадке ограниченной бортиком и составляет 120 м².

В соответствии с пунктом 2.2.4 Руководство [30] интенсивность подачи раствора пенообразователя составляет 0,05 л/с·м².

Тогда: $120 \cdot 0,05 = 6$ л/с.

Запас пенообразователя и воды на приготовление раствора, необходимый для хранения, следует принимать из условия обеспечения трехкратного расхода раствора на один пожар по пункту 13.2.7 СП 155.13130.2014 [34].

$6 \text{ л/с} \cdot 60 \cdot 15 \text{ мин} = 5400 \text{ л} = 5,4 \text{ м}^3$, таким образом, трехкратный суммарный запас рабочего раствора пенообразователя составляет: $5400 \cdot 3 = 16200 \text{ л} = 16,2 \text{ м}^3$.

Рабочая концентрация пенообразователя – 6%.

Тогда объем пенообразователя на пожаротушение: $16,2 \cdot 0,06 = 0,972 \text{ л}$
 $= 1 \text{ м}^3$.

Для тушения пожара на сливной автомобильной эстакаде требуется 1 м^3 пенообразователя без учета 100% запаса.

Запас пенообразователя должен храниться на объекте в емкостях или в месте дислокации пожарного подразделения.

Расход воды на охлаждение определяется из расчета работы не менее чем двух лафетных стволов. Подача воды на охлаждение осуществляется от передвижной пожарной техники.

Расход лафетного ствола составляет 20 л/с. Расход воды на охлаждение составляет 40 л/с ($144 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Расчетное время на тушение потенциального пожара принимается равным 6 ч, на основании требований п. 8.16 СНиП 2.11.03-93 [31] с учетом работы от передвижной пожарной техники.

Запас воды на охлаждение составляет: $144 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 6 = 864 \text{ м}^3$.

Определение запаса воды на тушение и охлаждение: $864 + 16,2 = 880,2 \text{ м}^3$.

Запас воды на тушение сливной автомобильной эстакады должен составлять не менее $880,2 \text{ м}^3$. Расход на тушение и охлаждение определяется исходя из работы передвижной пожарной техники. Тушение – 6 л/с, охлаждение – 40 л/с.

В качестве исходных данных приняты характеристики резервуара РВС-2000, указанные в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристика резервуара

Резервуар	Высота резервуара, м	Диаметр резервуара, м	Площадь зеркала горючего, м^2	Периметр резервуара, м
РВС-2000	15,2	12,0	113,1	37,7

Расчетная площадь тушения пожара в наземных резервуарах со стационарной крышей «принимается равной всей площади резервуара» [30]. Для тушения пожара применяется пенообразователь, в соответствии таблицей В.1 [29] «интенсивность подачи раствора пенообразователя на тушение составляет – 0,05 л/м²с» [29].

Расход на тушение: $0,05 \cdot 113,1 = 5,6$ л/с.

Для тушения пожара предусматривается подача пены при помощи генератора пены средней кратности ГПС-600. Расход пеногенератора при рабочем давлении равным 0,4 МПа составляет 4,5-6 л/с по пенораствору. На резервуаре устанавливаются не менее двух пеногенераторов.

Время пенной атаки – 15 мин. Запас пенообразователя рассчитывается исходя из трех пенных атак.

Объем пенораствора на пенные атаки: $(2 \cdot 6 \cdot 15 \cdot 60) \cdot 3 = 32400$ л = 32,4 м³.

Объем пенообразователя на тушение: $32,4 \cdot 0,06 = 2$ м³.

Для тушения пожара в резервуарном парке требуется количество пенообразователя не менее 2 м³ без учета 100% запаса. Поскольку тушение предусматривается от передвижной пожарной техники запас может храниться на объекте или в месте дислокации пожарного подразделения. С учетом 100% запаса хранимый объем пенообразователя предусматривается 4 м³.

Расход воды на охлаждение определяется исходя из орошения всех защищаемых поверхностей и надежной тепловой защиты конструкций резервуаров и оборудования. Интенсивность подачи воды определяем по таблице приложения С ГОСТ Р 12.3.047-2012 [6] из учета высоты резервуара 12 м:

- «интенсивность на охлаждение горящего резервуара – 0,8 л/с на 1 м длины» [6];
- «интенсивность на охлаждение негорящего резервуара – 0,3 л/с на 1 м длины» [6].

Расход на охлаждение: $0,8 \cdot 37,7 + 0,3 \cdot 37,7 \cdot 1 = 41,5$ л/с = 149,3 м³/ч.

Исходя из учета требований на работу от пожарных гидрантов (+25%) расход на охлаждение составляет: $149,3 \cdot 1,25 = 186,6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Расчетное время на тушение потенциального пожара принимается равным 6 ч, на основании требований п. 8.16 СНиП 2.11.03-93 [31] с учетом работы от передвижной пожарной техники.

Запас воды на охлаждение составляет: $186,6 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 6 = 1120 \text{ м}^3$.

Суммарный расход на тушение и охлаждение составляет: $12 + 41,5 = 53,5 \text{ л/с} = 192,6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Определение запаса воды на тушение и охлаждение: $1120 + 32,4 = 1152,4 \text{ м}^3$.

Запас воды на тушение резервуарного парка должен составлять не менее $1152,4 \text{ м}^3$.

Вывод: Наиболее затратным по потреблению воды является возгорание резервуара РВС-2000 и составляет $53,5 \text{ л/с}$ и необходимый запас не менее $1152,4 \text{ м}^3$. Тушение и охлаждение осуществляется от передвижной пожарной техники. Источником воды для передвижной пожарной техники являются пожарные гидранты.

Необходимый расход (объем) воды обеспечивается от сети водопровода.

Хранимый запас пенообразователя составляет 4 м^3 (с учетом 100% запаса).

Свободный напор на сети противопожарного водопровода не менее 40 м согласно п. 13.2.16 СП 155.13130.2014 [34], обеспечивается от насосов, установленных в помещении насосной станции в здании насосной дизельного топлива. Согласно требованиям п. 7.10 СП 8.13130.2009 [20] «помещения насосной выделено противопожарными стенами с пределом огнестойкости не менее REI-120 и имеет самостоятельный эвакуационный выход непосредственно наружу» [20].

Пожарные гидранты устанавливаются на кольцевых участках сети.

Расстановка пожарных гидрантов обеспечивает тушение зданий не менее чем от двух пожарных гидрантов при расходе 15 л/с и более, и не менее чем от одного гидранта при расходе 10 л/с, расположенных на расстоянии не более 200 м по участкам с твердым покрытием от защищаемых зданий.

Пожарные гидранты предусматриваются вдоль дорог (проездов) на расстоянии не более 2,5 м от края проезжей части и не ближе 5 м от стен зданий.

Подъезд пожарной техники предусматривается в соответствии с требованиями статьи 98 № 123-ФЗ [45] и требованиями СП 4.13130.2013 [17].

К зданиям шириной 18 м проезд предусматривается не менее чем с двух сторон по длине здания (котельная, насосная станция дизельного топлива, водоподготовка с солевых хранилищем). К остальным зданиям и сооружениям (ширина не более 18 м) проезд предусматривается не менее чем с одной стороны по длине здания.

Пункт 8.6 СП 4.13130.2013 [17] «Ширина проездов для пожарных автомобилей в зависимости от высоты зданий или сооружений должна составлять не менее:

3,5 м - при высоте зданий или сооружений до 13 м включительно;

4,2 м - при высоте зданий или сооружений от 13 м до 46 м включительно» [17].

«Расстояние от внутреннего края проездов до зданий высотой до 28 м предусматривается 5-8 м» [17] (п. 8.8 СП 4.13130.2013 [17]).

Проезд к резервуарам склада ГСМ предусмотрен «со всех сторон по периметру резервуарного парка с шириной не менее 3,5 м» [17]. «Расстояние от резервуаров дизельного топлива до обочины пожарного проезда составляет не менее 9 м» [17].

«Тупиковые проезды обеспечиваются разворотными площадками размером не менее 15х15 м» [17] (п. 8.13 СП 4.13130.2013 [17]).

На территорию объекта предусмотрено два въезда.

Класс функциональной пожарной опасности, степень огнестойкости, площадь пожарных отсеков представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Характеристика зданий и сооружений

Наименование зданий, категория по пожарной опасности	Класс конструктивной пожарной опасности	Класс функциональной пожарной опасности	Категория по пожарной опасности	Этажность/Высота, м	Степень огнестойкости	Площадь этажа в пределах пожарного отсека, м ²
Котельная	С0	Ф 5.1	Г	1-3/ 9-19,2	II	3360
Насосная станция дизельного топлива	С0	Ф 5.1	Б	1/ 5,2	II	648
Водоподготовка с солевых хранилищем	С0	Ф 5.1	Д	1/8	II	864
Станция очистки ливневых вод	С0	Ф 5.1	Д	1/3	IV	43
Пост охраны	С0	Ф 4.3	-	1/2,4	IV	6

Предел огнестойкости основных конструкций зданий и сооружений объекта характеризуется показателями, приведенными в таблице 12.

Таблица 12 – Описание конструктивных решений

Наименование здания и сооружения	Конструктивные элементы зданий и сооружений	Предел огнестойкости, ч	Класс конструктивной пожарной опасности
Котельная: часть 1 – в осях 2-6 – А-Е; часть 2 – в осях 10-16 – И-М; часть 3 – в осях 7-17 – А-Е	Здание каркасное из нескольких частей Конструкции каркаса частей 1,2 – железобетонные, части 3 – металлические	С0 II	С0
	Несущие элементы: часть 1, 2 – железобетонные колонны, балки, ригели; часть 3 – металлические конструкции (предусмотрена огнезащита элементов металлического каркаса, в том числе элементов участвующих в обеспечении устойчивости и геометрической неизменяемости каркаса)	R 90	K0

Продолжение таблицы 12

Наименование здания и сооружения	Конструктивные элементы зданий и сооружений	Предел огнестойкости, ч	Класс конструктивной пожарной опасности
	здания котельной (вертикальные и горизонтальные связи, колонны, ригели) – облицовка ROCKWOOL КОНЛИТ – конструктивная огнезащита		
	Межэтажные перекрытия части 1 – сборные ребристые железобетонные плиты	REI 45	K0
	Наружные стены здания выполнены из керамзитобетонных стеновых панелей и керамического кирпича	E 15	K0
	Покрытие – железобетонные плиты, профлист по металлическим балкам, утеплитель (НГ)	RE 15	K0
	Стены лестничной клетки железобетонные.	REI 90	K0
	Площадки и марши железобетонные	R 60	K0
	Марши укладываются на металлические балки (оштукатуриваются по металлической сетке толщиной штукатурки 30 мм)		
Насосная станция дизельного топлива	Здание каркасное, каркас железобетонный	CO II	C0
	Несущие элементы – железобетонные колонны и балки, наружные самонесущие кирпичные стены	R 90 E 15 (для наружных стен)	K0
	Плиты покрытия сборные железобетонные	RE 15	K0
Водоподготовка с солехранилищем	Здание каркасное, каркас из железобетонных конструкций	CO II	C0
	Несущие элементы железобетонные и кирпичные	R 90	K0
	Межэтажные перекрытия – сборные железобетонные плиты	REI 45	K0

Продолжение таблицы 12

Наименование здания и сооружения	Конструктивные элементы зданий и сооружений	Предел огнестойкости, ч	Класс конструктивной пожарной опасности
	Наружные стены здания выполнены из керамзитобетонных стеновых панелей и керамического кирпича	E 15	K0
	Покрытие – железобетонные плиты	RE 15	K0
Станция очистки ливневых вод. Пост охраны	Здание каркасное, каркас металлический	CO IV	C0
	Несущие элементы каркаса металлические	R 15	K0
	Наружные несущие стены – сэндвич-панели, утеплитель минераловатный (НГ)	E 15	K0
	Покрытие – сэндвич-панели по металлическому каркасу, утеплитель минераловатный (НГ)	RE 15	K0
Дымовые трубы. Баки-аккумуляторы. Резервуары с канализацией и насосной станцией	Наружные установки категории ДН		

В котельной предусмотрены помещения категории В4, Г и Д. На первом этаже бытовые помещения для персонала, размещение которых в производственном здании допускается по п. 6.1.40 СП 4.13130.2013 [17]. На втором этаже – одноэтажная встройка с административными помещениями в соответствии с требованиями п. 6.1.42, 6.1.43 СП 4.13130.2013 [17]. Встройка выделяется противопожарными перегородками первого типа и противопожарными перекрытиями второго типа. Помещение насосной пожаротушения выделяется противопожарными преградами с пределом огнестойкости REI 45 и имеет самостоятельный эвакуационный выход непосредственно наружу.

В здании водоподготовки предусмотрены бытовые помещения персонала. Размещение данных помещений в производственном здании допускается по п. 6.1.40 СП 4.13130.2013 [17]. Кабинет начальника и служебная комната выделены противопожарными перегородками первого типа и противопожарными перекрытиями второго типа. Все производственные помещения в здании относятся к категории Д по пожарной опасности. Выделение противопожарными преградами не требуется.

Склад дизельного топлива состоит из двух резервуаров РВС-2000 и относится к категории IIIб. По периметру резервуаров предусмотрено обвалование шириной по верху не менее 0,5 м (п. 3.4 ГОСТ Р 53324-2009 [4]). Высота обвалования рассчитана на количество возможного разлива топлива, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53324-2009 [4] – не менее 1 м. Для перехода через обвалование на противоположных сторонах ограждения есть лестницы-переходы шириной не менее 0,7 м в количестве не менее четырех (п. 3.8 ГОСТ Р 53324-2009 [4]). Между проходами через обвалование и стационарными лестницами на резервуарах проложены пешеходные дорожки (тротуары) шириной не менее 0,75 м. Внутри обвалования группы резервуаров прокладка транзитных трубопроводов не предусмотрена.

Располагается площадка для слива автоцистерн емкостью до 40 м³ с ограждением по периметру не менее 0,2 м.

Количество и размеры эвакуационных выходов и путей из помещений, этажей и из здания, расстояния от выходов из помещений до выхода наружу должны соответствовать № 123-ФЗ [45] и СП 1.13130.2020 [19].

Каждое помещение объекта не предназначено для одновременного пребывания более 50 человек, поэтому предусмотрено по одному выходу (пункт 4.2.7 СП 1.13130.2020 [19]) шириной не менее 0,8 м (пункт 4.2.19 СП 1.13130.2020 [19]).

В соответствии с требованиями пунктов 4.3.3 и 4.3.2 СП 1.13130.2020 [19] «ширина горизонтальных участков путей эвакуации предусматривается

не менее 0,7 м для проходов к одиночным рабочим местам и не менее 1 м в остальных случаях; высота – не менее 2 м» [19].

В местах перепада высот более 0,45 м установлены лестницы с числом ступеней не менее 3 и ограждения высотой 1,2 м (пункт 4.3.5 СП 1.13130.2020 [19]).

В соответствии с пунктом 7 СП 4.13130.2013 [17] в целях обеспечения безопасной деятельности пожарных подразделений на площадке предприятия предусмотрены:

- пожарные проезды и подъездные пути к зданиям для пожарной техники;
- наружные пожарные лестницы и другие средства подъема личного состава подразделений и пожарной техники на этажи и кровлю зданий;
- наружные и внутренние системы противопожарного водопровода, необходимое количество гидрантов.

Для увеличения эффективности действий и безопасности подразделений при ликвидации пожара, администрация предприятия обеспечивает:

- прекращение всех работ в здании, кроме работ, связанных с ликвидацией пожара;
- удаление за пределы опасной зоны всех работников, не участвующих в тушении пожара;
- организацию встречи подразделений пожарной охраны и оказание помощи в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;
- информирование пожарного подразделения о конструктивных и технологических особенностях объекта, прилегающих строений и сооружений, о количестве перерабатываемых или хранящихся на объекте опасных (взрывоопасных), взрывчатых, сильнодействующих ядовитых веществ.

В зданиях высотой более 10 м предусмотрены выходы на кровлю (пункт 7.2 СП 4.13130.2013 [17]). Котельная – две пожарные лестницы П1 (периметр 266 м) (пункт 7.3 СП 4.13130.2013 [17]).

На перепадах высот кровли всех зданий более 1 м предусмотрены пожарные лестницы типа П1 (пункт 7.10 СП 4.13130.2013 [17]).

В лестничных клетках зданий зазор между маршами предусмотрен не менее 75 мм (пункт 7.14 СП 4.13130.2013 [17]).

Перечень помещений и определение их категории по взрывопожарной и пожарной опасности приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Категории зданий и сооружений

Помещение	Категория/ Класс зоны по ФЗ-123 [45]
Котельная	Г (умеренная пожароопасность)
Кладовая уборочного инвентаря	Д/-
Водомерный узел	Д/-
Теплоцентр	Д/-
Ремонтный пункт	Д/-
Кладовая инструмента	Д/-
Помещение распредустройства	В4/П-IIa
Трансформаторная	В4/П-I
Котельный зал	Г/2-й
Мастерская	Д/-
Турбинный зал	В4/П-IIa
Венткамера вытяжная	В4/П-IIa
Венткамера приточная	Д/-
Помещение лаборатории	Д/-
Щитовая КИП	В4/П-IIa
Операторная	В4/П-IIa
Водоподготовка	Д (пониженная пожароопасность)
Фильтровальный зал	Д/-
Насосная склада соли	Д/-
Склад фильтрующих материалов	Д/-
Мастерская	Д/-
Индивидуальный тепловой пункт	Д/-
Венткамера вытяжная	Д/-
Лаборатория	Д/-
Кладовая лаборатории	Д/-
Венткамера приточная	Д/-

Продолжение таблицы 13

Помещение	Категория/ Класс зоны по ФЗ-123 [45]
Насосная станция дизельного топлива	Б (взрывопожароопасность)
Топливная насосная	Б/2-й
Подсобные помещения	Д/-
Насосная пожаротушения	Д
Электрощитовая	В4/П-Па
Тепловой пункт	Д/-
Помещение узла ввода	Д/-
Венткамера	Д/-
Станция очистки ливневых вод	Д (пониженная пожароопасность)
Помещение станции	Д/-
Дымовые трубы. Баки-аккумуляторы. Резервуары с канализационной насосной станцией	ДН (пониженная пожароопасность)
Резервуары дизельного топлива. Площадка автомобильного слива. Площадка установки приемной сливной емкости	БН (взрывопожароопасность)

Категория помещений по взрывопожарной и пожарной опасности определена в соответствии СП 12.13130.2009 [33].

При проектировании и строительстве объекта автоматические установки пожаротушения и пожарной сигнализации предусматривались в соответствии с требованиями СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования», но в марте 2021 года взамен данного вступили в действие три новых свода правил, а именно:

- СП 484.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования» [36];
- СП 485.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» [37];
- СП 486.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования,

подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности» [38].

В соответствии с требованиями СП 486.1311500.2020 [38] здания и помещения объекта не подлежат оборудованию автоматическими установками пожаротушения и (или) системой пожарной сигнализации. Тушение помещений насосной станции, площадок слива автоцистерн и сливных емкостей, резервуарного парка предполагается осуществлять с использованием передвижной пожарной техники. В этих целях предусмотрены стационарные пеногенераторы, соединенные трубопроводами с патрубками, предназначенными для подключения пожарных автомобилей.

На основании действующего СП 3.13130.2009 [32] спроектирована на объекте система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

В соответствии с требованиями пункта 17 таблицы 2 СП 3.13130.2009 [32]: одноэтажные производственные здания подлежат оборудованию системой оповещения и управления эвакуацией на пожаре первого типа (за исключением зданий «состоящих из одного помещения (категории по взрывопожарной и пожарной опасности В4, Г, Д) площадью не более 50 м² без постоянных рабочих мест» (пункт 7) [32]); 2-6 этажные производственные здания подлежат оборудованию системой оповещения и управления эвакуацией на пожаре второго типа.

Выводы по второму разделу.

Подводя итог раздела, отмечаем, что для гарантирования пожарной безопасности при складировании нефтепродуктов, требуется строго придерживаться установленных нормативов, ведь на сегодняшний день, пожарная безопасность выступает одним из самых значимых аспектов безопасности на производствах повышенной опасности.

Анализ текущей практики применения традиционных средств пожаротушения выявляет потребность в создании системы,

демонстрирующей подлинную эффективность в ликвидации возгораний, а также минимизирующей риски для пожарных, участвующих в борьбе с огнем.

Единственный путь гарантировать эффективную защиту от огня на предприятиях, задействованных в переработке, транспортировке и хранении нефтепродуктов, заключается в разработке и последующем внедрении передовых методик и технологических инноваций в области пожаротушения.

Рассмотрев различные сценарии аварийной ситуации в резервуарном парке, были рассчитаны зоны разрушения и границы поражения людей, производственных зданий и РВС при взрыве облака газопаровоздушной смеси. Отмечается, что люди, которые будут находиться в момент взрыва в здании насосной дизельного топлива, могут быть подвержены нижнему порогу повреждения волной давления.

Определяя соответствие объекта защиты современным требованиям пожарной безопасности, которые можно найти в различных кодексах, приказах и стандартах, и охватывают они различные аспекты пожарной безопасности, включая системы пожаротушения, огнетушители, пожарную сигнализацию и обучение пожарной безопасности, можно сделать вывод о хорошем уровне оснащения в цехе 006 ФГУП «Комбинат».

Дальнейшее поддержание противопожарной безопасности на объекте хранения нефтепродуктов требует повышенного внимания и должно оставаться первостепенной задачей для руководства. Учитывая высокую пожарную опасность нефтепродуктов, все лица, связанные с хранением, переработкой и розливом, обязаны неукоснительно соблюдать установленные требования и нормы, содержащиеся в нормативных актах. Неконтролируемая чрезвычайная ситуация, спровоцированная нарушением правил пожарной безопасности, может повлечь за собой значительные материальные убытки.

3 Анализ и разработка инженерно-технических решений для повышения эффективности пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов

3.1. Дополнительное оборудование для повышения эффективности пожарной безопасности при хранении нефтепродуктов

«Каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности» [45].

«Система обеспечения пожарной безопасности - совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на профилактику пожаров, их тушение и проведение аварийно-спасательных работ» [43].

Эффективная система защиты от пожаров базируется на взаимосвязи технических средств, организационных решений и человеческого ресурса. Лишь при их слаженной деятельности обеспечивается высокая степень защиты объектов хранения нефтепродуктов.

В общем смысле, создание эффективной системы пожарной безопасности на складах нефтепродуктов представляет собой непрерывную деятельность, требующую постоянного контроля и совершенствования. Именно такой подход способен гарантировать надежную защиту от пожаров и свести к минимуму возможные риски.

Обучение работников правилам пожарной безопасности – ключевой момент. Регулярные занятия, тренировки, инструктажи необходимы для подготовки персонала к экстренным ситуациям. Это позволит сотрудникам предприятия быстро и эффективно реагировать на чрезвычайные ситуации, сводя к минимуму потери и исключая гибель людей.

«Целью создания системы обеспечения пожарной безопасности объекта защиты является предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита имущества при пожаре.

Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности» [45].

Подробнее цели систем, составляющих систему обеспечения пожарной безопасности объекта защиты, представлены схематично на рисунке 7.

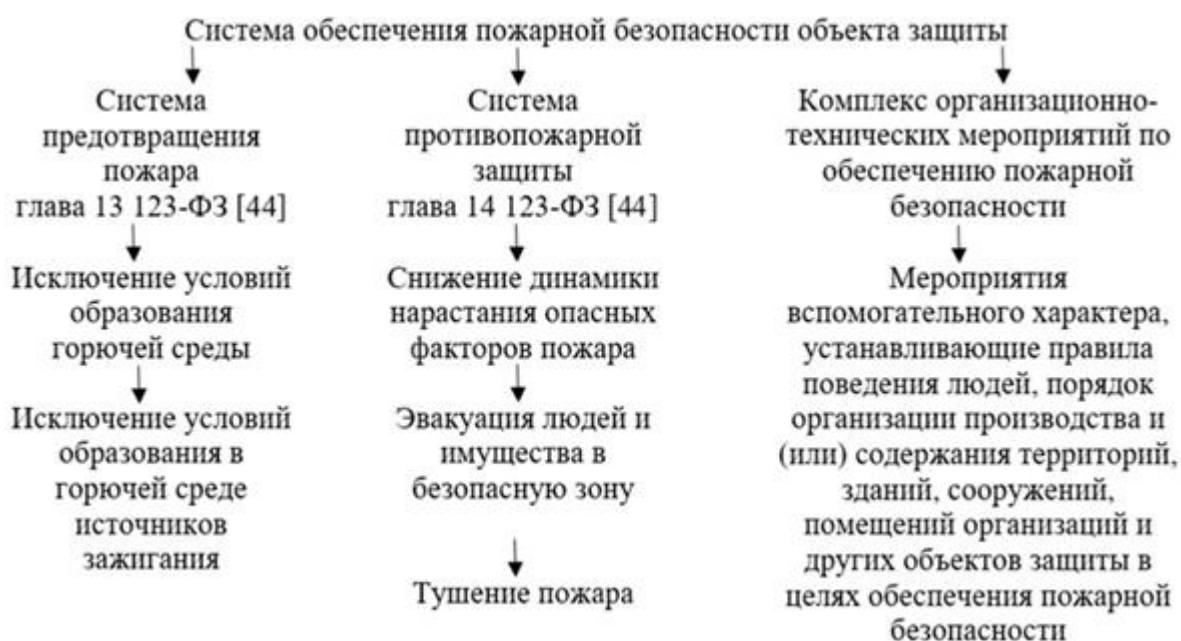


Рисунок 7 – Цели систем, составляющих систему обеспечения пожарной безопасности объекта защиты

Оборудование для повышения эффективности пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов включает в себя комплекс инженерных решений, направленных на предотвращение, обнаружение и ликвидацию возгораний. Ключевыми элементами являются системы автоматического пожаротушения, способные оперативно обнаружить и ликвидировать очаг возгорания на ранней стадии. Такие системы могут быть основаны на

применении пены, порошка или других специальных огнетушащих веществ, эффективно подавляющих горение нефтепродуктов.

Статья 61 № 123-ФЗ [45] указывает на то, что «тип автоматической, в том числе автономной, установки пожаротушения, вид огнетушащего вещества и способ его подачи в очаг пожара определяются в зависимости от вида горючего материала, объемно-планировочных решений здания, сооружения и параметров окружающей среды» [45].

В свою очередь, «автоматические, в том числе автономные, установки пожаротушения должны обеспечивать ликвидацию пожара поверхностным или объемным способом подачи огнетушащего вещества в целях создания условий, препятствующих возникновению и развитию процесса горения» [45].

Автоматические противопожарные установки бывают разнообразных видов и имеют достаточно сложную и разветвленную классификацию, в зависимости от тех или иных характеристик. Более подробно классификация автоматических установок пожаротушения представлена на рисунке 8.



Рисунок 8 – Классификация автоматических установок пожаротушения

В пункте 13.2.1 СП 155.13130.2014 [34] сказано, что «на складах нефти и нефтепродуктов предусматриваются системы пожаротушения и водяного охлаждения».

Но системы автоматического пожаротушения, согласно пункта 13.2.3 СП 155.13130.2014 [34], следует предусматривать «для наземных резервуаров нефтепродуктов объемом менее 5000 м³» [34]. То есть применительно к резервуарам РВС-2000 цеха 006 ФГУП «Комбинат», система автоматического пожаротушения на данном объекте не требуется.

Здания, сооружения, помещения и оборудование складов нефти и нефтепродуктов оснащаются установками автоматического пожаротушения согласно СП 485.1311500.2020 [37], но данный «свод правил не распространяется на проектирование установок пожаротушения автоматических резервуаров нефтепродуктов» [37], что, в свою очередь, не обязывает рассматриваемый объект защиты оснащать установками автоматического пожаротушения.

В пункте 13.2.5 СП 155.13130.2014 [34] перечисляются здания и помещения на складах нефти и нефтепродуктов, которые должны быть оборудованы установками автоматического пожаротушения, а именно: «помещения для насосов и узлов задвижек площадью пола 300 м² и более; помещения для насосов и узлов задвижек на станциях производительностью 1200 м³/ч и более; складские помещения площадью 500 м² и более для нефтепродуктов с температурой вспышки 120 °С и ниже, площадью 750 м² и более для остальных нефтепродуктов; производственные помещения площадью более 500 м², в которых имеются нефть и нефтепродукты в количестве более 15 кг/м²» [34]. Здания и помещения цеха 006 под эти характеристики не подпадают.

Согласно пункта 13.2.6 СП 155.13130.2014 [34] «для наземных и подземных резервуаров объемом менее 5000 м³, продуктовых насосных станций, размещаемых на площадках, сливноналивных эстакад и устройств

для железнодорожных и автомобильных цистерн на складах III категории, а также указанных в пункте 13.2.5 зданий и помещений склада, при площади этих помещений и производительности насосных станций менее приведенных в таблице 12, следует, предусматривать тушение пожара мобильными средствами пожаротушения. При этом на резервуарах объемом от 1000 до 5000 м³ надлежит устанавливать устройства для подачи огнетушащего вещества (генераторы пены, пеносливы или насадки для подачи двуокиси углерода, иные устройства) с сухими трубопроводами (с соединительными головками и заглушками), выведенными за обвалование» [34].

Объект защиты, который рассматривается в данной работе, оснащен пеногенераторами и сухотрубом, выведенным за обвалование.

Важную роль играет наличие системы охлаждения резервуаров, позволяющей снизить температуру стенок и предотвратить их разрушение под воздействием высокой температуры. Для этого используются водяные оросители, обеспечивающие равномерное распределение воды по поверхности резервуара.

Для РВС-2000 применяется пункт 13.2.8 СП 155.13130.2014 [34], который обязывает «охлаждение наземных резервуаров объемом менее 5000 м³» [34] предусматривать мобильными средствами пожаротушения.

Таким образом, в соответствии с нормами СП 155.13130.2014 [34] тушение и водяное охлаждение на объекте защиты предусматривается мобильными средствами пожаротушения ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России», нет законных оснований обязывать руководство ФГУП «Комбинат» оборудовать цех 006 дополнительными системами.

Обеспечение пожарной безопасности достигается благодаря грамотной организации и эксплуатации технологических процессов и оборудования. Безусловно, все применяемые меры по обеспечению пожарной безопасности должны быть экономически обоснованы, что, в полной мере нельзя сказать, про автоматические установки пожаротушения, целесообразность

применения которых не оправдывает возложенных на них функций тушения в первые минуты с момента появления пламени.

Статистика свидетельствует о следующем: в половине случаев пожаров в резервуарах системы пожаротушения выходили из строя в результате взрыва; в четверти – по причине пожара в обваловании; и еще в четверти – по другим причинам. Во всех зафиксированных случаях тушение осуществлялось силами пожарных расчетов с использованием мобильной техники.

Соглашусь с автором статьи «Оценка факторов повышающих уровень пожарной безопасности на складах нефти и нефтепродуктов» Кадочниковой Е.Н., что «на сегодняшний день проблема тушения резервуаров до сих пор не решена, так как еще не придуман способ или техническое устройство тушения, который сразу бы эффективно ликвидировал возгорание» [11] .

3.2 Прогнозирование и оценка развития пожарной ситуации с резервуаром РВС-2000 при хранении дизельного топлива

Для разработки мероприятий по тушению пожара в данном исследовании выбраны резервуары. Размеры обвалования РВС: 60 х 25 х 3 м. Хранимый продукт – дизельное топливо. Уровень разлива нефтепродукта 12 м. Характеристики резервуара РВС-2000 указаны в таблице 10.

«Исходные данные по пожару:

- линейная скорость выгорания дизельного топлива до $0,20 \text{ м} \cdot \text{ч}^{-1}$;
- линейная скорость прогрева дизельного топлива до $0,08 \text{ м} \cdot \text{ч}^{-1}$;
- требуемая интенсивность подачи воды на охлаждение:
 - горящего резервуара $0,5 \text{ л/с} \cdot \text{м}$;
 - соседних резервуаров $0,3 \text{ л/с} \cdot \text{м}$;
 - горящего резервуара в горящем обваловании $1,2 \text{ л/с} \cdot \text{м}$.
- нормативная интенсивность подачи пены средней кратности для тушения дизельного топлива в резервуаре ($T_{\text{всп. ниже}} = 78^{\circ}\text{C}$) при

- использовании раствора пенообразователя общего назначения составляет $0,05 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$, пены низкой кратности – $0,03 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$;
- ориентировочное время наступления возможного выброса в резервуаре с хранением дизельного топлива:

$$T = \frac{(H-h)}{(W+u+V)}, \quad (49)$$

где T – время от начала пожара до ожидаемого момента наступления выброса, ч;

H – начальная высота слоя горючей жидкости в резервуаре, м (12 м);

h – высота слоя донной (подтоварной) воды, м (0,3 м);

W – линейная скорость прогрева горючей жидкости, $\text{м}\cdot\text{ч}^{-1}$ ($0,2 \text{ м}\cdot\text{ч}^{-1}$);

u – линейная скорость выгорания горючей жидкости, $\text{м}\cdot\text{ч}^{-1}$ ($0,08 \text{ м}\cdot\text{ч}^{-1}$);

V – линейная скорость понижения уровня вследствие откачки, $\text{м}\cdot\text{ч}^{-1}$ (если откачка не производится, то $V = 0$)» [30].

$$T = (12 - 0,3) / (0,2 + 0,08 + 0) = 41,8 \text{ мин}$$

На основании «Руководства по тушению нефти и нефтепродуктов резервуарах и резервуарных парках» [30] и анализа пожаров в резервуарах с нефтепродуктами разработан наиболее неблагоприятный сценарий развития пожара в резервуаре с дизельным топливом и обваловании в резервуарном парке цеха 006 ФГУП «Комбинат».

Основными причинами возгораний в резервуарных парках нефтепродуктов, как было проанализировано в предыдущих главах, стали: сбои в технологическом процессе, проведение огневых работ, разряды статического электричества, а также неустановленные факторы.

В последнее время одной из наиболее обсуждаемых причин пожаров, приводящих к масштабному развитию, считается воздействие на РВС и объекты ТЭК в результате противоправных действий с использованием беспилотных летательных аппаратов различных типов и классов.

По имеющимся в ГУПО МЧС России сведениям на объектах ТЭК произошло 225 пожаров, из них 172 пожара (рисунок 9) произошли в следствие актов незаконного вмешательства с применением БПЛА, а также иных средств поражения. Преобладающее количество пожаров произошло на территории Южного и Центрального федеральных округов. Однако прослеживается тенденция возникновения пожаров по аналогичным причинам на территории Приволжского федерального округа.

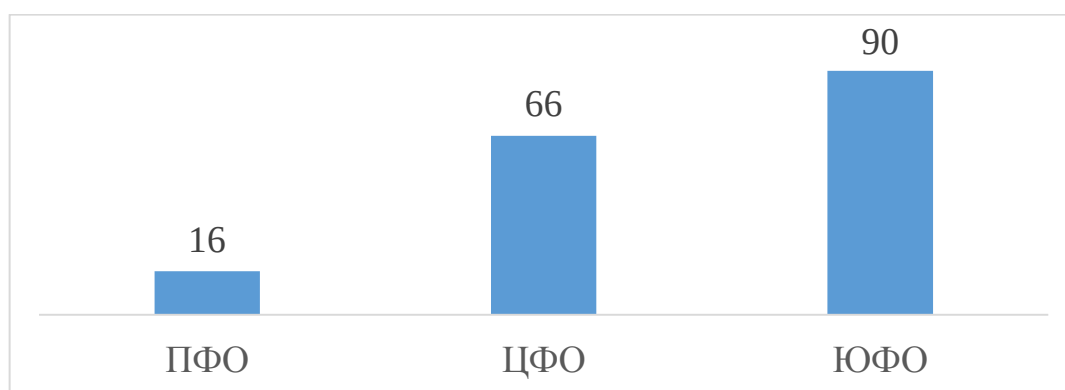


Рисунок 9 – Пожары, произошедшие в следствие актов незаконного вмешательства с применением БПЛА

Основным объектом поражения являлись резервуары стальные вертикальные (РВС). Общее количество поврежденных РВС составило 132 резервуара (подробнее на рисунке 10), а также 31 технологическое оборудование. Основным горючим веществом являлось дизельное топливо, бензин, авиационное топливо.

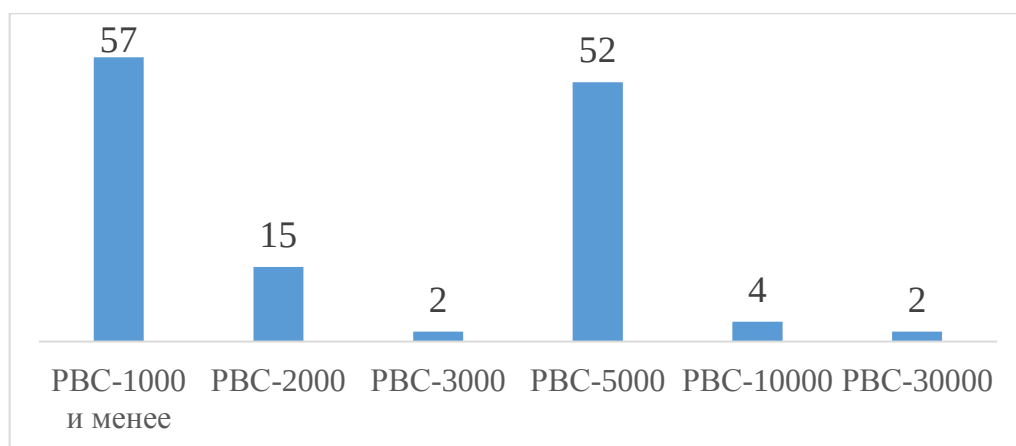


Рисунок 10 – Количество поврежденных РВС

В настоящее время с учетом современных угроз сценарии развития пожаров в резервуарных парках видоизменились. При применении БПЛА с целью поражения РВС на объектах хранения нефтепродуктов пожары, как правило, возникают из-за воспламенения вытекающих (вытекших) из пробоин ГЖ и ЛВЖ. Такие пробоины возникают из-за поражения осколками в результате взрыва взрывчатого вещества (боеприпаса), снаряженного БПЛА.



Рисунок 11 – Примеры поражений РВС военными средствами поражения

Анализ данных о пожарах на объектах ТЭК после начала СВО, вызванных атаками БПЛА, демонстрирует, что при попадании в резервуар, чаще всего повреждения фиксируются в нижней и средней частях резервуара, реже – в верхней и крыше (с 2022 года отмечается тенденция

повреждения нижнего пояса). Осколки от боеприпасов способны повредить несколько резервуаров, что существенно затрудняет локализацию и ликвидацию подобных возгораний.

Тактический замысел: в результате попадания БПЛА в резервуар, произошла разгерметизация и розлив в обвалование горячей жидкости (рисунок 12).

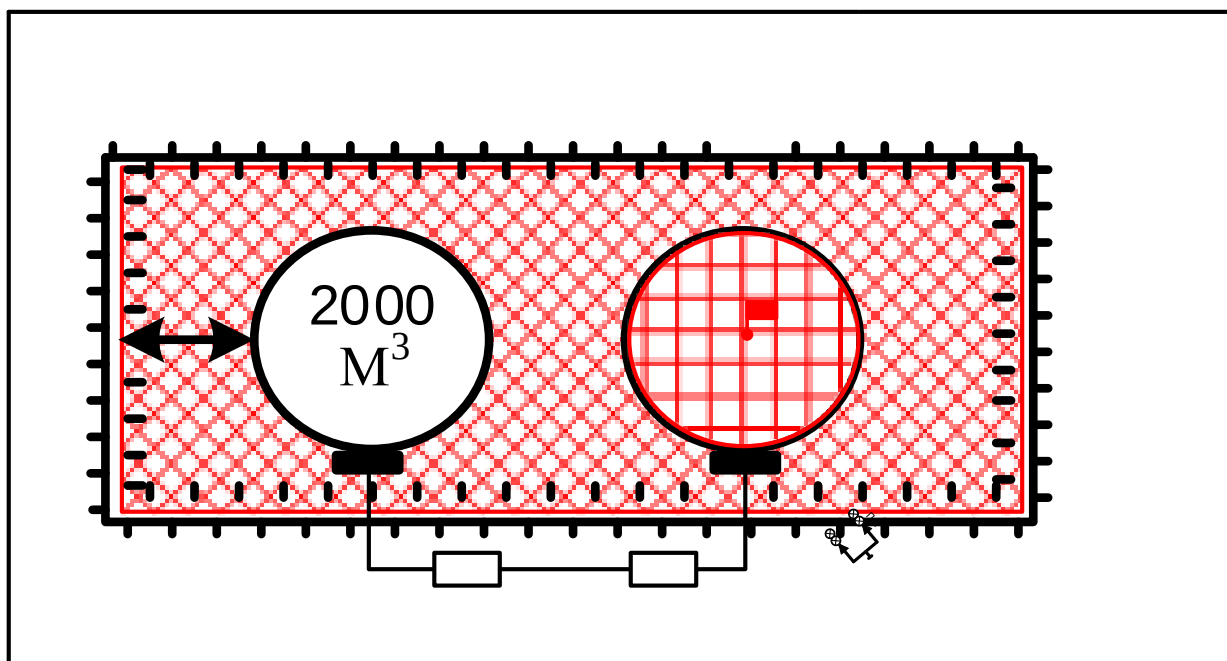


Рисунок 12 - Схема возможного загорания

«На основе анализа пожаров и аварий, происшедших как у нас в стране, так и за рубежом, а также материалов научных исследований пожары в резервуарах и резервуарных парках могут развиваться по следующим вариантам.

Пожары подразделяются на следующие уровни: первый (А) - возникновение и развитие пожара в одном резервуаре без влияния на соседние; второй (Б) - распространение пожара в пределах одной группы; третий (В) - развитие пожара с возможным разрушением горящего и

соседних с ним резервуаров, переходом его на соседние группы резервуаров и за пределы резервуарного парка» [30].

Самые критические условия при пожарах в резервуарах возникают, если происходит полное разрушение резервуара с нефтепродуктами или детонация топливно-воздушной смеси. Это приводит к нарушению прочности сварных швов, соединяющих стенки и днище.

«Первоочередной задачей в действиях пожарных подразделений при тушении пожаров в резервуарах типа РВС является организация охлаждения горящего и соседних резервуаров с применением водяных стволов и (или) стационарных установок охлаждения» [30]. Это обусловлено тем, что устойчивость «горящего резервуара зависит от организации действий по его охлаждению. При отсутствии охлаждения горящего резервуара в течение 5 – 15 минут стенка резервуара деформируется до уровня разлива горючей жидкости» [30]. Это может привести к вытеканию горячей ЛВЖ или ГЖ в обвалование или даже за его пределы.

Ключевым аспектом выступает объем воды, используемой для охлаждения, а также скорость ее подачи. На сегодняшний день, основным средством для ликвидации возгораний нефти и нефтепродуктов в резервуарных хранилищах является воздушно-механическая пена средней кратности.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в ходе мероприятий по тушению масштабных пожаров, возникших в результате возгорания нефтепродуктов при разливе, осложненном затрудненным доступом к очагам воспламенения, расположенным внутри резервуаров, нередко отмечалась нехватка точности в определении необходимой интенсивности подачи пены. При расчетах требуемого объема пенного раствора зачастую пренебрегали критическими факторами, включая продолжительность горения до начала активного тушения и высоту незаполненного пространства в резервуаре. Как результат, наблюдалось заметное увеличение времени, затрачиваемого на ликвидацию пожара, относительно нормативных показателей. В конечном

счете, для тушения пожара расходовалось значительно больше пенообразователя, чем планировалось изначально.

3.3 Оперативно-тактические мероприятия по привлечению сил и средств для обеспечения пожарной безопасности объекта

Для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на территории городского округа «Город Лесной», в случае пожара в резервуарном парке цеха 006 ФГУП «Комбинат», в соответствии с «Расписанием выезда подразделений местного пожарно-спасательного гарнизона городского округа «Город Лесной» (таблица 14) пожару присваивается номер (ранг пожара) «Пожар №2», автоматически. К месту пожара направляются силы и средства местного пожарно-спасательного гарнизона (подразделения ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России», ведомственная пожарная охрана войсковой части 40274 и сопредельных муниципальных образований (города Качканар и Нижняя Тура)) в следующем составе: 11 АЦ – с насосами производительностью 40 л/с, 1 – АЛ-30.

Таблица 14 - Расписание выезда гарнизона пожарной охраны

Ранг пожара	Подразделение, место дислокации	Количество и тип пожарных автомобилей, шт.	Численность боевого расчета, чел.	Время следования, мин.
2	СПСЧ № 1	2 АЦ	8	3 мин
	СПСЧ № 2	1 АЦ, 1 АЛ	5	12 мин
	СПСЧ № 3	1 АЦ	4	6 мин
	СПСЧ № 4	1 АЦ	4	20 мин
	СПСЧ № 5	1 АЦ	4	15 мин
	СПСЧ № 7	1 АЦ	4	8 мин
	ПСЧ № 166	1 АЦ	4	30 мин
	ПСЧ № 272	1 АЦ	4	60 мин
	в/ч 4027	2 АЦ	4	20 мин
	СПТ	АШ	1	6 мин

При получении сообщения о повышенном номере вызова «Пожар №2» и последующем его подтверждении, согласно указанию руководителя тушения пожара, организуется сбор должностных лиц гарнизона, личного состава подразделений ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России», не задействованных в текущих дежурствах. Укомплектовывается резервная техника, которая в случае недостатка сил и средств на пожаре используется.

При тушении масштабного и затяжного пожара, равно как и при возникновении обоснованной необходимости, к месту пожара может быть оперативно направлено дополнительное количество сил и средств территориального пожарно-спасательного гарнизона Главного управления МЧС России по Свердловской области.

Тактический замысел: возникновение и развитие пожара в одном резервуаре, разрушение резервуара и выход дизельного топлива в обвалование.

«Определяем время свободного развития пожара» [40]:

$$T_{\text{св}} = T_{\text{обн}} + T_{\text{сооб}} + T_{\text{сб}} + T_{\text{сл}} + T_{\text{бр}}, \quad (50)$$

где « $T_{\text{обн}}$ – время от момента возникновения пожара до сообщения о нем, мин;

$T_{\text{сооб}}$ – время обработки информации, мин;

$T_{\text{сб}}$ – время сбор и выезда по тревоге, мин;

$T_{\text{сл}}$ – время следования, мин (сюда входит время обработки информации,);

$T_{\text{бр}}$ – время боевого развертывания, мин» [40].

$$T_{\text{св}} = 5 + 1 + 1 + 6 + 6 = 20 \text{ минут}$$

«Определяем необходимое количество лафетных стволов с $d_H=32$ мм на охлаждение горящего резервуара» [40] в горящем обваловании:

$$N_{\text{охл}}^{\Gamma} = \frac{P_{\Gamma} \cdot I_{\text{тр}}^{\Gamma}}{q_{\text{ст}}}, \quad (51)$$

где « P_{Γ} , $P_{\text{с}}$ – периметр резервуара, м;

$I_{\text{тр}}^{\Gamma}$, $I_{\text{тр}}^{\text{с}}$ – требуемая интенсивность подачи воды для охлаждения горящего и соседнего резервуаров, л/с·м;

$q_{\text{ст}}$ – расход воды из одного пожарного ствола, л/с» [40].

$$N_{\text{охл}}^{\Gamma} = 3,14 \cdot 12 \cdot 1,2 / 20 = 2,26 \approx 3 \text{ ствола}$$

(в нашем случае 3 ствола ПЛС-20)

«Определяем необходимое количество ручных стволов, предназначенных для охлаждения соседнего резервуара» [40]:

$$N_{\text{охл}}^{\text{с}} = \frac{P_{\text{с}} \cdot I_{\text{тр}}^{\text{с}}}{q_{\text{ст}}}, \quad (52)$$

$$N_{\text{охл}}^{\text{с}} = 3,14 \cdot 12 \cdot 0,3 / 8 = 1,41 \approx 2 \text{ ствола}$$

(в нашем случае 2 ствола КУРС-8)

«Определяем требуемое количество ГПС-600 пенных стволов на ликвидацию горения» [40]:

$$N = \frac{S_{\text{п}} \cdot I_{\text{тр}}}{q_{\text{р-р}}}, \quad (53)$$

где « $S_{\text{п}}$ – площадь поверхности жидкости в резервуаре, м²;

$I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи водного раствора пенообразователя на ликвидацию горения, л/с·м²;

$q_{\text{р-р}}$ – расход водного раствора пенообразователя из ствола ГПС-600, л/с» [40].

Определяем площадь пожара:

$$S_{\text{п}}^{\text{обв}} = S_{\text{обв}} - S_{\text{зер}}^{\text{рез}}. \quad (54)$$

$$S_{\text{зер}}^{\text{рез}} = 113,1 \cdot 2 = 266,2 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{п}}^{\text{обв}} = 25 \cdot 60 - 266,2 = 1233,8 \text{ м}^2$$

$$N = 1233,8 \cdot 0,05 / 6 = 10$$

(на тушение пожара в обваловании необходимо подать 10 стволов ГПС-600)

$$N = 113,1 \cdot 0,05 / 6 = 1,5 \approx 2 \text{ ствола}$$

(на тушение пожара резервуара необходимо подать 2 ствола ГПС-600)

«Определяем необходимое количество 6%-го раствора пенообразователя» [40] (ПО-6НП):

$$W_{\text{по}} = q_{\text{по}} N \tau_{\text{н}} k, \quad (55)$$

где « $q_{\text{по}}$ – расход пенообразователя из ствола ГПС-600 при 6%

концентрации раствора, л/с;

N – требуемое количество генераторов пены средней кратности для тушения горячей жидкости, шт.;

$\tau_{\text{н}}$ – нормативное время тушения, мин;

60 – коэффициент перевода значения в секунды;

k – коэффициент запаса» [40].

$$W_{\text{по}} = 0,36 \cdot 12 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 = 11664 \text{ л} = 11,66 \text{ м}^3$$

«Определяем общее количество воды для охлаждения и пенообразования» [40]:

$$Q_{\text{общ}} = N_{\text{ст}}^{\text{Г}} q_{\text{ст}} + N_{\text{ст}}^{\text{С}} q_{\text{ст}} + N_{\text{ГПС}} q_{\text{ГПС}}^{\text{В}}, \quad (56)$$

где « $N_{\text{ГПС}}$ – количество ГПС-600 на тушение, шт.;

$N_{\text{ст}}^{\text{Г}}$ – количество ручных стволов на охлаждение горящего резервуара, шт.;

$N_{\text{ст}}^{\text{С}}$ – количество ручных стволов на охлаждение соседнего резервуара, шт.;

$q_{\text{ГПС}}^{\text{В}}$ – расход воды из ствола ГПС-600, л/с;

$q_{\text{ст}}$ – расход воды из пожарного ствола, л/с» [40].

$$Q_{\text{общ}} = 3 \cdot 20 + 2 \cdot 8 + 12 \cdot 5,64 = 143,68 \text{ л/с}$$

Определяем численность личного состава для тушения пожара:

- для обеспечения работы потов безопасности ГДЗС («посты безопасности ГДЗС выставляются во всех случаях, когда РТП принимает решение о формировании на месте пожара звеньев ГДЗС. На каждое сформированное звено ГДЗС, направляемое в зону с непригодной для дыхания средой, выставляется пост безопасности ГДЗС. В исключительных случаях при проведении спасательных работ по решению РТП пост безопасности выставляется на два работающих звена ГДЗС» [21]):

$$N_{\text{ПБ}} = 15 \text{ человек};$$

- для охлаждения горящего резервуара при помощи лафетных стволов («при ведении боевых действий по тушению пожаров и проведении АСР в непригодной для дыхания среде формируется звено ГДЗС, состоящее не менее чем из трех газодымозащитников, включая командира звена ГДЗС» [21]):

$$N_{\text{зв.ГДЗС}}^{\text{гор}} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ человек};$$

- для работы со стволами по охлаждению соседнего резервуара:

$$N_{\text{зв.ГДЗС}}^{\text{защ.}} = 2 \cdot 3 = 6 \text{ человек};$$

- для работы со стволами ГПС-600:

$$N_{\text{ств.обвал.}}^{\text{ГПС туш.}} = 10 \cdot 3 = 30 \text{ человек};$$

- для защиты личного состава:

$$N_{\text{ств}}^{\text{защ.л/с}} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ человек};$$

- резервных звеньев ГДЗС:

$$N_{\text{зв.ГДЗС}}^{\text{рез}} = 5 \cdot 3 = 15 \text{ человек.}$$

$$N_{\text{л.с.}} = N_{\text{зв.ГДЗС}}^{\text{гор}} + N_{\text{зв.ГДЗС}}^{\text{защ.}} + N_{\text{ств.обвал.}}^{\text{ГПС туш.}} + N_{\text{ств}}^{\text{защ.л.с.}} + N_{\text{ПБ}} + N_{\text{зв.ГДЗС}}^{\text{рез}} \quad (57)$$

$$N_{\text{л.с.}} = 9 + 6 + 30 + 8 + 15 + 15 = 83 \text{ человека}$$

Требуемое количество отделений на основных пожарных автомобилях:

$$N_{\text{отд.}} = 83/5 = 17 \text{ отделений}$$

Схема объекта защиты с расстановкой сил и средств при пожаротушении (сценарий расчета № 1) представлена в приложении Б.

На рисунке 13 показаны варианты отработки действий пожарных ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России» по охлаждению резервуара с использованием лафетного ствола и ручных пожарных стволов, выход на позиции ствольщиков с применением ГПС-600 и при помощи АЛ-50 для подготовки к пенной атаке.



Рисунок 13 – Отработка действий пожарными ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России» по тушению резервуаров

Выводы: Согласно расчетам, которые были получены для тушения пожара в обваловании и резервуаре с дизельным топливом, имеющихся сил и средств, привлекаемых местным пожарно-спасательным гарнизоном по вызову «Пожар №2» (установленному автоматически для данного объекта), оказывается недостаточно. Требуется привлечение дополнительных резервов. Это предполагает привлечение резервной техники и личного состава гарнизона, свободных от несения службы.

Для эффективного тушения пожара, согласно расчетам, требуется 12 единиц ГПС-600 и приблизительно 12 м³ пенообразователя марки ПО-6НП. На данный момент, в резерве пожарного подразделения имеется 6 м³. Из этого объема 4 м³ включены в боевой расчет и хранятся в закрытых

полимерных емкостях, установленных на ЗИЛ-131 (вспомогательная техника, на борту которого сосредоточен резервный запас пенообразователя).

Водоотдача участка противопожарного водопровода, питающего резервуарный парк, равняется 265 л/с. Этого объема воды будет достаточно для поддержания бесперебойной работы пожарных стволов, необходимых для охлаждения горящего и прилегающих резервуаров, а также тушение пожара в обваловании и резервуаре.

3.4 Анализ, оценивание результативности и экономической эффективности предлагаемых мер организации пожаротушения силами подразделений местного пожарно-спасательного гарнизона

Для тушения пожаров на объекте хранения нефтепродуктов необходим большой запас пенообразователя. Расчет, охватывающий силы и средства местного пожарно-спасательного гарнизона, проведенный с учетом самого неблагоприятного развития событий для тушения пожара, указал на критическую нехватку запасов огнетушащих веществ (конкретно ПО) в гарнизоне пожарной охраны. В связи с этим, на сегодняшний день, необходимо в расписании выездов предусмотреть договоренность о доставке дополнительных объемов ПО к предполагаемому месту пожара. Это, в свою очередь, потребует привлечения дополнительной специализированной техники и повлечет за собой увеличение периода свободного горения. Также необходимо учитывать и тот факт, что тушение будет производиться поэтапно, сначала в обваловании, потом в резервуаре, что так же увеличит время ликвидации.

В соответствии с выявленной проблемой – недостаточности хранимого ПО, предлагаю рассмотреть вариант закупки другого пенообразователя.

Ранее во втором разделе данной работы были рассмотрены пенообразователи в зависимости от области применения в России.

В ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России» для целей пожаротушения применяется ПО-6НП – «синтетический углеводородный

пенообразователь, не содержащий фторированные поверхностно-активные вещества, используемый для тушения водонерастворимых горючих жидкостей и для тушения пожаров класса А в качестве смачивателя» [30]. По химическому составу пенообразователи общего назначения классифицируются как синтетические углеводородные типа S.

Помимо ПО общего назначения, к которым относится ПО-6НП, существуют ПО целевого назначения. Для примера возьмем пенообразователь «PETROFILM» – «протеиновый фторсодержащий пленкообразующий пенообразователь, используемый для тушения водонерастворимых горючих жидкостей» [30]. Относится к типу FFFP.

Фторсодержащие поверхностноактивные добавки в сочетании с протеиновой основой обеспечивают быструю локализацию и тушение возгораний углеводородов благодаря образованию пенного покрытия, с высокой устойчивостью к жару и проникновению продуктов горения (пожары, требующие максимально быстрых локализации и тушения).

Обеспечивает плотное паронепроницаемое пенное покрытие на разливе горючих жидкостей, а также образует самовосстанавливающуюся после механического нарушения защитную пленку, предотвращающую растворение пены полярными растворителями (предупреждение повторного воспламенения).

Сравнивая технические показатели пенообразователей ПО-6НП и «PETROFILM», можно заметить преимущества второго по температуре застывания и более длительному сроку годности. Более подробно сравнительные характеристики можно увидеть в таблице 15.

Таблица 15 – Технические показатели пенообразователей, имеющих Российский сертификат пожарной безопасности

Показатели	Пенообразователь общего назначения	Пленкообразующий фторсодержащий пенообразователь
	ПО-6НП	«PETROFILM»
Плотность при 20 ⁰ С, кг·м ³ ·10 ³	1,04	1,01...1,10

Продолжение таблицы 15

Показатели	Пенообразователь общего назначения	Пленкообразующий фторсодержащий пенообразователь
	ПО-6НП	«PETROFILM»
Кинематическая вязкость при 20° С, мм²/с, не более	50	50
Температура застывания, °С, не выше	-8	от -15 до -40
Водородный показатель pH	7,0 – 10,0	6,5...8,5
Концентрация рабочего раствора, % (об.)	6	6
Гарантийный срок хранения, лет	3	более 15
Биоразлагаемость	Б\М	Б\М

В связи с высокой устойчивостью к продуктам горения может быть использован как для жесткой подачи, так и для подслоного способа тушения.

Произведем расчет тушения аналогичного пожара в резервуаре и в обваловании, но уже с применением пенообразователя «PETROFILM»:

«Определяем необходимое количество лафетных стволов с $d_H=32$ мм на охлаждение горящего резервуара» [40] в горящем обваловании по формуле (51):

$$N_{\text{охл}}^{\Gamma} = 3,14 \cdot 12 \cdot 1,2 / 20 = 2,26 \approx 3 \text{ ствола}$$

(в нашем случае 3 ствола ПЛС-20)

«Определяем необходимое количество ручных стволов, предназначенных для охлаждения соседнего резервуара» [40] по формуле (52):

$$N_{\text{охл}}^{\text{с}} = 3,14 \cdot 12 \cdot 0,3 / 8 = 1,41 \approx 2 \text{ ствола}$$

(в нашем случае 2 ствола КУРС-8)

Определяем площадь пожара по формуле (54):

$$S_{\text{зеп}}^{\text{рез}} = 113,1 \cdot 2 = 266,2 \text{ м}^2$$

$$S_{\Pi}^{\text{обв}} = 25 \cdot 60 - 266,2 = 1233,8 \text{ м}^2$$

«Определяем требуемое количество ГПС-600 пенных стволов на ликвидацию горения» [40] по формуле (53):

$$N = 1233,8 \cdot 0,03 / 6 = 6,169 \approx 7$$

(на тушение пожара в обваловании необходимо подать 7 стволов ГПС-600)

$$N = 113,1 \cdot 0,03 / 6 = 0,56 \approx 1$$

(на тушение пожара резервуара необходимо подать 1 ствол ГПС-600)

«Определяем необходимое количество 6%-го раствора пенообразователя» [40] («PETROFILM») по формуле (55):

$$W_{\text{по}} = 0,36 \cdot 8 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 = 7776 \text{ л} = 7,776 \text{ м}^3$$

«Определяем общее количество воды для охлаждения и пенообразования» [40] по формуле (56):

$$Q_{\text{общ}} = 3 \cdot 20 + 2 \cdot 8 + 8 \cdot 5,64 = 121,12 \text{ л/с}$$

Определяем численность личного состава для тушения пожара по формуле (57):

- для обеспечения работы потов безопасности ГДЗС («посты безопасности ГДЗС выставляются во всех случаях, когда РТП принимает решение о формировании на месте пожара звеньев ГДЗС. На каждое сформированное звено ГДЗС, направляемое в зону с непригодной для дыхания средой, выставляется пост безопасности ГДЗС. В исключительных случаях при проведении спасательных работ по решению РТП пост безопасности выставляется на два работающих звена ГДЗС» [21]):

$$N_{\text{ПБ}} = 12 \text{ человек};$$

- для охлаждения горящего резервуара при помощи лафетных стволов («при ведении боевых действий по тушению пожаров и проведении АСР в непригодной для дыхания среде формируется звено ГДЗС, состоящее не менее чем из трех газодымозащитников, включая командира звена ГДЗС» [21]):

$$N_{\text{зв.ГДЗС}}^{\text{гор}} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ человек};$$

- для работы со стволами по охлаждению соседнего резервуара:

$$N_{\text{зв.ГДЗС}}^{\text{защ.}} = 2 \cdot 3 = 6 \text{ человек};$$

- для работы со стволами ГПС-600:

$$N_{\text{ств.обвал.}}^{\text{ГПС туш.}} = 7 \cdot 3 = 21 \text{ человек};$$

- для защиты личного состава:

$$N_{\text{ств}}^{\text{защ.л/с}} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ человек};$$

- резервных звеньев ГДЗС:

$$N_{\text{зв.ГДЗС}}^{\text{рез}} = 5 \cdot 3 = 15 \text{ человек.}$$

$$N_{\text{л.с.}} = 9 + 6 + 21 + 8 + 15 + 12 = 71 \text{ человек}$$

Требуемое количество отделений на основных пожарных автомобилях:

$$N_{\text{отд.}} = 71/5 = 14,2 = 15 \text{ отделений}$$

Схема объекта защиты с расстановкой сил и средств при пожаротушении (сценарий расчета № 2) размещена в приложении В.

Выводы: Согласно расчетам, которые были получены для тушения пожара в обваловании и резервуаре с дизельным топливом, имеющихся сил и средств, привлекаемых местным пожарно-спасательным гарнизоном по вызову «Пожар №2» (установленному автоматически для данного объекта), оказывается недостаточно. Требуется привлечение дополнительных резервов. Это предполагает привлечение резервной техники и личного состава гарнизона, свободных от несения службы.

Для эффективного тушения пожара, согласно расчетам, требуется 8 единиц ГПС-600 и приблизительно 8 м³ пенообразователя марки «PETROFILM».

Водоотдача участка противопожарного водопровода, питающего резервуарный парк, равняется 265 л/с. Этого объема воды будет достаточно для поддержания бесперебойной работы пожарных стволов, необходимых для охлаждения горящего и прилегающих резервуаров, а также тушение пожара в обваловании и резервуаре.

Сил и средств гарнизона для тушения данного пожара достаточно (при условии закупки пенообразователя «PETROFILM»).

В соответствии с двумя проведенными расчетами для тушения пожара в резервуарном парке цеха 006 ФГУП «Комбинат» необходимо привлечь силы и средства местного пожарно-спасательного гарнизона (подразделения ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России», ведомственная пожарная охрана войсковой части 40274 и сопредельных муниципальных образований (города Качканар и Нижняя Тура)) по вызову «Пожар № 2», который установлен на данный объект автоматически. Однако, в первом варианте решения задачи необходимо привлекать дополнительное оборудование и технику из соседних подразделений для своевременной поставки нужного объема пенообразователя. Это, как следствие, увеличивает общий период времени, требуемый для полной локализации очага возгорания. Более того, суммарное количество используемой техники, специализированного пожарного оборудования и личного состава значительно. При втором варианте тушения пожара заметны существенные преимущества:

- сокращается время разворачивания сил и средств, быстрее начинается тушение;
- боевые позиции пожарных-ствольщиков находятся дальше от очага (подача низкократной пены эффективна на расстоянии 25-30 метров);
- повышается мобильность пожарных, при повторной угрозе (повторного прилета БПЛА), они могут быстро покинуть опасную зону;
- требуется меньше пеногенераторов и нет необходимости в дополнительных стволах для защиты и охлаждения;
- задействовано меньше сил и средств;
- сокращается количество затраченного пенообразователя (примерно на 4 м³), тем самым уменьшая затраты на хранение и доставку.

В свою очередь пена, получаемая из протеинового фторсодержащего пенообразователя «PETROFILM»:

- сочетает в себе максимальную изолирующую способность, эффективное тушение, исключаящее «не дотушивание», повторные возгорания и взрывы после ликвидации горения, а также высокую инертность к нефтепродуктам;
- преимуществами конкретно этого пенообразователя выступают: продолжительный срок годности, стойкость к отрицательным температурам, способность создания пены с водой, вне зависимости от ее жесткости;
- тушение возможно как надслойным методом, так и подслойным способом с применением штатного пожарного оборудования;
- очевидная экономическая выгода (умеренная цена, экономичный расход, учитывая длительный срок хранения, отпадает необходимость частой закупки).

Таблица 16 – Сравнительная таблица расчета сил и средств для тушения пожара по расчету № 1 и № 2

Расчет сил и средств	Площадь пожара	Количество ГПС-600	Пенообразователь		Количество личного состава, задействованных в тушении пожара
			Тип	Расход	
№ 1	1233,8 м ²	12 стволов	ПО-6НП	11640 л	83 человека (17 отделений)
№ 2		8 стволов	«PETROFILM»	7776 л	71 человек (15 отделений)

Вопросы экономической обоснованности инженерных решений, применяемых для повышения уровня пожарной безопасности на объектах, приобретают особую значимость в контексте функционирования рыночной системы.

Для определения экономической целесообразности, произведем анализ представленных выше двух вариантов тушения пожара в резервуаре, заполненном дизельным топливом:

- вариант № 1 – пеной средней кратности пенообразователем общего назначения ПО-6НП;
- вариант № 2 – пеной низкой кратности на основе пленкообразующего фторсодержащего пенообразователя «PETROFILM» (производитель Ивановский химзавод).

Для расчета стоимости пенообразователя возьму произведение количества на цену:

$$C_{\text{ПО}} = C_{\text{ПО}} \cdot K_{\text{ПО}}, \quad (58)$$

где $C_{\text{ПО}}$ – цена единицы пенообразователя, руб.;

$K_{\text{ПО}}$ – количество пенообразователя для тушения пожара, м³.

Примерная средняя стоимость 200 л пенообразователя ПО-6НП составляет 21120 рублей, «PETROFILM» – 19440 рублей, то есть 1 литр стоит соответственно 106 и 98 рублей.

$$C_{\text{ПО-6НП}} = 12 \cdot 106000 = 1272000 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{PETROFILM}} = 8 \cdot 98000 = 784000 \text{ руб.}$$

Экономическая эффективность:

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2, \quad (59)$$

где Z_1 – затраты на тушение пожара по варианту № 1 (ПО-6НП), руб./пож.;

Z_2 – затраты на тушение пожара по варианту № 2 («PETROFILM»), руб./пож.

$$Z = C_A + C_{\text{кр}} + C_{\text{ТО}} + C_{\text{ТОП}} + C_{\text{СМ}} + C_{\text{ОС}}, \quad (60)$$

где C_A – амортизационные отчисления, руб./пож.;

$C_{кр}$ – затраты на капитальный ремонт, руб./пож.;

$C_{то}$ – затраты на техническое обслуживание, руб./пож.;

$C_{топ}$ – затраты на топливо, руб./пож.;

$C_{см}$ – затраты на смазочные материалы, руб./пож.

$C_{ос} = C_{по}$ – затраты на огнетушащие средства, руб./пож.

В данном случае, решающим показателем является $C_{ос}$, так как остальные показатели (амортизационные отчисления, затраты на капитальный ремонт, техническое обслуживание, топливо и топливо) при тушении пожара в обоих рассматриваемых вариантах будут сопоставимыми.

Тогда:

$$З = C_{ос} . \quad (61)$$

$$C_{ос/вар.1} = C_{по/вар.1} = 1272000 \text{ руб.}$$

$$C_{ос/вар.2} = C_{по/вар.2} = 784000 \text{ руб.}$$

$$Э = 1272000 - 784000 = 488000 \text{ руб.}$$

Необходимо также отметить, что сравниваемые пенообразователи имеют разный гарантийный срок хранения (ПО-6НП – 3 года, «PETROFILM» – 15 лет). Поэтому произведем расчет затрат на приобретение необходимого количества пенообразователя на 15 лет:

- пенообразователь «PETROFILM» потребуется однократно закупить:

$$C_{ос/PETROFILM} = 784000 \text{ руб.}$$

- пенообразователь марки ПО-6НП потребуется произвести 5 закупок:

$$C_{ос/по-6НП} = 5 \cdot 1272000 = 6360000 \text{ руб.}$$

Таким образом,

$$Э = 6360000 - 784000 = 5576000 \text{ руб.}$$

Из произведенных расчетов следует, что тушение пожара в резервуарном парке цеха 006 ФГУП «Комбинат» экономически выгоднее производить пенообразователем марки «PETROFILM» и по затратам на его закупку, и по техническим характеристикам, и по количеству личного состава, участвующего в тушении пожара. Данный факт рекомендуется учитывать контрактной службе ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России» по планировании закупок пенообразователя.

Выводы по третьему разделу.

Таким образом, в соответствии с нормативными документами, тушение и водяное охлаждение на объекте защиты предусматривается мобильными средствами пожаротушения ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России», законных оснований обязывать руководство ФГУП «Комбинат» оборудовать цех 006 дополнительными системами нет.

Подтверждено, что для тушения пожаров на объекте хранения нефтепродуктов необходим большой запас пенообразователя. Расчет, охватывающий силы и средства местного пожарно-спасательного гарнизона, проведенный с учетом самого неблагоприятного развития событий для тушения пожара, указал на критическую нехватку запасов огнетушащих веществ (конкретно ПО) в гарнизоне пожарной охраны. В соответствии с выявленной проблемой – недостаточности хранимого ПО, предложено рассмотреть вариант закупки другого пенообразователя.

Из произведенных расчетов следует, что тушение пожара в резервуарном парке цеха 006 ФГУП «Комбинат» экономически выгоднее производить пенообразователем марки «PETROFILM» и по затратам на его закупку, и по техническим характеристикам, и по количеству личного состава, участвующего в тушении пожара. Данный факт рекомендуется учитывать контрактной службе ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России» по планировании закупок пенообразователя.

Заключение

Подводя итоги, необходимо отметить, что на данный момент пожарная безопасность остается ключевым аспектом общей безопасности на предприятиях. Наиболее катастрофическими считаются пожары, возникающие в процессе добычи, перевозки или хранения углеводородов. Резервуары для нефти фигурируют в числе наиболее распространенных причин пожаров в наши дни. Пожары на складах нефтепродуктов отличаются высокой концентрацией задействованных сил и средств, а также продолжительным временным периодом ликвидации последствий. «Время полного тушения имеющегося загорания варьируется в пределах от одного часа до 4-6 суток» [45].

Пожарная безопасность является важнейшим аспектом на объектах хранения нефтепродуктов, учитывая легковоспламеняющийся характер хранящихся материалов. Нарушения требований пожарной безопасности могут значительно повысить риск возникновения пожаров, приводящих к катастрофическим последствиям.

На стадии профилактики первостепенное значение имеет освоение регламентов, норм, распоряжений, предписаний, правил и инструкций, касающихся эксплуатации пожароопасных сооружений, что входит в должностные обязанности инженерно-инспекторского состава групп профилактики пожаров подразделений. В тоже время, до возникновения реального пожара, важен детальный анализ оперативно-тактических характеристик объекта защиты для выбора наиболее эффективного средства пожаротушения и методики его использования, что в компетенции руководства реагирующих подразделений.

В научных публикациях приведены основные сведения о составе, физико-химических свойствах нефти и продуктов её переработки. Дан анализ пожарной опасности основных технологических процессов типового оборудования нефтеперерабатывающих заводов. Описаны противопожарные

мероприятия для резервуарных парков и других объектов нефтеперерабатывающих заводов. Ученые заложили научные основы обеспечения пожарной безопасности производств, став инициаторами научных исследований по актуальным проблемам противопожарной защиты производственных объектов. Знание характеристик пожарной опасности, присущих технологическим процессам, критически важно для аргументирования выбора мер пожарной профилактики. Это касается и строительства, и эксплуатации электрооборудования, и планирования проведения тушения пожаров на предприятиях нефтепереработки.

Развитие технологии позволило за последние годы существенно уменьшить число опасных происшествий в нефтегазовой отрасли. Несмотря на осуществление обширного комплекса мероприятий по обеспечению пожарной безопасности резервуарных парков в них происходят пожары как у нас в стране, так и за рубежом. Этот аспект подчеркивает потребность в дальнейшем улучшении мер пожарной безопасности на указанных территориях.

Множество научных работ обращается к изучению проблемы пожаров, а также к анализу текущего состояния резервуарных парков, предназначенных для хранения нефти и нефтепродуктов на территории России, анализу специфики обеспечения пожарной безопасности в подобных зонах. Поднимается вопрос о необходимости установления причинно-следственных связей. Ведь, игнорирование правил пожарной безопасности приводит к ежегодному нанесению ущерба зданиям, сооружениям, и, что еще важнее, к ущербу жизни и здоровью людей. В связи с этим, ключевое значение приобретает комплекс мер, направленных на профилактику чрезвычайных ситуаций. Вопреки распространенному убеждению о непредсказуемости подобных происшествий, опыт показывает, что большинство из них можно предотвратить.

Анализ пожаров на предприятиях нефтехранения позволяет выделить ключевой момент: почти все из них обусловлены сложным взаимодействием

нескольких факторов. Каждый из этих факторов по отдельности не может стать причиной серьезного пожара, но их одновременность (сочетанность) приводит к катастрофическим результатам.

Из приведенных выше данных вполне очевидно следует вывод о том, что основная причина лежит в человеческом факторе – ошибках персонала.

Таким образом, не теряющие актуальности вопросы обеспечения пожарной безопасности на складах нефтяного сектора, в частности нефтебаз и резервуарных парков, затрагиваются авторами публикаций с тем, чтобы руководство, инженерный персонал, проектировщики и непосредственные исполнители работ могли четко понимать все процессы и решения.

Требования к обеспечению пожарной безопасности процесса хранения нефтепродуктов определяются федеральными, отраслевыми нормативами и правилами.

Законодательство Российской Федерации в области пожарной безопасности постоянно совершенствуется.

Россия является одним из крупнейших добытчиков нефтяного энергоресурса, поэтому количество резервуарных парков в нашей стране велико. Все эти аспекты выделяют, высокую актуальность данной темы сейчас.

Таким образом, законодательно предусматривает меры, гарантирующие надлежащую пожарную безопасность при хранении нефтепродуктов. Указанные нормы и правила подлежат обязательному учету на этапах проектирования, оснащения и организации работы резервуарных парков. Каждый аспект критически важен, и пренебрежение ими влечет за собой рост пожарных угроз на подобных объектах.

Обеспечение пожарной безопасности достигается благодаря грамотной организации и эксплуатации технологических процессов и оборудования. Безусловно, все применяемые меры по обеспечению пожарной безопасности должны быть экономически обоснованы, что, в полной мере нельзя сказать, про автоматические установки пожаротушения, целесообразность

применения которых не оправдывает возложенных на них функций тушения в первые минуты с момента появления пламени.

За последние три года получено не более десяти патентов на изобретения, относящиеся к области пожарной безопасности, а именно к устройствам, средствам защиты от пожара и тушения пожаров в резервуарах, предназначенных для хранения взрывоопасных веществ, таких как нефть и нефтепродукты.

Данная тема является актуальной, так как, несмотря на сложный экономический период развития нашей страны, темпы развития в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отрасли, как важной части топливно-энергетического комплекса, продолжают расти.

Рассмотрев различные сценарии аварийной ситуации в резервуарном парке, были рассчитаны зоны разрушения и границы поражения людей, производственных зданий и РВС при взрыве облака газопаровоздушной смеси. Отмечается, что люди, которые будут находиться в момент взрыва в здании насосной дизельного топлива, могут быть подвержены нижнему порогу повреждения волной давления.

Превентивные меры имеют решающее значение для недопущения возникновения аварий. Требуется осуществлять регулярное техническое обслуживание и инспекцию оборудования, разрабатывать и внедрять планы действий в чрезвычайных ситуациях, а также проводить обучение персонала правилам безопасного функционирования объекта. Вложения в профилактику всегда оказываются более рациональными, чем расходы на устранение последствий аварийных происшествий.

Определяя соответствие объекта защиты современным требованиям пожарной безопасности, которые можно найти в различных кодексах, приказах и стандартах, и охватывают они различные аспекты пожарной безопасности, включая системы пожаротушения, огнетушители, пожарную сигнализацию и обучение пожарной безопасности, можно сделать вывод о хорошем уровне оснащения в цехе 006 ФГУП «Комбинат».

Дальнейшее поддержание противопожарной безопасности на объекте хранения нефтепродуктов требует повышенного внимания и должно оставаться первостепенной задачей для руководства. Учитывая высокую пожарную опасность нефтепродуктов, все лица, связанные с хранением, переработкой и розливом, обязаны неукоснительно соблюдать установленные требования и нормы, содержащиеся в нормативных актах. Неконтролируемая чрезвычайная ситуация, спровоцированная нарушением правил пожарной безопасности, может повлечь за собой значительные материальные убытки.

Установлено, что пожары в резервуарных хранилищах несут за собой не только крупные материальные убытки, но и требуют значительных ресурсов, привлечения сил и средств пожарных частей, а также запаса огнетушащих веществ.

Проектная модель развития пожара, изучалась и практиковалась в 80-е годы, предусмотрена в документах по пожарной безопасности, описывает возникновение пожара в следствие нарушений в работе технологического оборудования или неосторожного обращения с огнем. В настоящее время с учетом современных угроз сценарии развития пожаров в резервуарных парках видоизменились. В связи с этим и был выбран тактический замысел, разработан наиболее неблагоприятный сценарий развития пожара в резервуаре с дизельным топливом и обваловании в резервуарном парке цеха 006 ФГУП «Комбинат».

В диссертации произведены расчеты сил и средств по вариантам тушения в резервуарном парке подразделениями ФГКУ «Специальное управление ФПС № 6 МЧС России» пенообразователем общего назначения и пенообразователем целевого назначения. Использование пенообразователя марки «PETROFILM» имеет существенные преимущества, главное из которых человеческие ресурсы.

Произведена экономическая эффективность по использованию на тушение пожара в РВС-2000 пенообразователей двух марок. В результате

расчетов показано, что применение пенообразователя «PETROFILM» экономически предпочтительнее по сравнению с пенообразователем ПО-6НП и по затратам на его закупку, и по техническим характеристикам, и по количеству личного состава, участвующего в тушении пожара. Данный факт рекомендован контрактной службе для планирования закупок пенообразователя.

Таким образом, результативное пожаротушения на предприятиях ТЭК основывается на оперативном сосредоточении требуемого количества сил и средств, представленных основными и специальными пожарными автомобилями. Ключевое значение имеет глубокое понимание должностными лицами оперативно-тактических особенностей конкретного объекта уже на стадии подготовки планов боевых действий. Кроме того, обязательна организация четкой и бесперебойной подачи воды и доставки пенообразователя к очагу пожара.

Список используемых источников

1. Бакиров И. К. Исследование практики государственного надзора, анализ нормативных положений и методов управления рисками в области пожарной безопасности: монография. Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2014. 107 с.
2. Годовые отчеты о деятельности федеральной службы по экологическому и атомному надзору 2017 – 2022 года [Электронный ресурс] : URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports (дата обращения: 10.12.2023).
3. ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования : утв. Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации 21.10.1993. М., 2021. 4 с.
4. ГОСТ Р 53324-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Ограждение резервуаров. Требования пожарной безопасности : утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 100-ст от 18.02.2009. М., 2009. 4 с.
5. ГОСТ Р 53280.2–2010. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 2. Пенообразователи для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования и методы испытаний с Изменением № 1 : утв. приказом № 68-ст от 29.04.2010. М., 2012. 11 с.
6. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля : утв. приказом № 1971-ст от 27.12.2012. М., 2012. 61 с.
7. ГОСТ Р 53325–2012 Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний с Изменениями № 1, 2, 3 : утв. Приказом №1028-ст от 22.11.2012. М., 2014. 170 с.

8. ГОСТ 17032-2022. Международный стандарт. Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов. Технические условия : утв. приказом № 585-ст от 07.07.2022. М., 2022. 14 с.

9. ГОСТ 31385-2023 Международный стандарт. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия : утв. приказом № 462-ст от 29.06.2023. М., 2023. 83 с.

10. Дупляков Г.С. Анализ и обобщение статистических данных по опасным техногенным явлениям на объектах нефтяной промышленности РФ // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций». г. Железногорск : ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2019. С. 77-86.

11. Кадочникова Е. Н. Оценка факторов повышающих уровень пожарной безопасности на складах нефти и нефтепродуктов // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 3(10). С. 171-177.

12. Калагина Ю.М. Статистика пожаров на объектах нефтегазовой отрасли // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017030219> (дата обращения: 30.04.2024).

13. Крупнейшие нефтеперерабатывающие заводы России. Электронный журнал Oil. Эксперт. URL: https://www.oilexp.ru/print_post.php?src=117508 (дата обращения: 20.11.2023).

14. Назаров В.П. Проблемы и методы обеспечения пожаровзрывобезопасности предприятий нефтегазового комплекса // Вестник Академии ГПС МЧС России. 2005. № 4. С. 75-85.

15. Петрова Н.В. Анализ практики экспертного исследования пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Научно-аналитический

журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2016. № 7. С. 40.

16. Пожары на нефтегазовых предприятиях в России в 2019-2022 годах // Российское информационное агентство. URL: <https://ria.ru/20220322/pozhary-1779428872.html> (дата обращения: 20.11.2023).

17. Приказ МЧС России от 24.04.2013 № 288 (ред. от 27.07.2023) «Об утверждении свода правил СП 4.13130 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» (вместе с СП 4.13130.2013. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям) // Консультант плюс: справочно-правовая система.

18. Приказ МЧС России от 17.06.2015 № 302 «Об утверждении свода правил «Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности» (вместе с СП 231.1311500.2015. Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности) // Консультант плюс: справочно-правовая система.

19. Приказ МЧС России от 18.03.2020 № 194 (ред. от 21.08.2024) «Об утверждении свода правил СП 1.13130 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы» (вместе с СП 1.13130.2020 Свод правил. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы) // Консультант плюс: справочно-правовая система.

20. Приказ МЧС России от 30.03.2020 № 225 «Об утверждении свода правил СП 8.13130 Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности» // Консультант плюс: справочно-правовая система.

21. Приказ МЧС России от 27.06.2022 № 640 «Об утверждении Правил использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения

личным составом подразделений пожарной охраны» // Консультант плюс: справочно-правовая система.

22. Приказ МЧС России от 26.06.2024 № 533 «Об утверждении методики расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» // Консультант плюс: справочно-правовая система.

23. Приказ Ростехнадзора от 26.12.2012 № 777 «Об утверждении Руководства по безопасности для нефтебаз и складов нефтепродуктов» // Консультант плюс: справочно-правовая система.

24. Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 529 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности складов нефти и нефтепродуктов» // Консультант плюс: справочно-правовая система.

25. Приказ Ростехнадзора от 03.11.2022 № 387 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» // Консультант плюс: справочно-правовая система.

26. Приказ Ростехнадзора от 28.11.2022 № 414 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» // Консультант плюс: справочно-правовая система.

27. Приказ Ростехнадзора от 29.12.2022 № 475 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов» // Консультант плюс: справочно-правовая система.

28. Приказ Ростехнадзора от 10.01.2023 № 4 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика анализа риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазодобычи» // Консультант плюс: справочно-правовая система.

29. Порядок применения пенообразователей для тушения пожаров. Рекомендации : утв. ФГБУ ВНИИПО МЧС России 29.03.2022 // Консультант

плюс: справочно-правовая система.

30. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках : утв. ГУГПС МВД России 12.12.1999 // Консультант
плюс: справочно-правовая система.

31. СНиП 2.11.03-93 Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы / Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2007. 20 с.

32. СП 3.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности : утв. и введен в действие приказом МЧС России от 25.03.2009 № 173 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

33. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : утв. и введен в действие приказом МЧС России от 25.03.2009 № 182 // Консультант
плюс: справочно-правовая система.

34. СП 155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности : утв. и введен в действие приказом МЧС России от 26.12.2013 № 837 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

35. СП 18.13330.2019 Производственные объекты. Планировочная организация земельного участка (Генеральные планы промышленных предприятий) : утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17.09.2019 № 544/пр и введен в действие с 18.03.2020 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

36. СП 484.1311500.2020 Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования : утв. и введен в действие приказом МЧС

России от 31.07.2020 № 582 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

37. СП 485.1311500.2020 Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : утв. и введен в действие Приказом МЧС России от 31.08.2020 № 628 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

38. СП 486.1311500.2020 Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности : утв. и введен в действие приказом МЧС России от 20.07.2020 № 539 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

39. Стадникова М.А., Глебова Е.В., Мурадов А.В., Шейнкман Л.Э. Анализ аварийных ситуаций и их последствий на магистральных нефтепроводах // Экология и промышленность России. 2009. № 8. С. 22-24.

40. Теребнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Технические возможности пожарных подразделений. Екатеринбург : Калан, 2007. 248 с.

41. ТЭК России сегодня и завтра: итоги и задачи // Энергетическая политика. Общественно-деловой научный журнал. URL: <https://energypolicy.ru/tek-rossii-segodnya-i-zavtra-itogi-i-zadachi/business/2024/12/25> (дата обращения: 30.04.2024).

42. Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» : опубликован 03.07.2021 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

43. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» : принят Государственной думой 18.11.1994 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

44. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» : принят Государственной думой 15.12.2002 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

45. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» : принят Государственной думой 04.07.2008 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

46. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Способ противопожарной защиты резервуаров для хранения жидких горючих веществ и устройство для его осуществления. URL: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=35c8875b98dbb844253ab26348e75b53> (дата обращения: 10.05.2024).

47. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Комплексная система обеспечения целостности резервуара. URL: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=77212250904b1c5f107ef72596804b14> (дата обращения: 10.05.2024).

48. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Способ и устройство для тушения нефти и нефтепродуктов в резервуаре. URL: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=b0fbec3c99be8e1bf7f22df3a621918> (дата обращения: 10.05.2024).

49. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Способ тушения пожара нефти и нефтепродуктов в резервуарах с понтоном или плавающей крышей, подачей пены в основание резервуара. URL: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=530aab788e5ab9d4a119073d57cfe228> (дата обращения: 10.05.2024).

50. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Система пожаротушения в вертикальных резервуарах. URL: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=1aea4447b3c6580b829981a2a227ad5b> (дата обращения: 10.05.2024).

51. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Способ подслоного пожаротушения резервуаров с нефтепродуктами, устройство подготовки и подачи пены и система противопожарной защиты резервуаров. URL: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=3bec16163e7db7c344839e90e91bc127> (дата обращения: 10.05.2024).

52. Fire Protection Technology [Электронный ресурс] : URL: <https://www.usfa.fema.gov/prevention/technology/> (дата обращения: 12.02.2025).

53. Fire technology news & articles [Электронный ресурс]. URL: <https://www.firerescue1.com/fire-products/technology/articles/> (дата обращения: 12.02.2025).

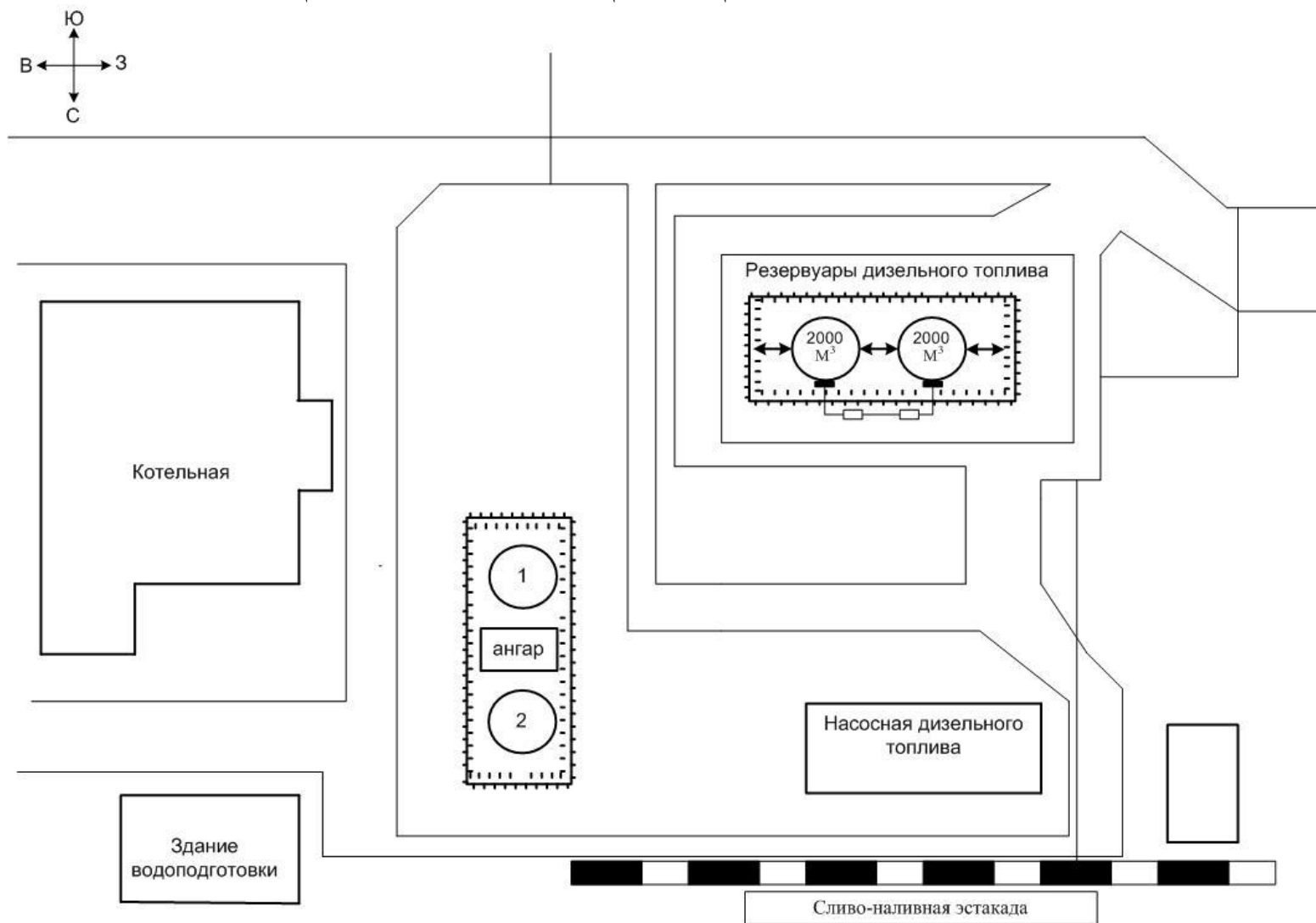
54. House fire safety tips [Электронный ресурс]. URL: <https://www.consumeraffairs.com/homeowners/house-fire-safety-tips.html> (дата обращения: 11.02.2025).

55. How to Prevent and Plan for House Fires [Электронный ресурс]. URL: <https://www.masterlock.com/insights/how-to-prevent-and-plan-for-house-fires> (дата обращения: 11.02.2025).

56. Polka M., Ptak S., Kuziora L., Kuczynska A. The Use of Unmanned Aerial Vehicles by Urban Search and Rescue Groups. Drones. Edited by Dekou-lis G. Interchopen. 2018.

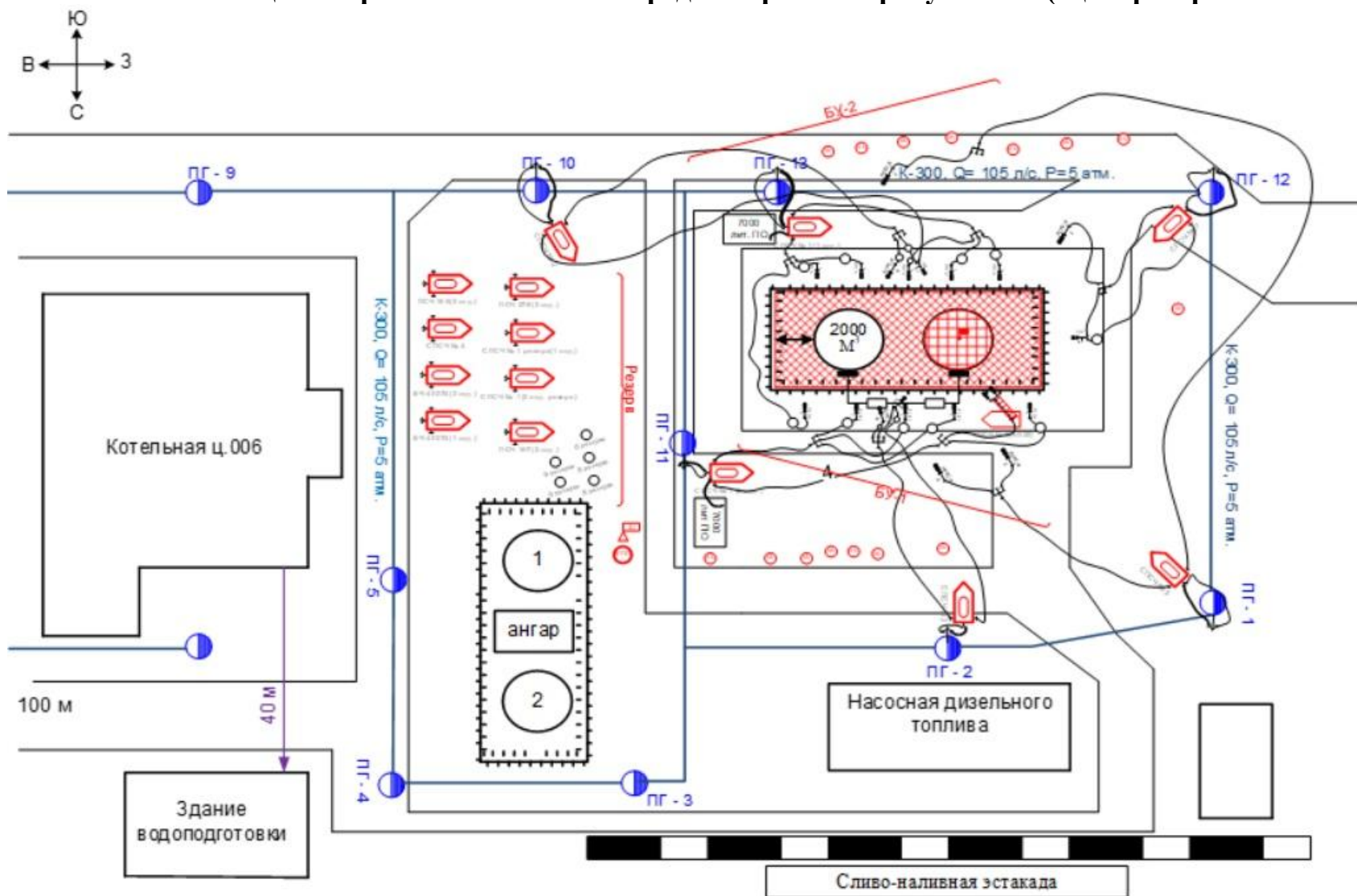
Приложение А

Общая схема объекта защиты - цех 006 ФГУП «Комбинат»



Приложение Б

Схема объекта защиты с расстановкой сил и средств при пожаротушении (сценарий расчета № 1)



Приложение В

Схема объекта защиты с расстановкой сил и средств при пожаротушении (сценарий расчета № 2)

