

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

Институт инженерной и экологической безопасности
(наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Управление пожарной безопасностью
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Применение средств, предотвращающих или ограничивающих разлив
и растекание жидкостей при пожаре

Обучающийся

Д.К. Орешкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

А.В. Суханов

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

Консультант

Т.Ю. Фрезе

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

Содержание

Введение.....	5
Термины и определения.....	9
Перечень сокращений и обозначений.....	10
1 Средства обеспечения пожарной безопасности резервуаров.....	11
1.1 Нормативно-правовая основа применения средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре.....	11
1.2 Технические мероприятия по повышению пожарной безопасности резервуаров.....	16
2 Проектирование средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре.....	33
2.1 Принципы построения автоматизированной системы управления и исполнительные механизмы средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре.....	33
2.2 Интеграция средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре с установками пожарной сигнализации и пожаротушения.....	39
3 Оценка эффективности обеспечения пожарной безопасности резервуаров.....	52
3.1 Внедрение современных средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре.....	52
3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации.....	67
Заключение.....	72
Список используемых источников.....	75

Введение

Актуальность данного исследования определяется необходимостью применения инновационных информационно-управляющих систем для обеспечения пожарной безопасности в РФ, что способствует обнаружению и предотвращению угроз в области промышленной безопасности. Применение данных систем для обеспечения пожарной безопасности на объектах позволяет симулировать разнообразные сценарии и быстро получать полные данные исследований. Быстро развивающаяся урбанизация вызывает появление множества потребностей среди городского населения, среди которых особенно важно выделить обеспечение безопасности всех граждан.

Обеспечение безопасности включает в себя меры по созданию условий, которые помогают увеличить устойчивость и функциональность промышленных, военных, медицинских и инфраструктурных объектов к внешним и внутренним угрозам. Это крайне важно, так как любые повреждения этих объектов могут представлять риск для здоровья и жизни сотрудников и местного населения. Исследование этой темы является особенно актуальным для МБУ «АСС», которое работает в Самарской области и занимается подобными вопросами.

Аварии негативно влияют как на человека, так и на общество города в целом. Пожары являются одной из основных угроз для городской среды, вызывая большие материальные убытки и потери человеческих жизней. Спецификой деятельности МБУ «АСС» является предотвращение возможности возникновения ситуаций, способствующих возгоранию, но и ограничивать их последствия. Это подразумевает использование специальных средств, которые предотвращают или минимизируют распространение огня путем контроля за разливом и распространением жидкостей в случае пожара. Такие системы разработаны для воссоздания различных сценариев и экспериментального моделирования ситуаций.

Объект исследования: резервуары на автозаправочных станциях и

распределительных нефтебазах, находящихся по контролю МБУ «АСС».

Предмет исследования: способы применения средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре на резервуарах автозаправочных станций и распределительных нефтебаз.

Цель исследования: анализ и разработка новых способов применения средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре.

Обеспечение надлежащего уровня защиты на современных высокотехнологичных автозаправочных станциях, которые имеют важное значение для непрерывной подачи топлива автотранспорту, считается одной из главных приоритетных задач, требующих комплексного подхода и принятия эффективных мер по минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций, поскольку любые нарушения в данной сфере могут повлечь за собой катастрофические последствия, связанные с угрозой жизни и здоровью персонала станции, ее клиентов, а также причинением существенного ущерба окружающей среде и прилегающей городской инфраструктуре.

В качестве объектов, которые будут рассматриваться при обеспечении своей деятельности МБУ «АСС» выбраны резервуары на автозаправочных станциях и распределительных нефтебазах.

Гипотеза исследования состоит в том, что применение средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре на объектах Самарского региона, будет наиболее эффективным, если:

- будут охарактеризована нормативно-правовая основа применения средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре на объектах хранения и перевозки нефтепродуктов;
- проведены исследования средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре;

- выявлены объекты, наиболее нуждающиеся в применении средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре;
- проведена апробация внедрения современных средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре на резервуарах автозаправочных станций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- охарактеризовать средства обеспечения пожарной безопасности резервуаров;
- изучить процесс проектирования средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре;
- провести оценка эффективности обеспечения пожарной безопасности резервуаров автозаправочных станций.

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

Базовыми для настоящего исследования явились также: ресурсы патентных источников.

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

Опытно–экспериментальная база исследования основана на базе МБУ «АСС».

Научная новизна исследования заключается в:

- осуществлении моделирования хода возникновения и развития волны с разрушением РВС и ее влияние на козырьки для отражения волн;
- повышении эффективности современных средств, которое заключается в предотвращении или ограничении разлива и растекания жидкостей при пожаре;
- применении схемы системы аварийного слива топлива из резервуаров.

Теоретическая значимость исследования включает методы моделирования хода возникновения волны с разрушением РВС и ее влияния на козырьки для отражения волн.

Практическая значимость исследования заключается в применении разработанного теоретического подхода и демонстрации его эффективности на практике.

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

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в осуществлении моделирования хода возникновения и развития волны с разрушением РВС и разработка системы аварийного слива топлива из резервуаров.

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

Участие в международной научной конференции технико-научного журнала «Точная наука» №149 (2023 год), выступление на тему: Зарубежный опыт исследования систем защиты строительных конструкций.

На защиту выносятся:

- результаты моделирования возникновения и развития волны с разрушением РВС и ее влияние на козырьки для отражения волн;
- применение мер, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре;
- применение схемы системы аварийного слива топлива из резервуаров.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, трех разделов, заключения, содержит 24 рисунка, 3 таблицы, список использованной литературы (42 источника). Основной текст работы изложен на 78 страницах.

Термины и определения

В настоящей работе применяются следующие термины и определения:

Противопожарная защита – это «совокупность организационно–технических мероприятий, конструктивных и объемно–планировочных решений, а также технических средств, направленных на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничение материальных потерь от пожара» [15].

Экономический ущерб – это материальные потери и затраты, связанные с повреждениями (разрушениями) объектов производственной сферы экономики, ее инфраструктуры и нарушениями производственно–кооперационных связей [25].

Экологический ущерб – это фактические и возможные убытки в их количественном выражении, включая упущенную выгоду и дополнительные затраты на ликвидацию неблагоприятных последствий для жизнедеятельности человека, животных, растений и других живых организмов, состояния экологических систем, природных комплексов, ландшафтов и объектов, вызванных нарушением нормативов качества окружающей природной среды, в результате отрицательных воздействий хозяйственной и иной деятельности, а также техногенных аварий и катастроф [21].

Социальный ущерб – ущерб, нанесенный жизни, здоровью и благополучию людей, выражающийся в росте смертности, заболеваемости, утрате трудоспособности, снижении уровня жизнеобеспечения, а также проявлении озабоченности и тревоги у индивидуума по поводу возможного нарушения здоровья [25].

Перечень сокращений и обозначений

В настоящей работе применяются следующие обозначения и сокращения:

АСС – аварийно-спасательная служба.

ГЖ – горючие жидкости.

ЛВЖ – легковоспламеняющиеся жидкости.

ОФП – опасные факторы пожара.

ПБ – пост безопасности.

ПГ – пожарный гидрант.

ПК – пожарный кран.

ПТВ – пожарно-техническое вооружение.

СПТ – система подслоного тушения.

СИЗОД – средства индивидуальной защиты органов дыхания.

ДАСВ – дыхательный аппарат со сжатым воздухом.

ДАСК – дыхательный аппарат со сжатым кислородом.

1 Средства обеспечения пожарной безопасности резервуаров

1.1 Нормативно-правовая основа применения средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре

Ограничение распространения пожара за пределы очага регламентируется ст. 59 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [33]. Внедрение некоторых инженерных предложений способствуют значительному уменьшению риска возникновения пожара в случаях локального пролива жидких горючих веществ. Такие предложения сокращают растекание жидкостей во время пожара, обеспечивают такие свойства в пламени, что горение прекращается быстро.

Согласно Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности: «Ограничение распространения пожара за пределы очага должно обеспечиваться одним или несколькими из следующих способов:

- устройство противопожарных преград;
- устройство пожарных отсеков и секций, а также ограничение этажности или высоты зданий и сооружений;
- применение устройств аварийного отключения и переключение установок и коммуникаций при пожаре;
- применение средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре;
- применение огнепреграждающих устройств в оборудовании;
- применение установок пожаротушения» [33].

В Постановлении Правительства РФ от 16 сентября 2020 г. № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» установлены «требования пожарной безопасности, определяющие порядок поведения людей, порядок организации производства и (или) содержания

территорий, зданий, сооружений, помещений организаций и других объектов защиты (далее – объекты защиты) в целях обеспечения пожарной безопасности» [22].

Ограничение разливов легковоспламеняющейся или горючей жидкости (ЛВЖ, ГЖ) при авариях ведется по двум направлениям, обеспечивающих решение таких проблем, как сокращение угрозы воздействия опасными факторами пожаров (ОФП) при разливах ЛВЖ или ГЖ.

К первой группе инженерных предложений стоит отнести:

- «дренажные системы с отведением проливов ЛВЖ, ГЖ в аварийный резервуар;
- бортики, выполненные из негорючих материалов на твердой непроницаемой поверхности (с системой аварийного слива горючих жидкостей)» [26].

В численную категорию инженерных предложений включены также средства:

- «поддоны, оборудованные трубчатыми вертикальными каналами (гасителями пламени);
- модульные поддоны в виде напольных покрытий с наполнителем в виде металлической ваты для ограничения распространения пламени по поверхности;
- поддоны с гранулированным наполнителем» [16].

Такие инженерные решения позволяют контролировать и управлять процессом горения, что повышает безопасность и эффективность работы устройства. Кроме того, использование узких каналов позволяет снизить расход топлива и уменьшить выбросы вредных веществ в окружающую среду.

В ГОСТ Р 12.3.047-2012 от 01.01.2014 содержится «методика расчета размера сливных отверстий из технологического оборудования (расчет площади сливного отверстия в ограничивающем жидкость устройстве, например, поддоне). При расчетной площади сливного отверстия перелив жидкости через борт ограничивающего устройства и растекание жидкости за

его пределами невозможен. Цель расчета – выбор площади поддона, и расчет площади сливного отверстия» [27].

В СП 155.13130.2014 содержится «требование для площадок сливно-наливных эстакад, указывающее на применение водонепроницаемого покрытия, с ограждением в виде бортиков высотой не менее 0,2 м и уклоном не менее 2% [31]. Данное требование также прописано в СП 156.13130.2014 для площадок слива автоцистерн. «Применение поддонов для локализации и повышения эффективности тушения аварийных проливов горючих жидкостей регламентируется рядом требований нормативных документов по пожарной безопасности» [30].

Использование поддонов позволяет эффективно контролировать и управлять капельными утечками, обеспечивая их надежный сбор и предотвращая распространение загрязнений. Поддоны имеют специальную конструкцию, которая обеспечивает удобство в установке и обслуживании, а также обладает высокой прочностью и долговечностью. Международный стандарт предусматривает обязательное использование поддонов для сбора капельных утечек под манифольдами и фланцевыми соединениями на нефтяных танкерах и терминалах, чтобы минимизировать риск возникновения аварийных ситуаций и исключить возможные последствия загрязнения окружающей среды [38]. Данные стандарты гарантируют безопасное использование переносных поддонов при сборе горючих жидкостей в случае местных разливов:

- «после окончания сливно-наливных операций спускные клапаны судового манифольда необходимо открыть для слива нефтепродукта в переносные поддоны, после чего содержимое переносных поддонов должно быть перекачено в отстойный танк или другой безопасный резервуар;
- при отсутствии стационарных емкостей для сбора пролитых ЛВЖ, ГЖ под фланцевыми соединениями трубопроводов, из которых может быть пролив;

- для ограничения разлива горючих жидкостей необходимо установить переносные поддоны для сбора капельных утечек в соответствии с рекомендациями The Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), при этом запрещено использовать пластмассовые поддоны, если не предусмотрено их заземление» [42].

Инженерные предложения, отнесенные в первую группу и дающие ограничение разлива ГЖ, тем самым способны предотвратить развитие пожара, выводят ЛВЖ или ГЖ в отведенные аварийные емкости. Но необходимо отметить, что наличие аварийных сливов для ГЖ, поддонов или площадок с отбортовкой не могут полностью исключить негативное влияние опасных факторов при утечках [41]. Данные системы необходимы для любых площадок, обеспечивающих слив и налив ГЖ в передвижные емкости (цистерны) большого объема (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пятно нефтепродуктов в области соединения устройства слива-налива УСН к железнодорожной цистерне

В федеральном законе США содержатся нормы, «предписывающие

обеспечивать устройствами сбора локальных утечек горючих жидкостей технологическое оборудование, на котором проводятся сливо-наливные операции ГЖ, осуществляются перевозки и хранение ГЖ в таре» [40] (рисунок 2).



Рисунок 2 – Поддоны для сбора локальных утечек ЛВЖ, ГЖ под ж/д цистернами (США)

«Для снижения параметров ОФП локального пролива путем самотушения горючих жидкостей эффективны мероприятия второй группы, при этом они могут быть совместимы с техническими решениями первой группы, например, поддоны с пламегасящим наполнителем под сливными патрубками аппаратов или фланцевыми соединениями» [35].

Проанализировав существующую и актуальную на сегодняшний день техническую документацию и нормативные акты по обеспечению должного уровня безопасности на объектах перевозки и хранения нефтепродуктов,

необходимо выделить ряд требований по созданию пожаробезопасности на таком объекте, как автозаправочная станция или распределительная нефтебаза. Систематизация основных требований по пожаробезопасности позволила выделить главные, с выполнением которых будет достигнут необходимый уровень безопасности на рассматриваемом объекте и вероятность возникновения пожара минимизирована.

1.2 Технические мероприятия по повышению пожарной безопасности резервуаров

Основные правила пожарной безопасности представлены в издании за авторством М.В. Рогожкина. «Материал дополнен примерной инструкцией по пожарной безопасности объекта юридического лица, а также правами и обязанностями граждан и руководителей организаций в области пожарной безопасности» [26].

Исследования В.В. Тербнева касаются факторов, где приведены «примеры ликвидации пожаров фонтанов, сжиженных углеводородных газов, на складах хранения и объектах переработки нефти и нефтепродуктов» [32]. Также изучается применение различных средств пожаротушения и их эффективность при различных условиях возгорания. Результаты исследований В.В. Тербнева могут быть использованы для повышения эффективности пожарной безопасности на объектах с опасными веществами.

В книге Б.Т. Бадагуева подробно изложено «содержание примерного перечня локальных документов в сфере пожарной безопасности, которые должны быть на предприятии для создания системы пожарной безопасности. Приведены образцы приказов, актов, протоколов по организации работ по пожарной безопасности, инструкций о порядке действий при обнаружении и тушении пожара, планов эвакуации, а также журналов, применяемых в процессе работы» [2].

Книга С.Н. Смирнова посвящена «всем аспектам планирования,

организации и непосредственного осуществления мероприятий по противопожарной безопасности на уровне отдельно взятого хозяйствующего субъекта. Со ссылкой на соответствующие нормативные правовые акты автором исследуются также методы обучения мерам пожарной безопасности, подготовки зданий, помещений и территорий организации, требования к эксплуатации соответствующего оборудования» [28].

В книге О.М. Волкова проанализированы «причины возникновения и развития пожаров на объектах транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов. Кратко освещены пожароопасные свойства нефти и нефтепродуктов. Рассмотрены меры по предупреждению и ликвидации пожаров на объектах транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов. Описаны системы для тушения пожаров (водой, пеной), а также рассмотрены схемы специального оборудования» [6].

В статье за авторством С.Н. Копылова «проанализирована статистика пожаров, приведены основные пожароопасные зоны, сведения о проведенных исследованиях по тушению. Разработаны рекомендации по нормам оснащенности оперативными средствами пожаротушения, рекомендации по защите автоматическими системами пожаротушения» [16].

В статье Е.В. Ширяева «проведен анализ зарубежных и отечественных нормативных требований в области снижения пожарной опасности аварийных проливов горючих жидкостей, а также аналитический обзор технических устройств в области снижения пожарной опасности локальных аварийных проливов ЛВЖ, ГЖ. Рассмотрены технические решения, направленные на ограничение растекания горючих жидкостей, и технические устройства пассивного пожаротушения локальных проливов ЛВЖ, ГЖ» [35].

В статье И.А. Пахомовой «показана пожарная опасность как реальная угроза экономической безопасности страны. Рассматриваются компоненты «стоимости» пожара: полный ущерб от пожара и затраты на организацию защитной инфраструктуры. Обеспечение пожарной безопасности представляется как элемент защитной инфраструктуры» [25].

В статье И.Д. Опарина рассматриваются «вопросы влияния пожаров и связанных с ними чрезвычайных ситуаций на конкурентоспособность территорий. Оценка ущерба от пожаров, включая отдалённые последствия, несомненно, является очень важной задачей при определении конкурентоспособности территорий. Недостаточно исследованными в этой сфере являются вопросы оценки косвенного экономического, социального и экологического ущерба, что приводит к значительному занижению реальных потерь от пожаров. Комплексная оценка ущерба от пожаров, учитывающая все виды ущерба, позволит адекватно оценить уровень конкурентоспособности городских и сельских территорий» [23].

В статье Б.В. Кулик «рассмотрены мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на объектах нефтедобычи. На основе обзора литературы дан анализ понятиям обеспечение пожарной безопасности и сущности опасного производственного объекта. Приведены технические и профилактические методы по обеспечению пожарной безопасности объекта подготовки и перекачки нефти» [18].

В статье И.Р. Киреева оценены проблемы, которые возникают при эксплуатации и хранении нефтепродуктов в резервуарных парках, вследствие возможного растекания жидкостей при пожаре. «Наличие большого количества резервуарных парков может привести к многочисленным авариям, которые, как правило, происходят в результате неправильного проектирования и нарушений режимов работы, а также в процессе ремонта, очистки и демонтажа, вследствие наличия дефектов оснований резервуаров, нарушений прочности корпуса, разрядов атмосферного электричества, недостаточно эффективной защиты от молний» [14].

Решение охарактеризованных проблем возможно с помощью различных технических решений. Например, устройство пожаротушения подавлением конвекции для горящих жидкостей (авторы В.И. Потякин, В.Ф. Коротких, В.В. Добриков) предполагает использование поддонов, имеющих встроенные трубчатые гасители пламени. Для оборудования полов в местах работы с ГЖ

они применяется достаточно часто, хотя они обладают большой массой и высокой ценой.

«Между слоями образованных вертикальных каналов, заключенных в обечайку, установлены один, два или три слоя металлических сеток (в зависимости от вида горючей жидкости (ЛВЖ, ГЖ)). Под нижним срезом ячеистой структуры размещена плоская металлическая емкость для приема горючей жидкости, с помощью вертикальных стенок которой в структуре вертикальных каналов создается высота, незаполняемая жидкостью, при которой обеспечивается эффективное тушение пламени за счет подавления конвекции для горящих жидкостей» [34].

Согласно исследованиям, приведенным в журнале «System Sensor» «огнезащита конструкций является составной частью общей системы мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и огнестойкости зданий и сооружений. Она включает в себя использование огнерезистентных материалов, установку огнезащитных покрытий и применение специальных огнезащитных систем. Огнезащита конструкций не только предотвращает быстрое распространение огня, но и позволяет увеличить время эвакуации людей из здания, а также облегчает процесс тушения пожара. Правильно спроектированная и установленная огнезащита позволяет существенно уменьшить риск пожара и повысить общий уровень безопасности на объекте.

У. Huang упоминает следующие методы обеспечения пожарной безопасности строительных конструкций:

- «бетонирование, оштукатуривание, обкладка кирпичом;
- облицовка объекта огнезащиты плитными материалами или установка огнезащитных экранов на отnose;
- нанесение на поверхность огнезащитных покрытий (окраска, обмазка, напыление);
- пропитка конструкции огнезащитным составом;
- комбинированный способ, представляющий собой сочетание выше приведенных способов» [37].

Автор также отмечает, что «одним из основных направлений повышения уровня пожарной безопасности зданий и сооружений является эффективное обеспечение огнезащиты металлических конструкций, кабельных линий, элементов, используемых в помещениях» [37].

Для того, чтобы охарактеризовать технические мероприятия по повышению пожарной безопасности резервуаров на объектах хранения нефтепродуктов, в частности на автозаправочных станциях рассмотрим статистику пожаров на данных объектах (рисунок 3).

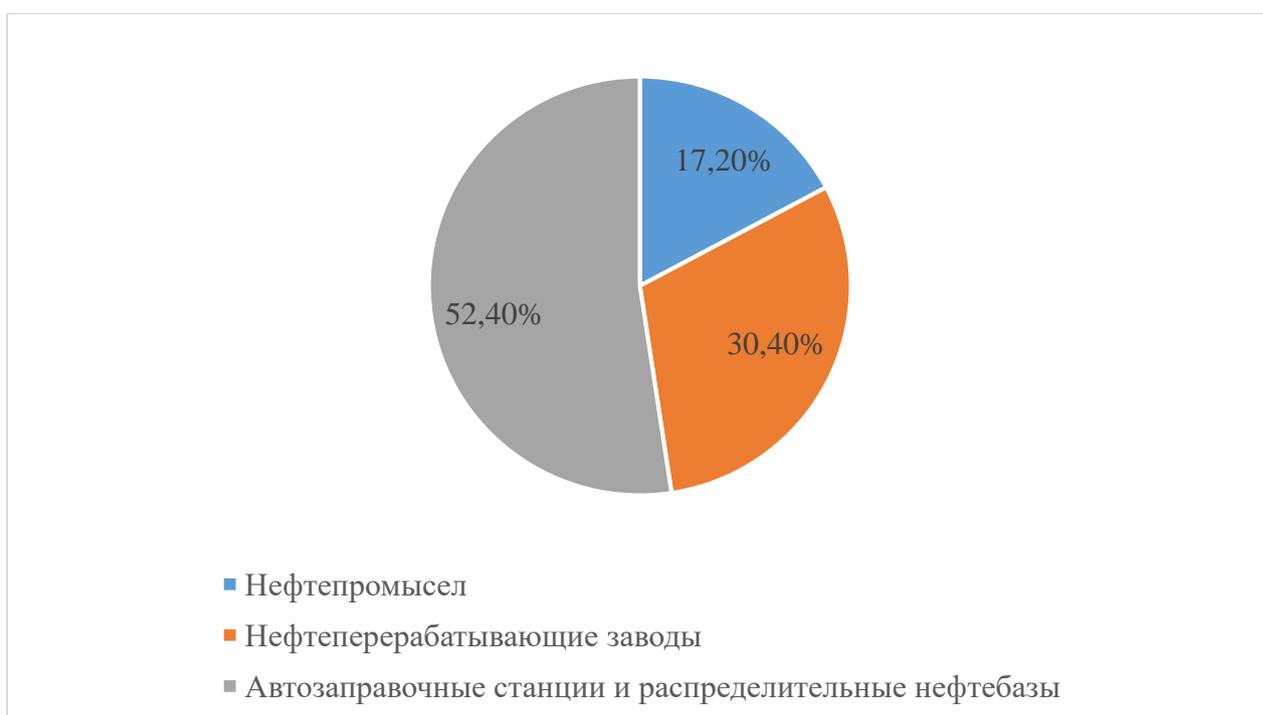


Рисунок 3 – Статистика пожаров на резервуарах различных отраслей в РФ

За период с 2014 по 2022 гг. в Российской Федерации зарегистрировано более 300 пожаров, происшедших на резервуарах. В результате этих пожаров были нанесены значительные ущерб экологии и здоровью людей, а также причинены экономические потери компаниям-владельцам этих объектов. Причиной пожаров на резервуарах чаще всего являются несоблюдение технических правил, нарушение правил пожарной безопасности, а также

человеческий фактор. Для предотвращения подобных происшествий необходимо строго соблюдать все нормы и правила пожарной безопасности на объектах хранения нефти и газа, проводить систематические проверки и обслуживание оборудования, а также обучать персонал правильным действиям в чрезвычайных ситуациях. Статистика свидетельствует, что «17,2 % пожаров произошло на нефтепромыслах, на нефтеперерабатывающих заводах — 30,4%, а на автозаправочных станциях и распределительных нефтебазах зафиксирована наибольшая доля пожаров — 52,4%» [25].

Главными источниками воспламенения для резервуаров, функционирующих нормально, являются:

- «открытое пламя — 24% (может возникнуть при аварийных выбросах факельных установок или при производстве огневых работ);
- фрикционные искры — 14% (образуются при ударе или трении металлических частей друг об друга);
- разряды статического электричества — 10%;
- удары молнии — 9.0%;
- самовозгорание веществ — 13% (например, пиррофорных отложений на стенках резервуара);
- неосторожное обращение с огнем — 4.0%;
- внешние источники зажигания — 10.0%;
- прочие причины — 16 %» [25].

Для защиты резервуаров и резервуарных групп могут быть использованы стены с волновым козырьком в качестве ограждения (рисунок 4). Такие ограждающие стены обеспечивают дополнительную безопасность и защиту от утечек. «Они должны быть сплошными по периметру, выполняться из негорючих материалов и иметь предел огнестойкости E 150. Ограждающая стена с волноотражающим козырьком должна рассчитываться на максимально возможное гидродинамическое воздействие разливающейся жидкости» [18].



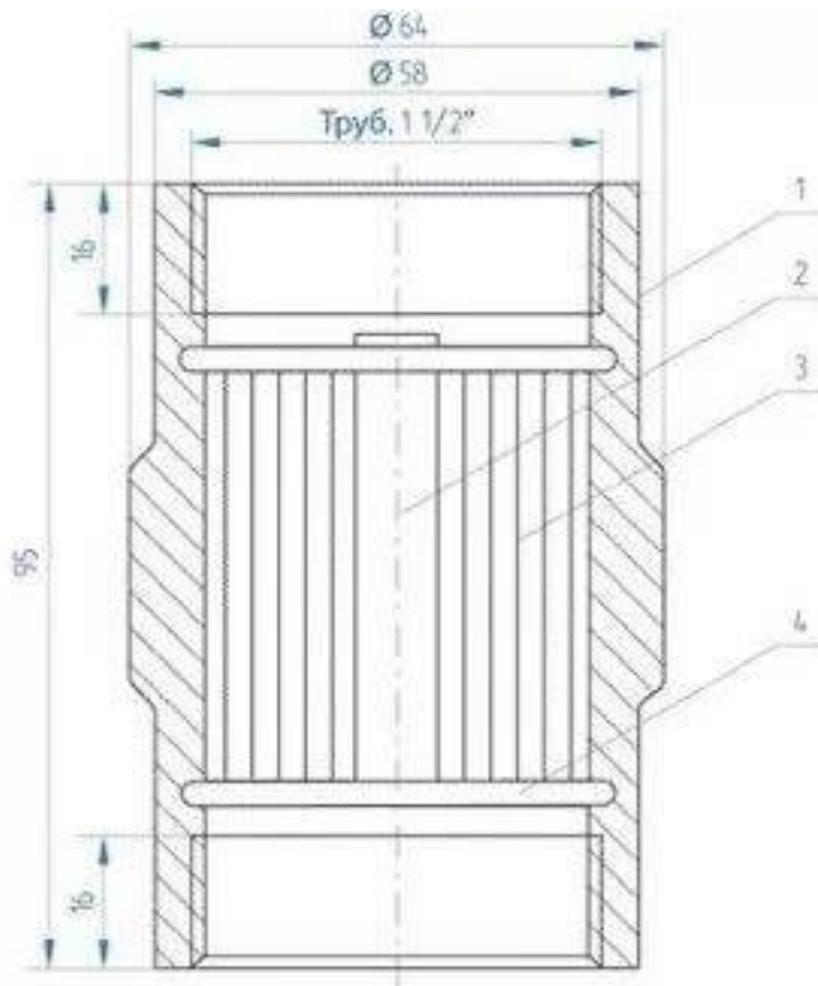
Рисунок 4 – Принципиальная схема ограждающей стены с волноотражающим козырьком

Защита дыхательных клапанов. «Для защиты дыхательных клапанов от проникновения пламени через них в резервуар, огнепреградитель должен иметь диаметр отверстий не более 1,6 мм. Фактически каналы кассеты огнепреградителя имеют треугольную форму, так как пламегасящий элемент представляет собой плотный рулон, полученный намоткой на корпус в НДКМ или на центральный стержень в стандартном ОП, сложенных вместе гофрированной и плоской нержавеющей лент толщиной 0,1 мм и высотой 80 мм. Согласно паспортных данных размеры каналов в установленных кассетах находятся в интервале 1,2 мм — 1,5 мм» [14] (рисунок 5).

Подслойная система тушения низкократной пеной. Низкократная пена обладает хорошей стабильностью при высоких температурах и способна быстро и эффективно подавить огонь. Система подслояного пожаротушения позволяет равномерно распределить пену по всей поверхности пожара, что увеличивает эффективность тушения. Рекомендуется обратиться к профессионалам для установки и обслуживания данной системы.

Система подслояного тушения пожаров в резервуарах (СПТ) – это «совокупность специального оборудования, пенообразователя и технологии, позволяющая генерировать, транспортировать и вводить плёнкообразующую

низкократную пену непосредственно в слой горючего или в подтоварную воду, обеспечивая быстрое тушение пожара» [6].



1 – корпус, 2 – ось, 3 – кассета (лента алюминиевая гофрированная), 4 – стопор

Рисунок 5 – Кассетный огнепреградитель

Основные достоинства технологии подслоного пожаротушения – «более быстрое покрытие горячей поверхности пеной (конвективные потоки в поверхностном слое горючего организуются таким образом, что способствуют распространению пены по поверхности и тем самым эффективному и быстрому пожаротушению), установка пеногенерирующих устройств (рисунок б) за пределами обвалования резервуаров, затрудненность

повторного воспламенения горючего, покрытого пленкой» [6].



Рисунок 6 – Пеногенератор

Система водяного охлаждения – это способ охлаждения технических устройств путем циркуляции охлаждающей жидкости (обычно воды) через систему трубопроводов и радиаторов (рисунок 7). Такая система широко применяется в автомобилях, компьютерах, промышленных процессах и других областях, где необходимо эффективно охлаждать различные устройства [6].

Преимущества системы водяного охлаждения включают более эффективное и равномерное охлаждение по сравнению с воздушным охлаждением, возможность применения в широком диапазоне температур и длительный срок службы системы. Однако такая система требует более сложного обслуживания и может быть более затратной в установке и эксплуатации.

Главной задачей для пожарных служит предупреждение возгораний и ликвидация в случае их возникновения в кратчайшие сроки, поэтому не стоит забывать какие последствия принесет тушение пожара. Воздействие высоких температур и тушащих составов на стальные конструкции и оборудование окажет разрушительное действие: изменение характеристик металла

(появление трещин, окалин), появление коррозионных процессов. Вот почему так важно вести контроль за качеством и составом смесей, используемого сырьевого продукта, проводить периодически очистку технологического оборудования, используя для этих целей негорючие и не окрашивающие вещества.



Рисунок 7 – Система охлаждения

Функционирование электрооборудования должно проходить с соблюдением таких мер:

- «целесообразный выбор защиты электрооборудования от причины элементы короткого замыкания;
- своевременная организация заземления и защитных средств;
- исправность канализации и соблюдение требований пожарной безопасности;
- обеспечение надежности устройства кабельного ввода» [33].

«Все визуальные осмотры и проверки должны быть зафиксированы в протоколах и протоколах испытаний устройств. Оборудование резервуары подлежат осмотру. Запрещается производить изоляцию из материалов с полиэтиленовыми включениями. Электросистемы резервуарного парка оборудованы устройствами защиты от короткого замыкания. Режим работы устройства характеризуется нормальной работой устройства и поддержанием

оптимальных значений рабочих температур и давлений. Провода и кабели соединяются пайкой, опрессовкой или зажимом. Технические специалисты регулярно измеряют значения сопротивления изоляции. При отклонении от нормы эксплуатация линий и кабелей запрещается» [2].

Нагрев поверхностей технологического оборудования разрешен в пределах 80% от значения температуры возгорания углеводородного продукта. Соединения всех трубопроводов герметичные. Воздуховоды должны монтироваться на определенном расстоянии от поверхностей с высоким нагревом. Применение искрогасителей позволят избежать возникновения иск. Завершенные ремонтные работы технологического и другого оборудования на нефтебазе оканчиваются внимательным осмотром мест их проведения.

Причины, по которым резервуары считаются опасными сооружениями:

- «горючие свойства нефтепродуктов;
- большие размеры резервуаров - сложность проведения качественной эксплуатации этих конструкций;
- сложность качественной проверки наличия неплотных соединений и негерметичных швов;
- неидеальная геометрическая форма;
- коррозионное повреждение;
- структурная усталость» [28].

«Степень износа стального бака составляет от 58% до 83%. Следовательно, риск возникновения опасности или несчастного случая увеличивается из года в год. В последние годы анализ рисков показал, что аварийность с 1987 по 2021 год составляет 0,00029 отказов резервуаров в год. Риск несчастных случаев характеризуется причиняемым ущербом, который зависит от отдельных ситуаций, возникающих во время аварии. Для обоснования ремонта и обслуживания действующих производств с помощью статистических наблюдений установлено, что последствия и материальный ущерб превышают первоначальные затраты в 100-500 раз» [25].

Соблюдение всех нормативных требований, высокое качество работ, проведение запланированных мероприятий, начиная с момента возведения резервуара до окончания его срока службы, гарантирует надежность.

Рассмотрим особенности и варианты применения средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре.

«Для защиты нефтехимического объекта – резервуарного парка нефтепродуктов – целесообразно проектировать системы, способные предотвратить попадание нефтепродуктов в товарную воду. Важно предусмотреть систему аварийного слива, при которой нефтепродукт самотеком откачивается из резервуара. При использовании современных технических средств, используемых в промышленном производстве, можно облегчить работу пожарных расчетов и значительно снизить ущерб от пожара на территории нефтебазы. Такими приборами считаются приборы для измерения горючих сред, искр, пламегасителей, негорючих отделочных материалов, молнии защиты» [29].

Также можно порекомендовать:

- «подпольное тушение пожаров в резервуарах с нефтепродуктами с несъемной крышей или между резервуаром и защитной стенкой, предназначенной для удержания жидкости в случае полного разрушения резервуара;
- уменьшение испарения нефтепродукта, вытекающего из резервуара;
- комбинированные средства и гидроустановки, способные подавать средства пожаротушения;
- инъекционные узлы с пеной высокой кратности;
- пленкообразующие пенообразователи» [24].

Рекомендуемые дополнительные меры защиты напольных коробок от пожара:

- «системы охлаждения резервуаров в виде стационарных устройств, расположенных без жесткой связи с резервуаром (такие системы

имеют дополнительный вход с другой стороны плотины для подачи огнетушащего вещества);

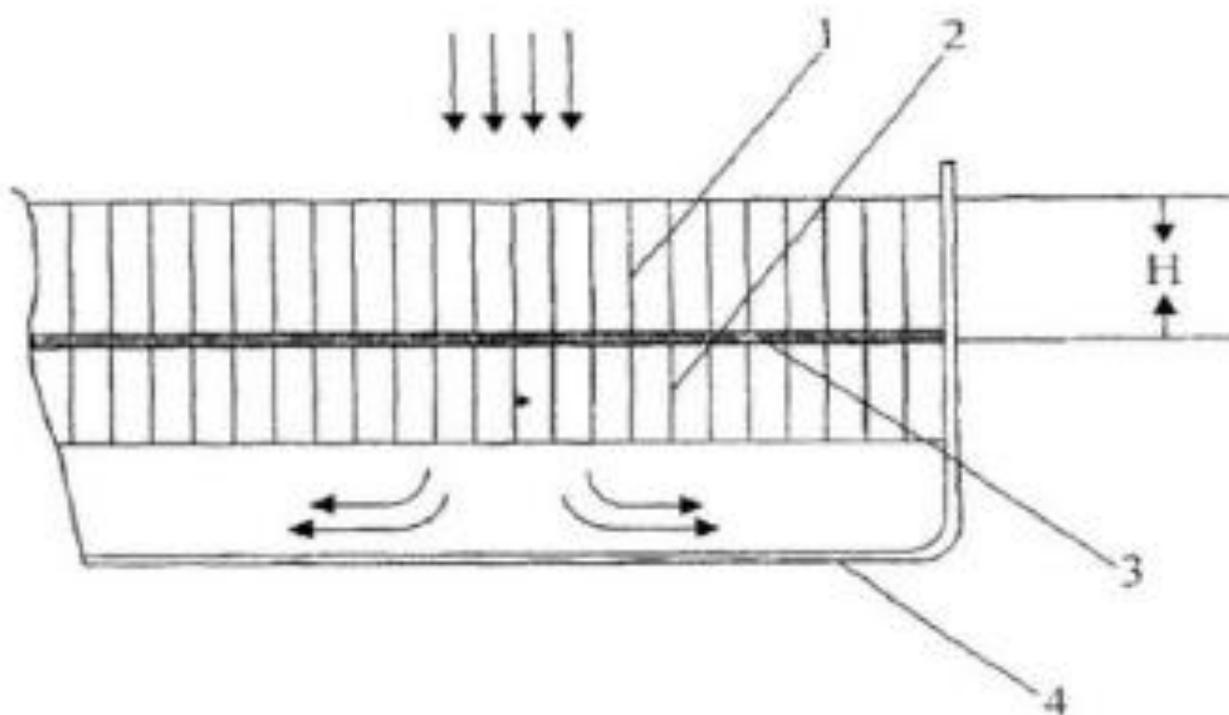
- устройство дополнительного водосборного устройства между резервуарами с нефтепродуктами;
- установка комбинированных гидромониторов подачи охлаждающей воды, подачи пены для покрытия горючей жидкости, или роботизированной установки на дополнительной обваловке» [16].

Изучив современную техническую документацию и нормативные акты, касающиеся обеспечения безопасности на нефтебазах, можно определить ряд условий, которые необходимо соблюдать для обеспечения пожаробезопасности на данном объекте. Анализ этих требований позволяет выделить основные моменты, выполнение которых способствует достижению требуемого уровня безопасности и снижает риск возникновения пожара на нефтебазе.

«Фактическое состояние объекта показывает, что основная часть технических и организационных мероприятий проводится на объекте, о чем убедительно свидетельствуют предписания инспекций МЧС, состояние зданий и сооружений, декларация эксплуатационной безопасности. Эти обстоятельства позволяют оценить высокую готовность объекта к обеспечению пожарной безопасности» [28].

Любое техническое решение, обеспечивающее понижение горючести сырья и продуктов при их аварийном локальном разливе, обладает как достоинствами, так и недостатками. Использование поддонов, имеющих встроенные трубчатые гасители пламени, для оборудования полов в местах работы с ГЖ применяется достаточно часто, хотя они обладают большой массой и высокой ценой.

На рисунке 8 изображена схема устройства для самозатухания горючих жидкостей с вертикально расположенными трубами, обладающими осевой симметрией.



1, 2 – два слоя осесимметричных вертикальных каналов; 3 – слой металлических сеток; 4 – емкость для аварийно-пролитой жидкости

Рисунок 8 – Схема устройства пожаротушения подавлением конвекции с одним слоем металлических сеток

«Между слоями образованных вертикальных каналов, заключенных в обечайку, установлены один, два или три слоя металлических сеток (в зависимости от вида горючей жидкости (ЛВЖ, ГЖ)). Под нижним срезом ячеистой структуры размещена плоская металлическая емкость для приема горючей жидкости, с помощью вертикальных стенок которой в структуре вертикальных каналов создается высота, незаполняемая жидкостью, при которой обеспечивается эффективное тушение пламени за счет подавления конвекции для горящих жидкостей» [34] (рисунок 9).

Этот устройство позволяет предотвратить возгорание и пожар за счет самозатухания горючих жидкостей, когда они подвергаются повышенной температуре. Оно работает путем реакции на повышенную температуру, которая инициирует активацию системы пожаротушения, высвобождая специальные вещества, которые подавляют горение. Таким образом, устройство эффективно предотвращает возгорание и пожары, защищая

окружающую среду и сохраняя ценное имущество.

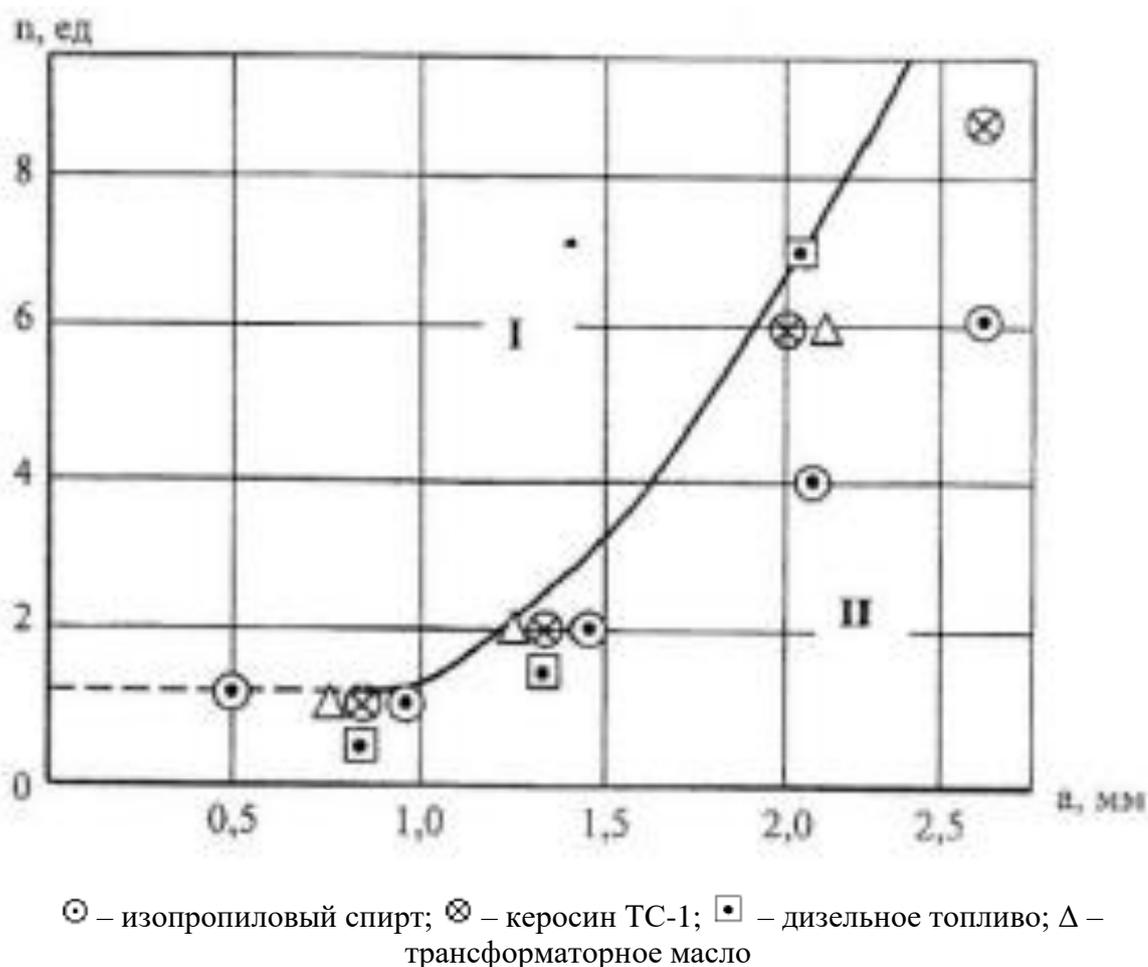


Рисунок 9 – График зависимости минимального числа горизонтальных сеток от размера одной квадратной ячейки в свету

Применение подобных средств высокоэффективно в борьбе с пожарами, позволяют вывести из процесса тушения возгорания ГЖ обычные средства и способы.

В некоторых странах применяется противопожарный половой настил из модульных поддонов, которые ограничивают развитие горения разлитых горючих веществ (рисунок 10).

Используются такие устройства в основном на палубах авианосцев, в ангарах для авиатехники, на нефтяных платформах. Пассивным веществом, как наполнителем для гашения пламени, используется металлическая вата,

помещенная в поддоны и покрытая листом металла с перфорацией. «Такие модули сложны в техническом исполнении (имеется большое количество соединений, ребер жесткости, трубчатых каналов и т.д.), что увеличивает металлоемкость и ценообразование» [39].



Рисунок 10 – Испытания модульных поддонов в виде противопожарного настила. Слева – горение пролива керосина в модульном поддоне, справа – горение пролива керосина в открытом поддоне

Эффективным методом тушения пожаров при аварийных утечках углеводородных соединений является использование гранулированного материала внутри поддонов. «Для защиты оборудования от прогрессирующего пожара пролива известно техническое устройство, представляющее собой емкость с гравийным наполнителем, причем в виде наполнителя можно использовать щебень, тальк, гравий и керамзит размером гранул 15 – 35 мм. Свободный, не занятый горючей жидкостью, слой должен быть не менее 30 мм» [35]. «В таких условиях при воспламенении паров горючей жидкости образуется устойчивое пламенное горение, высота которого не превышает 150 – 200 мм, а его температура 750 °С» [35].

Эксперимент проведен для определения взаимосвязи между высотой пламени и размером гранул наполнителя на противне 0,16 м² (рисунок 11).

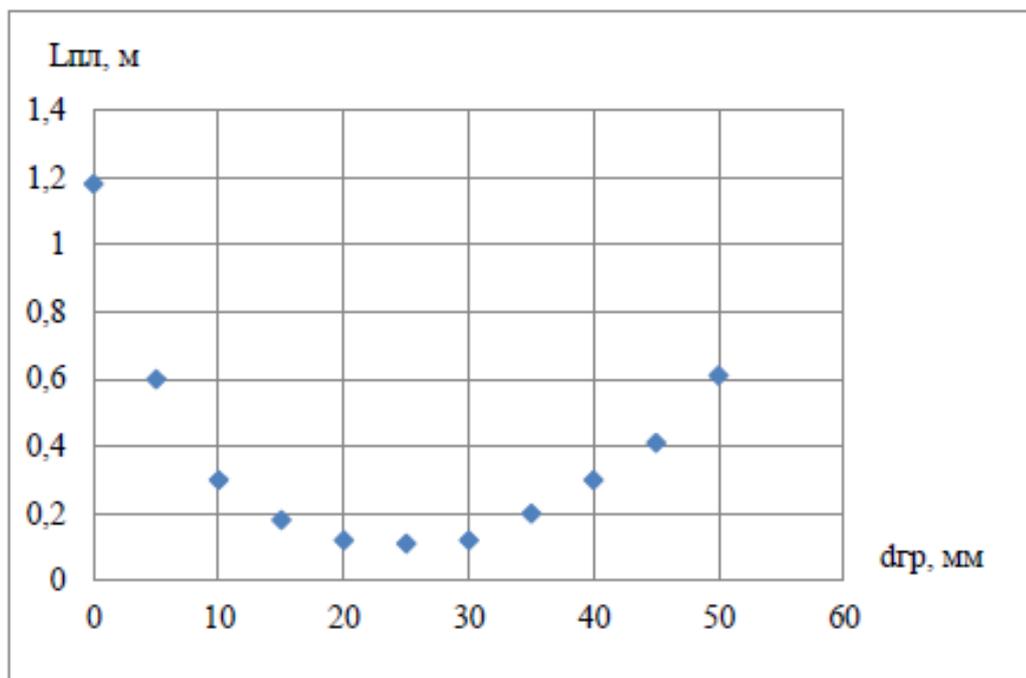


Рисунок 11 – Изменение высоты пламени от размера гранул при горении керосина в поддоне

Вывод по первому разделу

Хотя в последнее время вопросам по снижению пожароопасности в случаях локального аварийного разлива горючей жидкости уделяется в научных изысканиях большое внимание, но пока точно выработанных критериев по прекращению процесса горения ГЖ посредством гранулированного материала не имеется.

Итак, накоплен большой опыт, установлены требования в виде обширной нормативной базы, способные обеспечить сокращение пожарных ситуаций при аварийных локальных разливах ГЖ до минимума. Разработаны и предлагаются к внедрению новые инженерные решения для пассивного пожаротушения при аварийных локальных разливах ГЖ без применения огнетушащего вещества или средства.

2 Проектирование средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре

2.1 Принципы построения автоматизированной системы управления и исполнительные механизмы средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре

В настоящее время в России активно и устойчиво внедряется огнезащитная продукция таких фирм-производителей, как «Ассоциация Крилак», «Научно-производственная лаборатория 38080», «Теплоогнезащита» (г. Сергиев Посад), НПП «Техсервисвермикулит» (Челябинск), ООО «ЭнЦентр» «Утро», «НЕОХИМ», «Научный инновационный центр строительства и пожарной безопасности» (Санкт-Петербург) и множество других.

В последние годы эффективность достигается путем использования определенных компонентов:

- «высокотемпературных неорганических связующих: алюмофосфатных, алюмоборфосфатных, алюмохромфосфатных и других, совместимых с такими компонентами как двуокись титана, оксид магния, двуокись кремния, гидроксид алюминия;
- высокотемпературных органических связующих;
- мочевиноформальдегидных или мочевиномеламиноформальдегидных смол;
- антипиренов: полифосфата аммония, алкилфосфоновых кислот;
- специальных вспучивающихся компонентов - оксидированного графита, отходов полистирола» [10].

Применение подобных средств высокоэффективно в борьбе с пожарами, позволяют вывести из процесса тушения возгорания ГЖ обычные средства и способы. В некоторых странах применяется противопожарный половой

настил из модульных поддонов, которые ограничивают развитие горения разлитых горючих веществ. Используются такие устройства в основном на палубах авианосцев, в ангарах для авиатехники, на нефтяных платформах. Пассивным веществом, как наполнителем для гашения пламени, используется металлическая вата, помещенная в поддоны и покрытая листом металла с перфорацией.

«Такие модули сложны в техническом исполнении (имеется большое количество соединений, ребер жесткости, трубчатых каналов и т.д.), что увеличивает металлоемкость и ценообразование» [39].

На основании проведенных исследований можно с уверенностью констатировать: применение нормативных защитных сооружений для предотвращения значительных разливов углеводородного сырья и продуктов в резервуарном парке не обеспечивает нужной эффективности, нарушается конструкция защитных сооружений, то есть при значительном порыве вероятно быстрое разрушение РВС.

«При этом площадь пролива (возможного пожара) может составлять десятки и сотни тысяч квадратных метров, приводя к каскадному развитию аварийной ситуации. Критические для человека значения удельной энергии потока жидкости сохраняются на значительных от аварийного резервуара расстояниях, что указывает на высокую вероятность гибели людей, оказавшихся в зоне пролива» [9].

Поскольку разрушение РВС многократно повышает риск возникновения пожара, то для его снижения необходима разработка новых технических решений, обеспечивающих надежную защиту резервуарным паркам от воздействия динамического напора потока нефти и нефтепродуктов при их разливах. Многолетняя противопожарная деятельность в условиях резервуарных парков позволила выработать определенные мероприятия, в числе которых проведение обвалований в зоне каждого резервуара. Этот метод оказался достаточно эффективным при разливах нефтепродуктов.

«Еще в 20-х годах прошлого столетия в США проводились крупные исследования по локализации растекания нефти и мазута в случае их вскипания и выброса из горящего РВС. Испытанию подвергались ограждения различных конструкций. Наиболее эффективными были признаны защитные вертикальные стены, оборудованные козырьком, шириной 0,2 м, и дополнительно устраиваемые земляные валы на расстоянии не менее 9 м от основного обвалования резервуара.

Эти данные Американский нефтяной институт рекомендовал Национальной противопожарной ассоциации для включения в правила противопожарной охраны нефтяных резервуаров. При этом отмечалось, что такие ограждения не способны противостоять выбросам нефти из больших резервуаров, а также удерживать поток жидкости, образующийся при полном разрушении резервуара. Однако страховые общества и пожарные настояли на их включение в правила проектирования складов, как дополнительные преграды от пролива жидкостей при возможных разрывах трубопроводов и локальных повреждений резервуаров» [36].

Применение данных нормативов было заимствовано рядом стран и внедрено в свои нормативные проектировочные требования для предприятий по хранению и содержанию углеводородного сырья и продуктов, ЛВС. Причем, изначально применение данных нормативных требований касалось лишь резервуаров с нефтью, затем они были распространены и на емкости с углеводородными продуктами.

Строительные нормы и правила (СНиП) относительно предприятий по сохранению и содержанию углеводородного сырья и продуктов много раз редактировались, но для земляных обвалований, защитно-ограждающих конструкций резервуаров внесение изменений в требования практически не проводилось из-за ненужности.

Со временем видоизменялась конструкция резервуаров, предлагаются новые технологии возведения резервуаров, значительно возросло число резервуаров, находящихся в эксплуатации, увеличиваются объемы

резервуаров. Зачастую это происходит в границах городских и иных поселений, что значительно увеличивает риск нанесения ущерба в случае возникновения ЧС.

Также стоит отметить появление других очень серьезных видов угроз для безопасной жизнедеятельности граждан, к ним относятся неприемлемые методы конкурентной борьбы или при международных конфликтах в форме организации техногенной катастрофы в местах резервуарных парках.

Перечисленные факторы служат основанием:

- для проведения анализа действующих нормативов относительно ограничения зон разливов нефти и нефтепродуктов при полном разрушении резервуаров;
- создания новых технических решений, обеспечивающих защиту, сокращение уровня пожарных рисков, сводящих до минимального уровня ущерб для окружающей среды в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Построение автоматизированной системы управления средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре, базируется на строгом исполнении ряда принципов (рисунок 12).

Гарантированность – «безусловное предотвращение распространения пролива горючей жидкости за пределы защитного сооружения» [20].

Активность – «минимизация воздействия на людей, постройки и окружающую среду сопутствующих гидродинамической аварии других опасных факторов (тепловое излучение пожара разлива, загазованность территории)» [5].

Безопасность – «снижение негативного воздействия опасных факторов на личный состав пожарной охраны и техники, участвующих в ликвидации пожаров в резервуарных парках» [5].

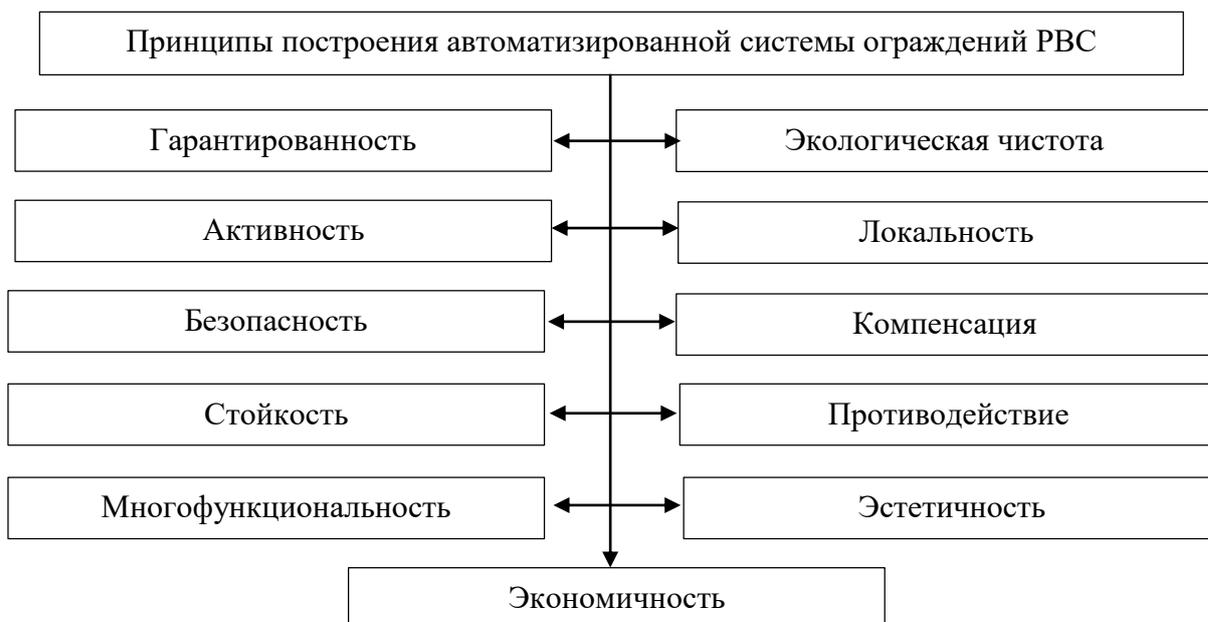


Рисунок 12 – Принципы построения автоматизированной системы управления средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре

Стойкость – «способность сохранять свойства в течение заданного времени от атмосферных проявлений, воздействия теплового излучения пожара пролива, резервуара или пожара за огражденной территорией» [4].

Многофункциональность – «совмещение функции защиты от гидродинамического разлива жидкости с возможностью использования в других целях (прокладка дорог, размещение стационарных систем пожаротушения)» [5].

Экологическая чистота – «сохранение экологической обстановки на объекте и прилегающей к нему местности (установка внутри ограждения экранов, исключающих инфильтрацию пролившегося продукта в грунт)» [12].

Локальность – «реализация в границах объекта, от которого исходит опасность пролива горючей жидкости (учитывая различную социально-экономическую значимость и степень освоения объектов на сопредельной территории, размер возможного ущерба и экологических последствий от пролива, защитные мероприятия могут носить избирательный локальный характер)» [4].

Компенсация – «применение с целью компенсации при вынужденных отступлениях от требований норм проектирования, в основном, в части сокращения минимально допустимых расстояний между объектами, при условии обеспечения требуемого уровня пожарной безопасности» [20].

Противодействие – «ограничение несанкционированного доступа на объект защиты с минимизацией величины ожидаемого ущерба при возможных проявлениях террористических актов» [4].

Эстетичность – «способность органически вписываться в городские и природные ландшафты с архитектурным оформлением, способствующим эстетическому восприятию (применение новых конструкций, материалов)» [19].

Экономичность – «экономическая эффективность при заданных параметрах защитных свойств и низких эксплуатационных расходах в течение срока службы» [19].

Таким образом, ограничение распространения пожара за пределы очага должно обеспечиваться одним или несколькими из следующих способов:

- «устройство противопожарных преград;
- устройство пожарных отсеков и секций, а также ограничение этажности или высоты зданий и сооружений;
- применение устройств аварийного отключения и переключение установок и коммуникаций при пожаре;
- применение средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре;
- применение огнепреграждающих устройств в оборудовании;
- применение установок пожаротушения» [23].

Новые технические разработки, основанные на существующих принципах, должны обеспечивать безопасность территорий и персонала в случаях проливов нефти и нефтепродуктов при скором разрушении резервуаров, сокращая вероятность возгораний, повышения экологической

безопасности при эксплуатации промышленных предприятий теплоэнергетического комплекса.

2.2 Интеграция средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре с установками пожарной сигнализации и пожаротушения

Кроме основных методов по сокращению разливов нефти и нефтепродуктов при возникновении аварий РВС, практикуются дополнительные (альтернативные), в числе которых:

- «дополнительные преграды, например, в виде рвов, устраиваемых на определенном расстоянии за пределами существующего нормативного обвалования;
- специальную ограждающую стену с волноотражающим козырьком из монолитного железобетона» [3].

«К дополнительным преградам относятся рвы, канавы, амбары, повышенные отметки полотен дорог и другие сооружения, устраиваемые за основными земляными обвалованиями или ограждающими стенами. Однако, в современных условиях, использовать повсеместно на практике такие дополнительные преграды не всегда представляется возможным, что обусловлено, в первую очередь, необходимостью выделения для их обустройства значительной части производственной территории. В частности, сооружение таких преград для безопасной эксплуатации резервуарных парков в городских условиях, является практически невыполнимой задачей. Такая же проблема возникает и при обеспечении безопасности морских терминалов, расположение которых сопряжено, как правило, с минимальными расстояниями до акваторий, а также особенностями грунтового покрытия (слабые и насыпные грунты). В тоже время, можно отметить, что такие преграды могут успешно применяться на объектах добычи нефти, где, как

правило, имеется достаточно территории для их обустройства и, что важно, не требуется применение железобетонных конструкций» [7].

По всей видимости, «к наиболее эффективному способу ограничения пролива жидкостей при разрушениях РВС, и, как следствие, снижения пожарного риска, следует отнести преграду, конструктивно выполняемую в виде вертикальной ограждающей стены с волноотражающим козырьком» [13].

Проведенными исследованиями доказано, что увеличивать стены ограждений (валов) ввысь малоэффективно для обеспечения защиты при разливах нефти и нефтепродуктов, приводящих к разрушениям РВС.

Изображение 13 демонстрирует последовательность этапов исследуемого процесса, проведенного А.А. Коршаком: направление разлива нефти или нефтепродукта к стене защитного ограждения и снижение уровня сырья (продукта) внутри резервуара; гидравлический удар нефти (продукта) по стене ограждения с выбросом в вертикальном направлении; возникновение движения потока в обратном направлении в сторону центра резервуара из-за отражения его о стену ограждения, в центре в этот момент возникает своеобразный провал [17].

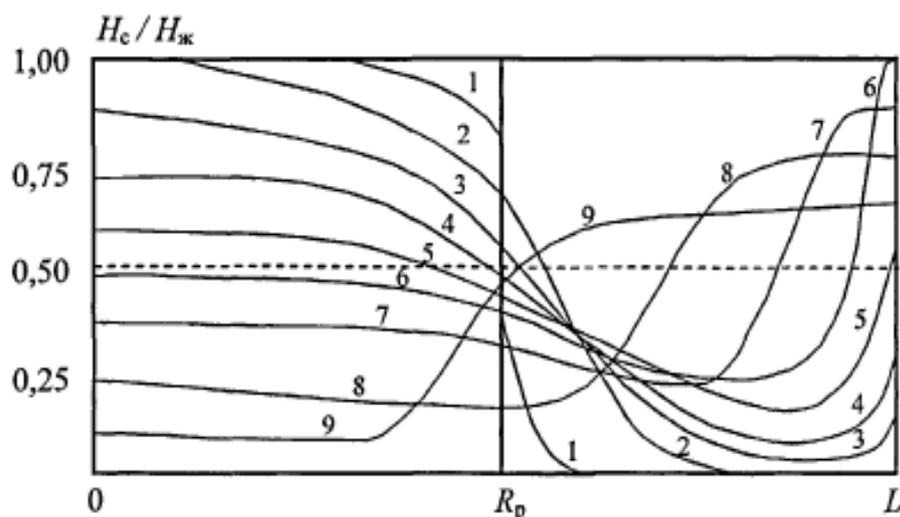


Рисунок 13 – Типичные кривые, определяющие профиль потока жидкости в последовательные моменты времени с шагом 0,5 с и взаимодействию его с преградой при разрушении РВС [17]

«Максимальная высота подъема жидкости на стене составляла в рассматриваемом случае 5,3 м. Именно при такой высоте защитной стены должно исключаться проникновение жидкости в область за нее. Аналогичный вид имеет форма потока и во всех других случаях, как плоских, так и радиальных» [17].

В ходе расчетов изменялся только один безразмерный параметр, который определяет положение стены относительно резервуара. На рисунке 14 сплошной линией представлена «зависимость безразмерной высоты стены, достаточной для перекрытия пути движущейся лавине жидкости в зону за стену, от безразмерного расстояния. Пунктирной линией обозначена зависимость безразмерной высоты нормативной стены, рассчитанной на гидростатическое давление вылившейся из РВС жидкости» [17].

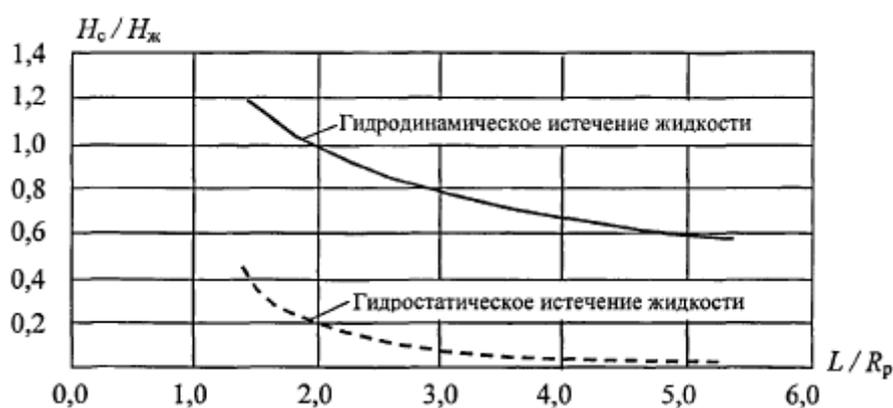


Рисунок 14 – Зависимость высоты стены от расстояния до места ее расположения от резервуара

Таким образом, в результате теоретических расчетов показано, что «высота защитных вертикальных стен должна быть значительно больше нормативных, а на небольших расстояниях до РВС высота ограждения может достигать высоты разлива жидкости в резервуаре до аварии, что говорит о ее нецелесообразности обустройства в связи с экономической неэффективностью. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на

уменьшение высоты ограждения посредством дополнения его волноотражающим козырьком» [23].

Далее в работе приводятся итоги экспериментов, смоделирован ход возникновения и развития волны с разрушением РВС и ее влияние на козырьки для отражения волн.

Провести исследования воздействия волн при прорывах на защитные ограждения в реальных условиях не представляется возможным, ввиду этого были смоделированы данные процессы для дальнейшего более детального и глубокого проведения исследования, результаты которых могут быть использованы для реальных объектов.

Созданная Г.А. Доррер математическая модель позволяет провести проверку физического обоснования исследуемых процессов, наличия для них смоделированных основных ситуаций, которые были проверены с использованием имеющегося лабораторного стенда (рисунок 15 демонстрирует принципиальную схему данного стенда).

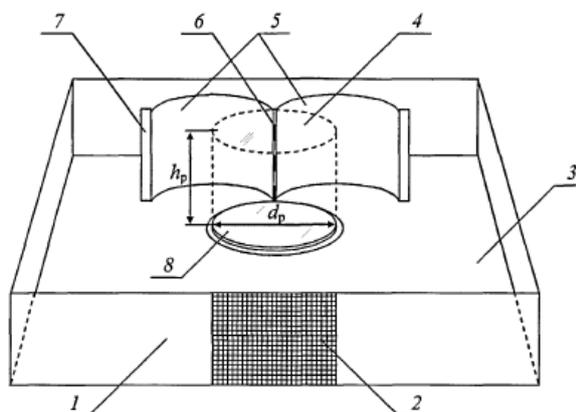


Рисунок 15 – Принципиальная схема лабораторного стенда

«Лабораторный стенд имел неподвижное горизонтальное основание 3, по всему периметру которого была установлена скользящая опалубка (преграда) 1, имитирующая каре обвалования. Для измерения уровня поднятия жидкости на внутренней поверхности стены имелась координатная сетка 2.

Внутри каре устанавливалась модель натурального резервуара 4. Боковые поверхности модельного резервуара (стенки) 5 изготовлены в виде двух полуцилиндров, соединенных между собой поворотным механизмом 6, который обеспечивал их раскрытие на 180° » [8].

«Разъемное замковое устройство 7 воспроизводило разрушение резервуара по вертикали. В собранном виде элементы резервуара образовывали замкнутую цилиндрическую оболочку, установленную на круглое днище 8 (подставку) и скрепленную с ним стержнем от поворотного механизма» [8].

Объектом исследования был выбран резервуар типа РВС-2000, который представлен в модели в масштабе 1:30 (рисунок 16).



Рисунок 16 – Резервуар типа РВС-2000

Многоразовые опыты для гидродинамического исследования на экспериментальном резервуаре позволили воспроизвести реальные процессы в аварийных ситуациях с разрушением РВС: проверялась проверка

герметичности резервуара в процессе его наполнения жидким составом; имитировались ситуации с вертикальным разрушением шва на резервуаре, последствием которого служит открытие стенок до 180° от воздействия напора содержимого в резервуаре; исследовались процессы формирования волны и ее воздействие на защитные ограждения.

Исследования проводились следующим образом. На заранее выбранном удалении от стенки защитного ограждения ставилась модель резервуара, которую наполняли в соответствии с заданным уровнем. Далее имитировался процесс разрушения стенок модели и происходящее (разрыв стенки и динамическое действие волны на защитное ограждение, высота поднятия жидкости по стене ограждения) записывалось на цифровую камеру, координатная сетка позволяла сделать некоторые замеры. В случаях, когда высота волны поднималась выше экспериментального защитного ограждения, его увеличивали и проводились повторные опыты. Такие исследования позволили определить наименьшее значение высоты защитного ограждения, которая способна стопроцентно удержать поток прорыва. Проведение каждого опыта повторялось до 5 раз с относительной погрешностью до 5%.

В исследовании экспериментальный резервуар наполнялся водой, поскольку на основании статистики можно утверждать следующее: динамическое воздействие потока при разрыве РВС на стену защитного ограждения при некоторых равных состояниях существенно не зависит от типа жидкого вещества, находящегося в резервуаре. В процессе исследования использовалась защитная стенка обваловки с углом наклона у основания 45° и 60° , высота стенки выбиралась в соответствии с действующими нормативными значениями, которая переходила к строго вертикальному положению, стенку с наличием козырька, имеющего разный угол относительно горизонта и направленного к РВС.

Исследованием была проверена теоретическая база процессов формирования и движения волны жидкого вещества при прорыве стенок

резервуара, динамики воздействия волны на защитное ограждение, что позволило определить оптимальную форму защитного ограждения.

В ходе серии экспериментов происходило изменение расположения ограждения вокруг резервуара. На рисунке 17 представлена основная схема определения параметров защитных преград.

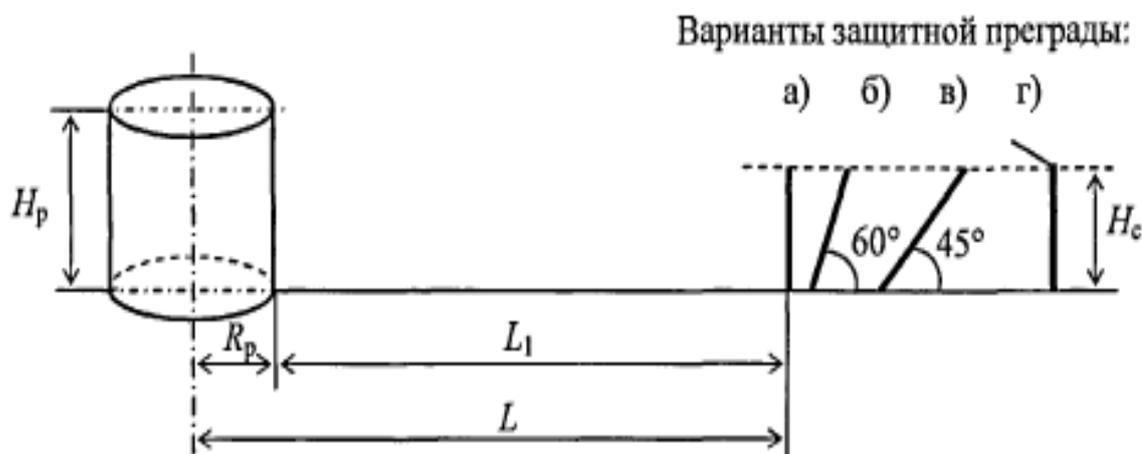


Рисунок 17 – Принципиальная схема к определению параметров защитных преград

Опыты проводились для случая плоской симметрии при постоянной высоте жидкости в резервуаре $H_{жс} = 0,4$ м. Мы детально изложили результаты наших экспериментов в таблицах и графиках, после математической обработки статистических данных о взаимодействии волны прорыва с защитной стеной. На графиках представлены основные выводы из нашего исследования. На изображении 18 показаны графики, иллюстрирующие взаимосвязь между вертикальной нормативной защитной стеной и вертикальными стенами типа А и Б.

Эти выводы позволяют нам более точно понять процессы, происходящие при взаимодействии волны прорыва с защитной стеной и принять меры для повышения эффективности защиты.

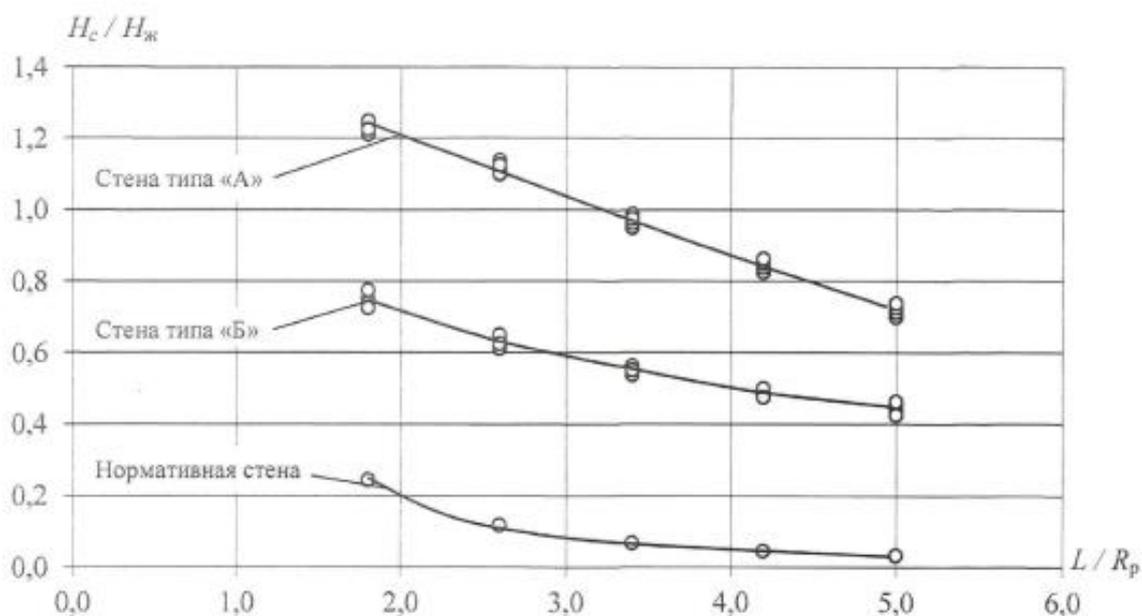


Рисунок 18 – Графическое сравнение экспериментальных и теоретических зависимостей высот стен различной конфигурации

Защитная стена типа А представляет собой вертикальную защитную стену, которая обладает «бесконечной» высотой. В ходе экспериментов измерялась максимальная высота набегающей волны (рисунок 19).



Рисунок 19 – Фрагмент измерения максимальной высоты набежавшей волны на вертикальную стенку

Защитная стена типа Б – защитная стена изменяющейся высоты (скользящая опалубка). «При проведении экспериментов измерялась максимальная высота защитной стены, необходимой для 100 % удержания потока жидкости. При этом отмечался скачок волны выше защитной стены, но перехлеста не происходило. Таким образом, высота защитной стены типа Б несколько меньше высоты защитной стены типа А. Однако сравнение этих данных показывает, что применение защитных стен типов А и Б на практике нецелесообразно, так как их высота значительно превышает высоту нормативного обвалования» [8].

На изображении 20 показаны графики, отражающие зависимость высоты экспериментальных и теоретических вертикальных защитных стен, которые требуются для полного удержания прорыва волны.

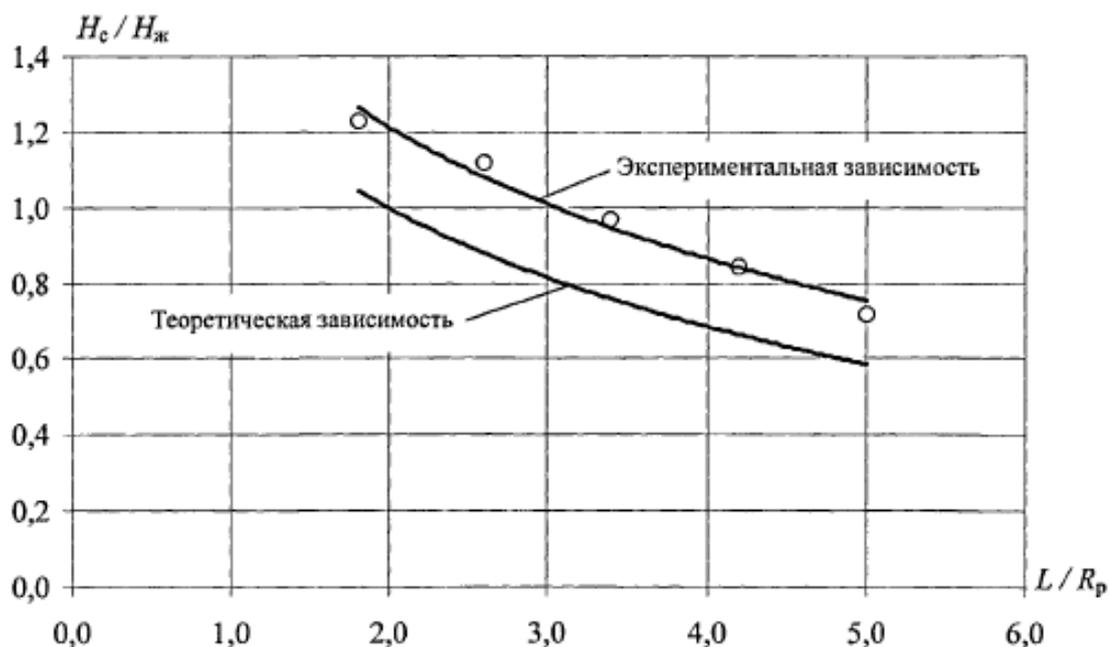


Рисунок 20 – График сравнения экспериментальных и теоретических данных

Представленные графики показывают хорошее соответствие между экспериментальными и расчетными данными, с относительным расхождением не более 20%. Однако стоит отметить, что все экспериментальные точки

находятся выше расчетных точек, что указывает на то, что высота подъема жидкости в эксперименте была выше, чем ожидалось по расчетам (рисунок 20).

Это объясняется тем обстоятельством, что «при проведении исследований имело место образование отраженной волны от раскрывшихся стенок модельного резервуара, движение которой вместе с основной волной прорыва в сторону обвалования приводило к увеличению энергии набегающего потока жидкости на преграду, и как следствие, к увеличению высоты подъема жидкости» [8].

Таким образом, имеет смысл рассмотреть применение аварийных резервуаров, которые будут предназначены для сбора проливов или приема аварийных сбросов нефтепродуктов.

Аварийные емкости используются:

- «на автозаправочных станциях;
- на нефтебазах;
- в котельных;
- на складах нефтепродуктов;
- под силовыми трансформаторами для аварийного слива трансформаторного масла;
- на других объектах, где хранятся легко воспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) общим объемом более 1 м³» [14].

Аварийные резервуары используются для двух операций:

- «для аварийного слива нефтепродуктов из технологической системы. При ремонтных работах или при возникновении возгорания, происходит аварийный сброс из действующих резервуаров или трубопроводов в аварийную емкость. При этом в аварийный резервуар попадает продукт, который по своему качеству является товарным и его можно повторно использовать в технологической системе предприятия или выдавать потребителю;

- для сбора локальных аварийных проливов и утечек нефтепродуктов с площадок автоцистерн, с пола склада, участка. Такие локальные разливы могут происходить при сливных операциях из-за негерметичных соединений штуцеров и фланцев, разрыва рукава. Продукт, собранный с пола, уже не будет товарным и его необходимо утилизировать. Такие лужи из нефтепродуктов засыпаются опилками или песком и вывозят на утилизацию. Остатки вместе с дождевой водой должны попадать через специальную ливневку в аварийный резервуар» [14].

В соответствии с нормами и требованиями пожарной безопасности, из наземных расходных резервуаров единичной и общей вместимостью более 1 м³ для легковоспламеняющихся и 5 м³ для горючих нефтепродуктов, относящихся к расходному складу и устанавливаемых в производственных зданиях, должен предусматриваться слив в аварийный подземный резервуар или опорожнение их продуктовыми насосами в резервуары основной емкости склада.

Объем аварийного резервуара должен быть не менее 30% суммарной вместимости всех резервуаров, устанавливаемых в производственных зданиях расходного склада, и не менее вместимости наибольшего из указанных резервуаров.

Аварийный резервуар, в который обеспечивается самотечный слив, должен быть подземным и располагаться снаружи здания на расстоянии не менее 1 метра от стен без проемов и не менее 5 метров от стен с проемами. Специальный аварийный резервуар может не предусматриваться, если обеспечивается самотечный слив ЛВЖ в резервуары основной емкости склада.

При самотечном сливе трубопроводы аварийного слива должны иметь диаметр не менее 100 мм и снабжены устройствами, предупреждающими распространение пламени через эти трубопроводы.

На каждом аварийном трубопроводе, соединяющем расходные резервуары с аварийным резервуаром, должно быть запорное устройство, устанавливаемое вне здания или на первом этаже (вблизи выхода наружу).

Продуктовые насосы, обеспечивающие откачку нефтепродуктов при аварии, необходимо размещать в отдельном от резервуаров помещении или вне здания.

Резервуарные стенки в аварийном резервуаре представляют собой соединение обечаек (металлические заготовки), для чего используется автоматическая сварка; форма днища резервуара может иметь плоский или конический вид, что продиктовано техническим проектом.

Резервуарный парк имеет обычные стандартизированные резервуары и для аварийных переливов, это горизонтального подземного исполнения цилиндр, имеющий горловину, необходимые патрубки и оборудование, выполняющие прием и откачку жидкого вещества (нефть, нефтепродукт). На стенках резервуара устанавливают ребра жесткости, не допускающие деформирование стенок. Поверх горловины смонтирован герметически закрывающийся специальный отсек для технологического оборудования.

Аварийные подземные резервуары, как правило, одностенного исполнения с толщиной стенок не менее 5 мм, поскольку они не используются для долгосрочного содержания в них нефти или нефтепродукта.

Такой аварийный резервуар может иметь 1 или 2 секции, предназначенных под ливневые стоки, под прием нефти или нефтепродукта при их разливе. При наличии 2-х секций в резервуаре они герметически отделены друг от друга, каждая из секций снабжена своими горловиной, патрубками, технологическим оборудованием в своем отсеке.

Выводы по второму разделу

Объектом исследования был выбран резервуар типа РВС-2000, который представлен в модели в масштабе 1:30. Поскольку разрушение РВС многократно повышает риск возникновения пожара, то для его снижения необходима разработка новых технических решений, обеспечивающих

надежную защиту резервуарным паркам от воздействия динамического напора потока нефти и нефтепродуктов при их разливах. Проведя теоретические исследования по статистике происшествий, стало понятно, что нормативная высота защитных стен резервуара зачастую строится выше высоты разлива, что говорит о ее нецелесообразности и затратности мероприятия. Поэтому необходимо рассчитать оптимальную высоту данной стены с дополнением ее волноотражающим козырьком. Опыты проводились для случая плоской симметрии при постоянной высоте жидкости в резервуаре.

На заранее выбранном удалении от стенки защитного ограждения ставилась модель резервуара, которую наполняли в соответствии с заданным уровнем. Далее имитировался процесс разрушения стенок модели и происходящее (разрыв стенки и динамическое действие волны на защитное ограждение).

Для осуществления интеграции средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре далее в исследовании был предложен анализ вероятности применения аварийных резервуаров, которые будут предназначены для сбора проливов или приема аварийных сбросов нефтепродуктов.

3 Оценка эффективности обеспечения пожарной безопасности резервуаров

3.1 Внедрение современных средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре

Увеличение количества автомобилей в городах приводит к увеличению числа нефтебаз и заправочных станций на обочинах дорог. «Являясь объектами повышенной пожаровзрывоопасности, они, тем не менее, зачастую располагаются в селитебных зонах с плотной застройкой, создавая зоны значительного социального риска. На АЗС в России ежегодно происходит от 20 до 40 пожаров. Средний ущерб от пожара составляет 3,8 млн руб.» [11]. При авариях на АЗС и распределительных нефтебазах, сопровождающихся взрывами, возможны «повреждения как соседнего оборудования, так и зданий (на расстоянии порядка 80 м для бензинов и порядка 15 м для дизельных топлив). Работники и посетители АЗС могут получить средние и легкие травмы на расстоянии 80-160 м при авариях с участием бензинов и на расстоянии 15-45 м с участием дизельных топлив. В целом, травмирование возможно в зоне радиусом 230 м» [25].

В современной быстроразвивающейся топливной отрасли, обеспечение надлежащего уровня защиты на современных высокотехнологичных автозаправочных станциях и распределительных нефтебазах, которые имеют важное значение для непрерывной подачи топлива автотранспорту, считается одной из главных приоритетных задач, без выполнения которых дальнейшая эксплуатация подобных объектов становится невозможной как с точки зрения соблюдения действующих норм и правил, так и с позиции обеспечения приемлемого уровня рисков для персонала, клиентов и окружающей среды.

В связи с этим прогрессивные и ориентированные на устойчивое развитие топливные компании активно внедряют целый комплекс передовых технических решений, направленных на существенное повышение уровня

противопожарной безопасности на принадлежащих им АЗС и распределительных нефтебаз, включающий такие меры, как подземное размещение большей части технологического оборудования для минимизации риска возгорания, внедрение современных высокоэффективных систем улавливания и регенерации легких фракций топлива во избежание образования взрывоопасных паровоздушных смесей, автоматизацию процессов непрерывного контроля и мониторинга ключевых технологических параметров с помощью специализированных программно-аппаратных комплексов, а также резервирование критически важных элементов системы посредством использования резервуаров с двойными защитными стенками, обеспечивающими дополнительный барьер для предотвращения утечек в случае разгерметизации основного корпуса.

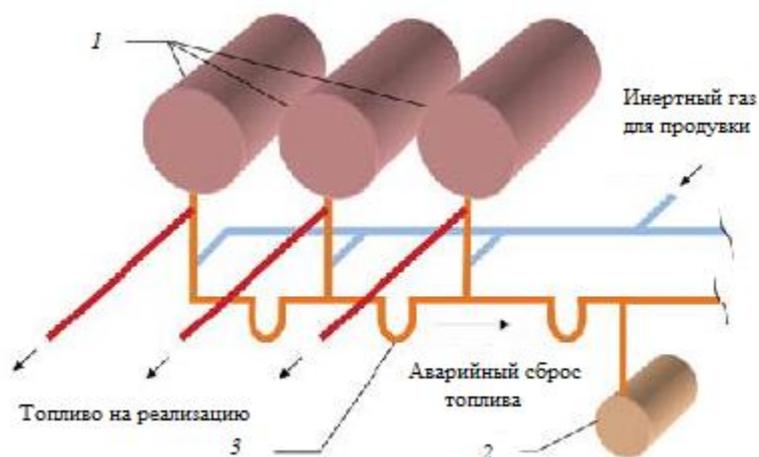
Тем не менее, несмотря на очевидные преимущества современных инженерных решений, на определенном количестве АЗС и распределительных нефтебаз, в частности на станциях, построенных в прошлом веке и не прошедших полную реконструкцию, по-прежнему продолжается эксплуатация устаревших наземных одностенных топливных резервуаров, срок службы которых близок к исчерпанию, а уровень противопожарной защиты не в полной мере соответствует текущим нормативным требованиям и стандартам отрасли, что создает дополнительные риски для окружающей среды и повышает вероятность возникновения нештатных ситуаций, связанных с утечками топлива.

Одним из наглядных примеров станции, на которой используются подобные устаревшие решения, является многотопливная АЗС с годовым объемом реализации порядка 7163 метрических тонн различных видов автомобильного топлива, включая несколько марок бензина и дизельное топливо, при среднесуточном показателе около 500 заправок транспортных средств клиентов, осуществляемых через 4 современные многопродуктовые топливораздаточные колонки, установленные на заправочных островках станции, из которых 3 являются трехпродуктовыми, позволяющими

одновременно отпускать три различных вида топлива, а одна – однопродуктовая.

«Центральным объектом исследования в данной научной работе является система аварийного слива топлива из резервуаров указанной АЗС. Эта критически важная система расположена под землей между двумя группами резервуаров. Подземная емкость, предназначенная для аварийного приема разлившегося топлива, имеет общий объем 16 кубических метров» [6].

Система для аварийного слива оборудована линией для продувки инертным газом, а также задвижками и гидравлическими затворами (рисунок 21).



(1 – резервуары для хранения топлива; 2 – аварийная емкость; 3 – гидравлический затвор)

Рисунок 21 – Схема системы аварийного слива топлива из резервуаров

Обеспечение должного уровня безопасности на современных высокотехнологичных автозаправочных станциях (АЗС), являющихся критически важными объектами инфраструктуры для бесперебойного снабжения топливом автомобильного транспорта, рассматривается как одна из наиболее приоритетных задач, требующих комплексного подхода и принятия эффективных мер по минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций, поскольку любые нарушения в данной сфере могут повлечь за собой

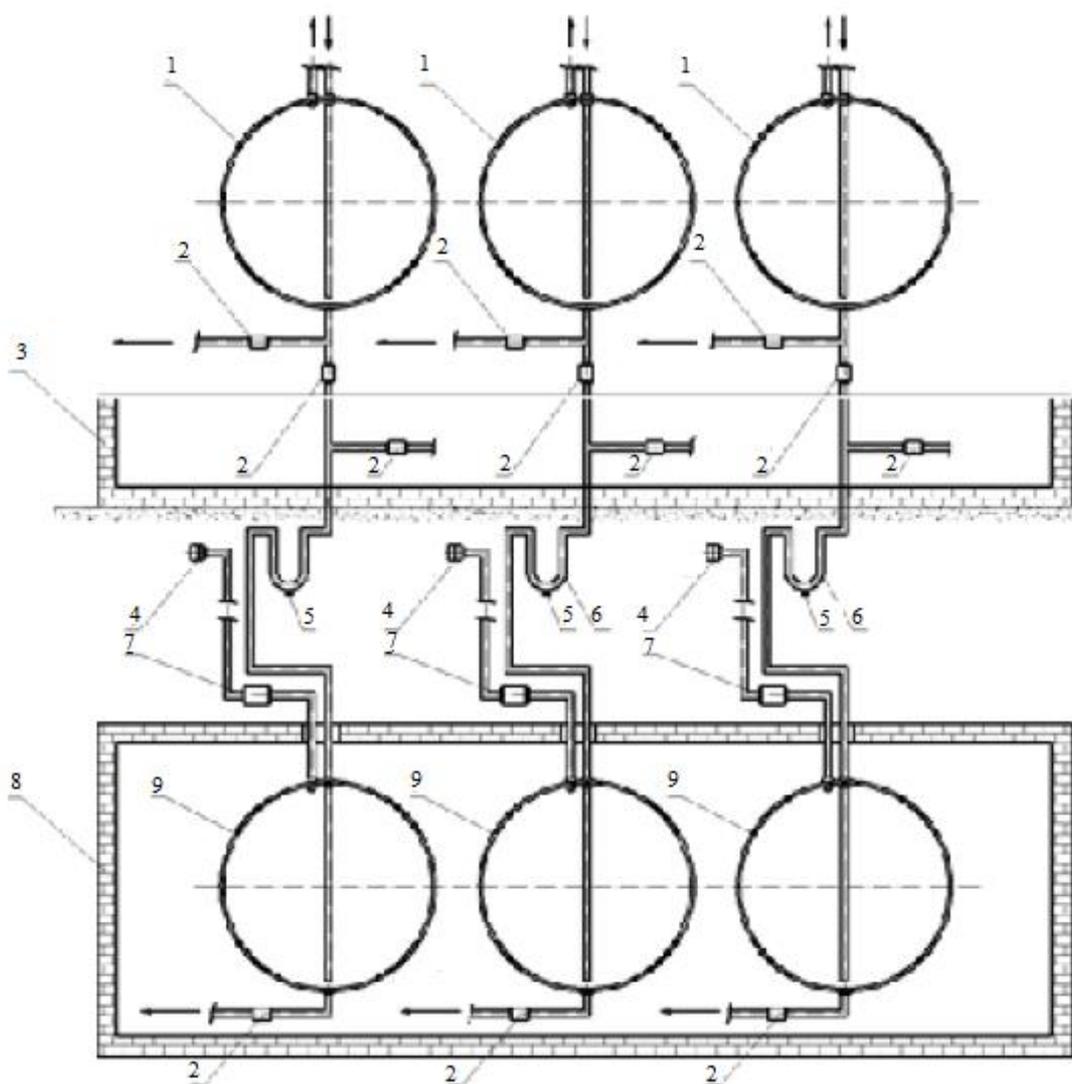
катастрофические последствия, связанные с угрозой жизни и здоровью персонала станции, ее клиентов, а также причинением существенного ущерба окружающей среде и прилегающей городской инфраструктуре.

Одним из ключевых факторов, «определяющих уровень безопасности на АЗС, является наличие высокоэффективной системы экстренного сброса или эвакуации топлива из резервуаров хранения в случае возникновения нештатной ситуации, сопровождающейся риском возгорания» [6]. Поскольку именно своевременное удаление горючих жидкостей из зоны поражения позволяет предотвратить эскалацию пожара и минимизировать масштабы разрушений, а также снизить вероятность вторичных взрывов и дальнейшего распространения огня на соседние объекты.

В рамках настоящего исследования был проведен анализ конструктивных особенностей и функциональных возможностей существующей на рассматриваемом объекте системы экстренного сброса с целью оптимизации ее параметров для обеспечения требуемого времени безопасной эвакуации содержимого резервуаров при возникновении пожара или другой чрезвычайной ситуации, представляющей угрозу возгорания, поскольку в таких условиях каждая минута промедления может привести к катастрофическим последствиям.

В ходе проведенного анализа были выявлены существенные недостатки действующей системы, ограничивающие ее эффективность и создающие дополнительные риски при эксплуатации, во-первых, существующая система рассчитана исключительно на одновременную эвакуацию содержимого из одного отдельно взятого резервуара, что делает ее полностью неэффективной в случае возникновения угрозы одновременного возгорания нескольких емкостей, хранящих горючие жидкости, поскольку для каждой из них потребуется проведение индивидуальной процедуры сброса, что значительно замедлит общий процесс эвакуации и может привести к непредсказуемым последствиям.

Кроме того, как показали расчеты, вместимость единственного на данный момент аварийного резервуара, предназначенного для приема эвакуируемого топлива, составляющая 16 кубических метров, является недостаточной для размещения полного объема основного резервуара объемом 25 кубических метров, что означает, что в случае возникновения необходимости срочной эвакуации содержимого последнего, порядка 6,5 кубических метров горючей жидкости не поместится (рисунок 22).



«1 – топливный резервуар; 2 – задвижка автоматическая с пробковым краном; 3 – стенка обвалования; 4 – сетчатый огнепреградитель; 5 – пробка; 6 – гидравлический затвор; 7 – сетчатый огнепреградитель; 8 – подземное помещение; 9 – аварийная емкость» [6]

Рисунок 22 – Схема усовершенствованной системы аварийного слива топлива (вертикальный разрез)

В рамках комплексной программы по повышению уровня промышленной безопасности и минимизации рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на территории автозаправочной станции, представляющей собой стратегически важный объект топливно-энергетического комплекса, обеспечивающий бесперебойное снабжение горюче-смазочными материалами автомобильного транспорта в регионе, было принято решение о необходимости проведения масштабной модернизации устаревшей системы экстренного сброса топлива из резервуаров хранения, в ходе которой были предложены несколько ключевых технических решений, направленных на радикальное повышение ее эффективности и оперативности реагирования.

Во-первых, с целью полного исключения задержек, связанных с человеческим фактором, и обеспечения возможности дистанционной активации процедуры эвакуации из безопасной зоны диспетчерского пункта, вместо устаревших ручных запорных устройств на линиях сброса топлива было рекомендовано установить современные автоматизированные клапаны, такие как высокопроизводительные пробковые краны, срабатывающие в течение нескольких секунд после получения соответствующей команды, что является критически важным фактором для минимизации масштабов последствий в случае возникновения внештатной ситуации, сопровождающейся возгоранием или взрывом на территории станции.

Во-вторых, с целью повышения уровня экологической безопасности объекта и предотвращения риска проникновения углеводородов в грунтовые воды, было предложено объединить все подземные аварийные емкости, предназначенные для приема эвакуируемого топлива, «в группы по три резервуара и разместить их в специализированном герметичном подземном бункере, в отличие от первоначального варианта с отдельной заглубленной установкой каждой емкости, что позволит не только обеспечить возможность регулярного осмотра и технического обслуживания резервуаров, но также

защитит их от повреждений, вызванных движением грунта и коррозионным воздействием влаги» [5].

В-третьих, учитывая критически важный фактор времени при эвакуации горючих жидкостей из зоны поражения во избежание развития пожара до масштабов неуправляемой ситуации, было установлено, что общее время процесса экстренного сброса топлива из резервуаров хранения не должно превышать 15 минут, что соответствует пределу огнестойкости необработанных огнезащитными составами металлоконструкций, из которых изготовлены эти резервуары, при этом, с учетом времени, необходимого для активации системы (около 10 секунд), на непосредственный слив горючей жидкости останется порядка 890 секунд, исходя из этого жесткого временного ограничения, необходимо провести расчеты и определить оптимальные проектные параметры модернизированной системы, включая диаметр сливных трубопроводов.

Таким образом, предлагаемый комплекс мероприятий по модернизации системы экстренной эвакуации топлива на автозаправочной станции, включающий в себя внедрение автоматизированных клапанов для обеспечения оперативности процесса сброса, создание герметичных подземных бункеров для размещения аварийных емкостей с целью предотвращения загрязнения окружающей среды, а также оптимизацию конструктивных параметров всей системы в соответствии с жесткими временными рамками, непосредственно диктуемыми требованиями промышленной безопасности, направлен на радикальное повышение ее надежности, оперативности и экологической безопасности, что в совокупности позволит существенно снизить риски возникновения масштабных последствий при реализации нештатных ситуаций, связанных с возгоранием резервуаров хранения горючих жидкостей на территории данного объекта.

«Общее время слива из горизонтально расположенных цилиндрических резервуаров определяется из выражения» [5]:

$$\tau_{\text{сл}} = \frac{LD\sqrt{DA}}{2,6 \cdot d_0^2 \cdot \mu_c}, \quad (1)$$

где «L – длина резервуара, м;

D – диаметр резервуара, м;

A – коэффициент, зависящий от отношения напора жидкости H к диаметру D;

d_0 – диаметр выходного сечения системы аварийного слива, м²;

μ_c – коэффициент расхода системы» [5].

«Коэффициент расхода системы рассчитывается по формуле» [8]:

$$\mu_c = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_c}}, \quad (2)$$

где ξ_c – «коэффициент сопротивления системы» [8].

Он равен:

$$\xi_c = \sum_{i=1}^n \xi_i \left(\frac{d_0}{d_i}\right)^4 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \cdot \left(\frac{d_0}{d_i}\right)^4, \quad (3)$$

где « ξ_i – коэффициент местного сопротивления;

λ_i – коэффициент линейного сопротивления трубопровода;

d_i – диаметр трубопровода на i-ом участке, м;

l_i – длина i-го участка трубопровода, м;

i – порядковый номер элемента» [8].

«Коэффициенты местного сопротивления можно определить по обобщенной формуле А.Д. Альтшуля (как при ламинарном, так и при турбулентном режимах)» [6]:

$$\xi_i = \frac{C_i}{Re_i} + \xi_{\text{кв}i}, \quad (4)$$

где « C_i – коэффициент, зависящий от вида местного сопротивления;

Re_i – число Рейнольдса для i -го местного сопротивления;

$\xi_{\text{кв}i}$ – коэффициент местного сопротивления в квадратичной области турбулентного режима для i -го местного сопротивления» [6].

«Число Рейнольдса определяется по формуле» [8]:

$$Re_i = \frac{\vartheta_i \cdot d_i}{\nu}, \quad (5)$$

где ϑ_i – «скорость в i -м местном сопротивлении, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ » [8];

ν – «кинематическая вязкость жидкости, $\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ » [8].

Подставим формулу (5) в выражение (4), после чего измененное выражение (4) подставим в (3):

$$\xi_c = \sum_{i=1}^n \xi_i \left(\frac{N_i \cdot \nu}{\vartheta_i \cdot d_i} + \xi_{\text{кв}i} \right) \cdot \left(\frac{d_0}{d_i} \right)^4 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \cdot \left(\frac{d_0}{d_i} \right)^4, \quad (6)$$

где ϑ_i – «скорость в i -м местном сопротивлении, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ » [8];

ν – «кинематическая вязкость жидкости, $\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ » [8];

ξ_i – «коэффициент местного сопротивления» [8];

λ_i – «коэффициент линейного сопротивления трубопровода» [8];

l_i – «длина i -го участка трубопровода, м» [8].

Для того, чтобы упростить расчеты, предлагается приравнять скорость движения жидкости в трубопроводе к средней, ее мы определяем по формуле:

$$\vartheta \approx 0,5 \mu_c \sqrt{2g} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}) = 0,5 \sqrt{\frac{2g}{1 + \xi_c}} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}), \quad (7)$$

где « H_1 и H_2 – соответственно напор жидкости в процессе начала и в процессе окончания слива» [8];

ξ_c – «коэффициент сопротивления системы» [8].

Далее выразим из выражения (7) величину ξ_c :

$$\xi_c = \frac{g}{2g^2} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2 - 1, \quad (8)$$

Приравняем:

$$\sum_{i=1}^n \xi_i \left(\frac{N_i \cdot v}{\vartheta_i \cdot d_i} + \xi_{квi} \right) \left(\frac{d_0}{d_i} \right)^4 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \left(\frac{d_0}{d_i} \right)^4 - \frac{g}{2g^2} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2 + 1 = 0 \quad (9)$$

Данное выражение применим для вычисления времени, которое нужно для опорожнения резервуаров при возможных аварийных ситуациях.

На рисунке 23 покажем зависимость коэффициента A от отношения напора жидкости H к диаметру D .

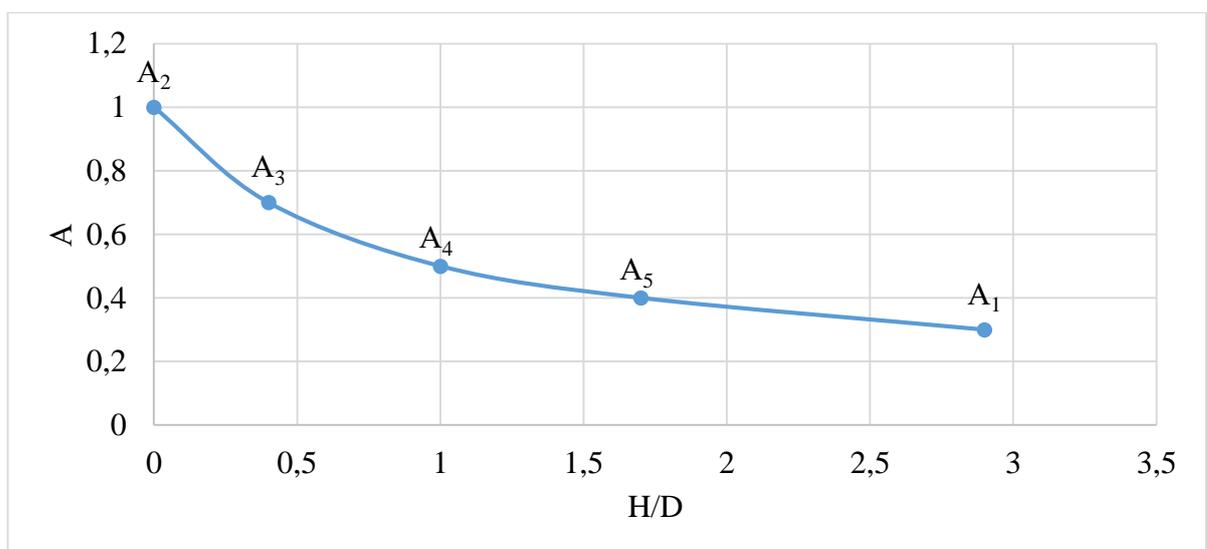


Рисунок 23 – Определение среднего значения коэффициента A

Согласно рисунку 23 можно сказать, что так как напор имеет непостоянное значение, это говорит о влиянии на постоянном изменении коэффициента А.

При отношении напора жидкости Н к диаметру D равному 2,86 коэффициент $A_1 = 0,31$. Конечное значение напора $H_2 = 0$, поэтому $A_2 = 1$.

Рассмотрим использование приближенного методы для того, чтобы найти средне значение коэффициента А: «участок кривой между значением A_1 (соответствует напору в начальный момент слива) и значением A_2 (в конечный момент слива) заменяются четырьмя прямолинейными отрезками: A_2-A_3 , A_3-A_4 , A_4-A_5 и A_5-A_1 . Далее определяются средние значения коэффициента А для каждого из отрезков, после чего рассчитывается среднее среди полученных средних, пока не получится среднее значение коэффициента А для всего участка кривой» [4]. В рассматриваемом случае получаем:

$$A = 0,5\{0,5[0,5(A_2 + A_3) + 0,5(A_3 + A_4)] + 0,5[0,5(A_4 + A_5) + 0,5(A_5 + A_1)]\} = 0,56 \quad (10)$$

«Для определения скорости движения эвакуируемого нефтепродукта по системе аварийного слива необходимо для каждого i-го участка сливного трубопровода учесть значения коэффициентов местного и линейного сопротивлений. Для этого предложенная конструкция сливного трубопровода была разбита на участки» [8].

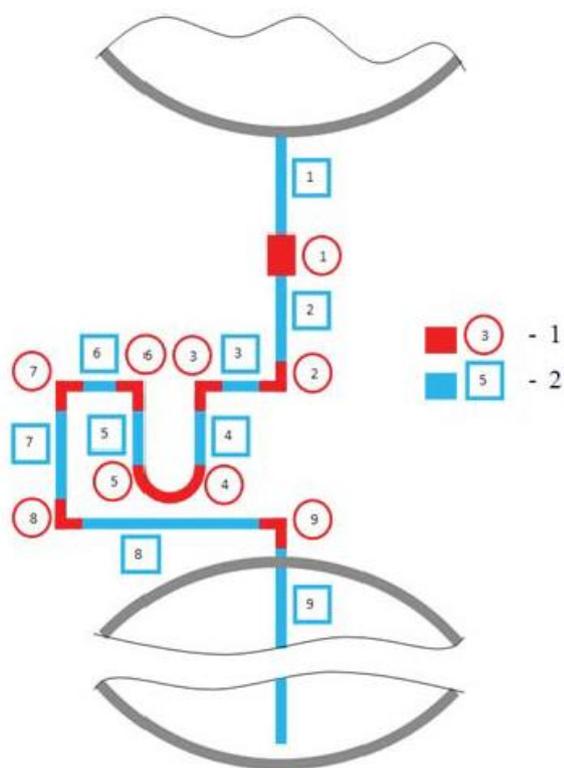
Расчетное значение коэффициента сопротивления системы по формуле 8 составило:

$$\xi_c = \frac{9,81}{2 \cdot 1,72^2} (\sqrt{7,15} + \sqrt{0})^2 - 1 = 10,8$$

По формуле 2 получим коэффициент расхода системы:

$$\mu_c = \frac{1}{\sqrt{1 + 10,8}} = 0,29$$

На рисунке 24 представлена расчетная схема полученных участков сливного трубопровода.



«1 – местное сопротивление и его порядковый номер; 2 – прямолинейный участок и его порядковый номер» [6]

Рисунок 24 – Расчетная схема трубопровода аварийной системы слива

По формуле 1 определяем время аварийного слива жидкости:

$$\tau_{\text{сл}} = \frac{5 \cdot 2,5 \sqrt{2,5 \cdot 0,56}}{2,6 \cdot 0,12^2 \cdot 0,29} = 1019 \text{ с}$$

где «L – длина резервуара, равная 5 м;

D – диаметр резервуара, равный 2,5 м» [5].

Результаты проведенных расчетов и компьютерного моделирования процессов, протекающих в системе трубопроводов для экстренной эвакуации топлива с автозаправочной станции при активации режима аварийного сброса,

со всей очевидностью продемонстрировали, что первоначально заложенные в проект конструктивные параметры данной системы, такие как диаметры и протяженность отдельных участков трубопроводов, не обеспечивают требуемой оперативности выполнения этой критически важной процедуры по выводу горючей жидкости из зоны возможного возгорания, поскольку расчетное время, необходимое для полного опорожнения резервуаров хранения топлива, значительно, на несколько минут, превышает допустимый предел в 890 секунд, установленный с учетом требований промышленной безопасности и ограниченной огнестойкости конструкций резервуаров, что явным образом свидетельствует о существовании острой необходимости безотлагательной корректировки проектных параметров системы трубопроводов.

Тогда примем диаметр трубопровода равным 0,13 м. Произведем те же расчеты. Коэффициент сопротивления:

$$\xi_c = \frac{9,81}{2 \cdot 1,73^2} (\sqrt{7,15} + \sqrt{0})^2 - 1 = 10,68$$

Коэффициент расхода системы:

$$\mu_c = \frac{1}{\sqrt{1 + 10,68}} = 0,29$$

Время аварийного слива жидкости:

$$\tau_{сл} = \frac{5 \cdot 2,5 \sqrt{2,5 \cdot 0,56}}{2,6 \cdot 0,13^2 \cdot 0,29} = 861 \text{ с}$$

Итак, после того как был принят диаметр трубопровода равным 0,13 м значение времени аварийного слива жидкости не превысило 890 с, а значит данная система обладает нужным эффектом.

Для того чтобы достичь кардинального, на несколько порядков, сокращения длительности процесса слива горючей жидкости из резервуаров хранения и обеспечить его успешное завершение в установленные жесткие временные рамки, необходимо предусмотреть существенное, в разы превышающее первоначальные показатели, увеличение диаметров трубопроводов на всех без исключения участках системы эвакуации, поскольку только масштабное, беспрецедентное для данного класса объектов наращивание пропускной способности всех магистралей позволит обеспечить требуемую, значительно превышающую текущие показатели, скорость перекачки топлива и гарантировать успешное завершение процедуры аварийного сброса в строгом соответствии с установленными нормативами.

Реализация на практике усовершенствованной системы аварийного сброса топлива с оптимизированными, обеспечивающими необходимую производительность, характеристиками трубопроводов позволит в кратчайшие сроки, задолго до достижения критических температур, при которых возможно разрушение конструкций, оперативно эвакуировать из резервуаров хранения АЗС весь объем горючей жидкости, при этом сохранив ее качество и пригодность для дальнейшего, после проведения необходимых процедур по отстою и фильтрации, повторного использования в качестве топлива, а своевременный полный вывод всей массы легковоспламеняющегося вещества из зоны возникновения возгорания предотвратит дальнейшее распространение пожара на соседние технологические установки и другое оборудование автозаправочной станции и не позволит ему перерасти в неуправляемую, создающую реальную угрозу жизни и здоровью персонала и населения, стадию.

Помимо оптимизации конструктивных параметров трубопроводов системы, предусмотрен ряд дополнительных инженерных решений, которые

также повысят уровень обеспечиваемой безопасности, так, установленные на всех дыхательных и сливных линиях высокоэффективные современные огнепреградительные устройства и гидравлические затворы, способные выдерживать значительные тепловые нагрузки, не позволят распространиться огню по самим трубопроводным коммуникациям системы, а обязательная, после завершения процесса опорожнения резервуаров, продувка всей системы инертным, не поддерживающим горение, газом обеспечит полное удаление из ее полостей остатков паров легковоспламеняющихся жидкостей, создав таким образом абсолютно безопасные условия для последующей организации и проведения всего комплекса необходимых ремонтных и восстановительных работ.

Размещение на территории АЗС аварийных резервуаров, предназначенных для временного приема эвакуированного топлива, в специализированном герметичном подземном бункере, оснащенный системами вентиляции и контроля загазованности, позволит не только повысить их общую эксплуатационную надежность и долговечность в сравнении с типовыми наземными установками, но и «обеспечить максимально возможный уровень общей экологической безопасности всей системы за счет полного исключения риска проникновения парогазовой фазы углеводородов в грунт и грунтовые воды» [5].

Таким образом, предлагаемый комплекс технических решений, включающий в себя оптимизацию конструктивных параметров всей системы трубопроводов для достижения требуемой производительности процесса эвакуации топлива, применение самых современных огнепреградительных устройств и использование инертизации для обеспечения взрывобезопасности, а также размещение аварийных резервуаров в специализированном защищенном подземном бункере, позволяющем исключить риск загрязнения окружающей среды, «обеспечит максимально возможный, соответствующий всем современным требованиям, уровень оперативности реагирования, надежности функционирования и общей

экологической безопасности системы экстренного сброса топлива, эксплуатируемой на автозаправочной станции» [5].

3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации

В данной работе предлагаем внедрить систему аварийного слива, которая бы обеспечила более эффективное время опорожнения резервуаров, если произойдет пожар.

Разработанный план финансового обеспечения представлен в таблице 1.

Таблица 1 – План финансового обеспечения мероприятия

Наименование мероприятия	Основание	Стоимость, руб.	Срок реализации	Ответственный
Внедрение системы аварийного слива	План мероприятий по улучшению условий труда на 2025-2026 гг.	615 000	4 кв. 2026 г.	Главный инженер

Смета расходов на мероприятие представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Смета расходов на мероприятие

Наименование рабочей зоны	Противопожарная муфта
Стоимость оборудования, руб.	395 000
Стоимость проектирования, руб.	130 000
Стоимость монтажных работ, руб.	90 000
Итого, руб.	615 000

Экономический эффект:

$$Э_r = Y - Z \quad (11)$$

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

Y – величина потерь организации при пожаре, руб.;

Z – затраты на реализацию мероприятия, руб.» [1].

$$\mathcal{E}_r = 7500000 - 615000 = 6885000 \text{ руб.}$$

Как можно видеть из представленного ранее расчета, полученный экономический годовой эффект является положительным, что говорит о его непосредственной эффективности.

Экономическая эффективность мероприятия:

$$\mathcal{E}_r = \frac{Y}{Z} \quad (12)$$

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

Y – величина потерь организации при пожаре, руб.;

Z – затраты на реализацию мероприятия, руб.» [1].

$$\mathcal{E}_r = \frac{7500000}{615000} = 12,2$$

Чистый экономический эффект:

$$\text{ЧЭЭ} = \sum \mathcal{E}_t - Z_t, \quad (13)$$

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

Z_t – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения» [1].

Чистый дисконтированный доход:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (\text{Э}_t - \text{З}_t + A_t) \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (14)$$

где « Э_t – результаты, достигнутые на t -ом шаге расчета;

З_t – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения» [1].

Срок окупаемости:

$$T_{\text{ок}} = T - \frac{\text{ЧДД}_T}{\text{ЧДД}_{T+1} - \text{ЧДД}_T}, \quad (15)$$

где «ЧДД – чистый дисконтированный доход» [1].

Индекс доходности:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T (\text{Э}_t + A_t)(1 + E)^{T-1}}{\sum_{t=0}^T K_r(1 + E)^{T-1}}, \quad (16)$$

где « Э_t – результаты, достигнутые на t -ом шаге расчета» [1].

Внедрение комплекса мероприятий по модернизации системы экстренной эвакуации топлива на автозаправочной станции имеет следующие результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Интегральные показатели эффективности мероприятия

Наименование показателей	Значение показателей по годам, руб.				
	1	2	3	4	5
Капитальные вложения	615000	0	0	0	0
Ежегодные затраты	-	55000	55000	55000	55000
Амортизация	-	11000	11000	11000	11000
Эффект	6885000	6885000	6885000	6885000	6885000
ЧЭЭ	6830000				
ЧДД с нарастающим итогом	681000				
Срок окупаемости	0,99				
Индекс доходности	1,3				

Итак, комплекс мероприятий по модернизации системы экстренной эвакуации топлива на автозаправочной станции при капитальных затратах в 615000 руб. и ежегодных затратах в размере 55000 руб. позволит получить чистый дисконтированный доход в размере 681000 при сроке примерно в один год.

Выводы по третьему разделу

В третьем разделе при оценке эффективности обеспечения пожарной безопасности резервуаров произведено внедрение современных средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре. Обеспечение надлежащего уровня защиты на современных высокотехнологичных автозаправочных станциях, которые имеют важное значение для непрерывной подачи топлива автотранспорту, считается одной из главных приоритетных задач. В рамках настоящего исследования был проведен анализ конструктивных особенностей и функциональных возможностей существующей на рассматриваемом объекте системы экстренного сброса с целью оптимизации ее параметров для обеспечения требуемого времени безопасной эвакуации содержимого резервуаров при возникновении пожара или другой чрезвычайной ситуации, представляющей угрозу возгорания, поскольку в таких условиях каждая минута промедления может привести к катастрофическим последствиям.

В ходе проведенного анализа были выявлены существенные недостатки действующей системы, ограничивающие ее эффективность и создающие дополнительные риски при эксплуатации, во-первых, существующая система рассчитана исключительно на единовременную эвакуацию содержимого из одного отдельно взятого резервуара, что делает ее полностью неэффективной в случае возникновения угрозы одновременного возгорания нескольких емкостей, хранящих горючие жидкости, поскольку для каждой из них потребуется проведение индивидуальной процедуры сброса, что значительно замедлит общий процесс эвакуации и может привести к непредсказуемым последствиям.

В рамках комплексной программы по повышению уровня промышленной безопасности и минимизации рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на территории автозаправочной станции, представляющей собой стратегически важный объект топливно-энергетического комплекса, обеспечивающий бесперебойное снабжение горюче-смазочными материалами автомобильного транспорта в регионе, было принято решение о необходимости проведения масштабной модернизации устаревшей системы экстренного сброса топлива из резервуаров хранения, в ходе которой были предложены несколько ключевых технических решений, направленных на радикальное повышение ее эффективности и оперативности реагирования.

Предлагаемый комплекс мероприятий по модернизации системы экстренной эвакуации топлива на автозаправочной станции, включающий в себя внедрение автоматизированных клапанов для обеспечения оперативности процесса сброса, создание герметичных подземных бункеров для размещения аварийных емкостей с целью предотвращения загрязнения окружающей среды, а также оптимизацию конструктивных параметров всей системы в соответствии с жесткими временными рамками, непосредственно диктуемыми требованиями промышленной безопасности, направлен на радикальное повышение ее надежности, оперативности и экологической безопасности, что в совокупности позволит существенно снизить риски возникновения масштабных последствий при реализации нештатных ситуаций, связанных с возгоранием резервуаров хранения горючих жидкостей на территории данного объекта. При расчете экономической эффективности было получен результат, заключающийся в том, что комплекс мероприятий по модернизации системы экстренной эвакуации топлива на автозаправочной станции при капитальных затратах в 615000 руб. и ежегодных затратах в размере 55000 руб. позволит получить чистый дисконтированный доход в размере 681000 при сроке примерно в один год.

Заключение

В первом разделе уточнено, что в последнее время вопросам по снижению пожароопасности в случаях локального аварийного разлива горючей жидкости уделяется в научных изысканиях большое внимание, но пока точно выработанных критериев по прекращению процесса горения ГЖ посредством гранулированного материала не имеется. Накоплен большой опыт, установлены требования в виде обширной нормативной базы, способные обеспечить сокращение пожарных ситуаций при аварийных локальных разливах ГЖ до минимума. Разработаны и предлагаются к внедрению новые инженерные решения для пассивного пожаротушения при аварийных локальных разливах ГЖ без применения огнетушащего вещества или средства.

Во втором разделе исследования изучены принципы построения автоматизированной системы управления и исполнительные механизмы средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре, и интеграция средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре с установками пожарной сигнализации и пожаротушения.

Объектом исследования был выбран резервуар типа РВС-2000, который представлен в модели в масштабе 1:30. Поскольку разрушение РВС многократно повышает риск возникновения пожара, то для его снижения необходима разработка новых технических решений, обеспечивающих надежную защиту резервуарным паркам от воздействия динамического напора потока нефти и нефтепродуктов при их разливах. Проведя теоретические исследования по статистике происшествий, стало понятно, что нормативная высота защитных стен резервуара зачастую строится выше высоты разлива, что говорит о ее нецелесообразности и затратности мероприятия. Поэтому необходимо рассчитать оптимальную высоту данной

стены с дополнением ее волноотражающим козырьком. Опыты проводились для случая плоской симметрии при постоянной высоте жидкости в резервуаре.

При проведении исследований волна отражалась от стенок и далее ее движение происходило вместе с основной волной прорыва в сторону обвалования приводило к увеличению энергии набегающего потока жидкости на преграду, и как следствие, к увеличению высоты подъема жидкости.

Поэтому далее было проанализирована вероятность применение аварийных резервуаров, которые будут предназначены для сбора проливов или приема аварийных сбросов нефтепродуктов.

В третьем разделе при оценке эффективности обеспечения пожарной безопасности резервуаров произведено внедрение современных средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре. Обеспечение надлежащего уровня защиты на современных высокотехнологичных автозаправочных станциях, которые имеют важное значение для непрерывной подачи топлива автотранспорту, считается одной из главных приоритетных задач.

В ходе проведенного анализа были выявлены существенные недостатки действующей системы, ограничивающие ее эффективность и создающие дополнительные риски при эксплуатации, во-первых, существующая система рассчитана исключительно на одновременную эвакуацию содержимого из одного отдельно взятого резервуара, что делает ее полностью неэффективной в случае возникновения угрозы одновременного возгорания нескольких емкостей, хранящих горючие жидкости, поскольку для каждой из них потребуется проведение индивидуальной процедуры сброса, что значительно замедлит общий процесс эвакуации и может привести к непредсказуемым последствиям.

В рамках комплексной программы по повышению уровня промышленной безопасности и минимизации рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на территории автозаправочной станции, представляющей собой стратегически важный объект топливно-

энергетического комплекса, обеспечивающий бесперебойное снабжение горюче-смазочными материалами автомобильного транспорта в регионе, было принято решение о необходимости проведения масштабной модернизации устаревшей системы экстренного сброса топлива из резервуаров хранения, в ходе которой были предложены несколько ключевых технических решений, направленных на радикальное повышение ее эффективности и оперативности реагирования.

Предлагаемый комплекс мероприятий по модернизации системы экстренной эвакуации топлива на автозаправочной станции, включающий в себя внедрение автоматизированных клапанов для обеспечения оперативности процесса сброса, создание герметичных подземных бункеров для размещения аварийных емкостей с целью предотвращения загрязнения окружающей среды, а также оптимизацию конструктивных параметров всей системы в соответствии с жесткими временными рамками, непосредственно диктуемыми требованиями промышленной безопасности, направлен на радикальное повышение ее надежности, оперативности и экологической безопасности, что в совокупности позволит существенно снизить риски возникновения масштабных последствий при реализации нештатных ситуаций, связанных с возгоранием резервуаров хранения горючих жидкостей на территории данного объекта.

При расчете экономической эффективности было получен результат, заключающийся в том, что комплекс мероприятий по модернизации системы экстренной эвакуации топлива на автозаправочной станции при капитальных затратах в 615000 руб. и ежегодных затратах в размере 55000 руб. позволит получить чистый дисконтированный доход в размере 681000 при сроке примерно в один год.

Список используемых источников

1. Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации [Электронный ресурс]. URL: <https://edu.rosdistant.ru/mod/assign/view.php?id=132795> (дата обращения: 11.01.2024).
2. Бадагуев Б.Т. Пожарная охрана на предприятии: положения, законы, директивы, журналы, постановления. М. : АльфаПресс, 2019. 488 с.
3. Березин В. Л. Вопросы эксплуатационной надежности резервуаров. М. : ЦНИИТЭнефтехим, 2021. 67 с.
4. Былинкин В. А. Анализ возможности применения автоматического пожаротушения // Пожарная безопасность. 2022. №1. С. 89-97.
5. Верзилин М. М. Пожарная тактика. М. : Спецтехника, 2018. 442 с.
6. Волков О.М. Пожарная безопасность на предприятиях транспорта и хранение нефти и нефтепродуктов. М. : Недра, 1981. 256 с.
7. Грученкова А. А. Анализ причин разрушения цилиндрических стальных резервуаров для хранения нефти // Транспорт и хранение углеводородного сырья. 2019. №1. С. 177-180.
8. Доррер Г. А., Яровой С. В. Описание процессов распространения и ликвидации пожаров с помощью моделей // Сибирский журнал. 2019. №5. С. 105-113.
9. Елагин Г. И., Куценко М. А. Тушение пожаров при разливе горючих жидкостей // Химические технологии. 2022. №8. С. 15-25.
10. Ибрагимов Б. Т. Вспучивающиеся составы для огнезащиты // Проблемы современной науки и образования. 2021. №5. С. 29-36.
11. Ивахнюк Г. К., Осмонов Ю. Ю. Статистический анализ аварий на автозаправочных комплексах (станциях) // Пожарная безопасность. 2022. №6. С. 91-98.
12. Исаева Л. К. Экология пожаров, техногенных и природных катастроф. М. : Академия ГПС МВД России, 2021. 301 с.

13. Кандаков Г. П. Проблемы отечественного резервуаростроения и возможные пути их решения // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 5. С. 24-26.
14. Киреев И.Р. Безопасное хранение нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках // Уфимский государственный нефтяной технический университет. 2022. №4. С. 19-25.
15. Колодкин В. М. Ранжирование территорий по уровню пожарной защищенности зданий. Ижевск : Изд-во «Удмуртский университет». 2021. 159 с.
16. Копылов С.Н., Кушук В.А., Полтавец Д.В. Пожарная безопасность // Технологии гражданской безопасности. 2019. № 1. С. 88–93.
17. Коршак А. А. Диагностика объектов нефтеперекачивающих станций. Уфа : ДизайнПолиграф-Сервис, 2018. 176 с.
18. Кулик Б.В. Обеспечение пожарной безопасности цеха подготовки и перекачки нефти // NovaInfo, 2019. № 110. С. 30-33.
19. Лебедева М. С., Бабилов И. А. Оценка экономической эффективности пожаротушения // Высшая школа техносферной безопасности. 2020. №1. С. 90-96.
20. Мешалкин Е. А. Эффективные противопожарные требования // Жилищное строительство. 2019. № 11. С. 13-17.
21. Микеев А. К. Пожар. Социальные, экономические, экологические проблемы. М.: Пожнаука, 2018. 386 с.
22. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 16 сентября 2020 г. № 1479 (ред. 30.03.2023). URL: <https://base.garant.ru/74680206/> (дата обращения: 11.04.2024).
23. Опарин И. Д. Роль комплексной оценки ущерба от пожаров при определении конкурентоспособности территории // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2018. № 3. С. 58-62.

24. Пасютина О.В. Охрана труда и пожарная охрана : учебник. Минск: РИПО, 2018. 108 с.
25. Пахомова И. А. Классификация ущерба от пожаров в системе оценки потерь национальной экономики // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2020. № 5. С. 174-179.
26. Рогожкин М.В. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации (с приложениями). СПб. : Питер, 2021. 210 с.
27. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 12.3.047-2012 от 01.01.2014. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения: 11.04.2024).
28. Смирнов С.Н. Противопожарная защита. М. : ДиС, 2020. 144 с.
29. Соломин В.П. Пожарная безопасность : учебник для студентов технических вузов. М. : Академия ИЦ, 2019. 224 с.
30. Станции автомобильные заправочные [Электронный ресурс] : СП 156.13130.2014 от 01.07.2014. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110842> (дата обращения: 14.04.2024).
31. Склады нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс] : СП 155.13130.2014 от 01.01.2014. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108948> (дата обращения: 12.06.2023).
32. Терещнев В.В. Пожарная тактика. Екатеринбург : Калан, 2017. 172 с.
33. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 22.07.2008 №123 (ред. от 25.12.2023). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 10.04.2024).
34. Устройство пожаротушения подавлением конвекции для горящих жидкостей. Потякин В.И., Коротких В.Ф., Добриков В.В. // Патент России №2442625 С2, 2012. Бюл. №5.

35. Ширяев Е.В., Назаров В.П. Влияние гранулированной подложки на процесс горения нефтепродукта при его аварийном проливе // Технологии техносферной безопасности. 2017. №3. С. 21-29.
36. Akers R. What to do with oil spills // Fire protection. 2020. №2. P. 12-17.
37. Aspirating Smoke Detection // System Sensor. 2019. №4. P. 24–30.
38. Bovio G. Design, Installation, Commissioning and Maintenance of Aspirating Smoke Detector // Fire Industry Association. №6. 2021. P. 12–24.
39. Huang Y.; Wang E.; Bie Y. Simulation investigation on the smoke spread process in the large-space building with various height // Case Stud. Therm. 2020. №18. P. 7–15.
40. International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals. International chamber of shipping oil companies international marine forum international association of ports and harbors (ISGOTT, Fifth Edition): Published and Printed by WITHERBY & CO. LTD. London EC1R 0ET, 2017. 418 P.
41. Patent EP A2 2730716 Nov.13, 2013. T. W. Mackintosh Modular fire prevention flooring / Patent EP2730716 A2, 2014.
42. Spill Prevention, Control and Countermeasure Act. Uniform Fire Code (UFC) 79.406. URL: <http://cotradeco.com>.