



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
СОКРАЩЕНИЯ .....	10
1 Анализ законодательных нормативных требований, предъявляемых к используемым технологическим процедурам хранения, транспортировки, заправки (слива-налива) ЛВЖ .....	12
1.1 Пожарная опасность технологического процесса хранения, заправки (слива-налива) УВТ на АЗС .....	12
1.2 Анализ состояния стандартов и норм по защите от СЭ .....	13
1.3 Выбор направления исследования .....	15
1.4 Анализ причин возникновения пожаров и взрывов в емкостных объемных резервуарах с УВТ .....	16
2 Информационно аналитический обзор проблем и технических решений по обеспечению пожаробезопасных технологических процедур хранения, транспортировки, заправки (слива-налива) ЛВЖ .....	23
2.1 Пожарная опасность физических процессов генерирования СЭ .....	23
2.2 Критерий пожарной опасности технологической операции заправки (слива-налива) наэлектризованной жидкости в емкостной объемный резервуар .....	24
2.2.1 Автомобильные цистерны .....	25
2.2.2 Используемые конструктивные решения, снижающие опасность искрообразования в емкостном объемном резервуаре .....	26
2.2.3 Насадки на вводную трубу .....	27
2.2.4 Контроль плотности заряда СЭ жидкости .....	30
2.3 Пожаровзрывоопасность АЗС в городе .....	31
2.3.1 Поражающие факторы чрезвычайных ситуаций на АЗС по предлагаемым сценариям .....	34
2.4 Анализ требований и путей решения проблемы исключения СЭ в составе взрывопожаробезопасных АЗС .....	40

3 Предлагаемые к реализации организационно-технические решения по повышению пожаробезопасных технологических процедур хранения, транспортировки, заправки (слива-налива) ЛВЖ.....	49
3.1 Используемые типы и модификации современных устройств заземления АЦ.....	49
3.2 Анализ разработок и путей их улучшения по теме магистерской диссертации.....	53
3.3 Предлагаемое соединительное устройство для обеспечения надежного и эффективного отвода зарядов СЭ.....	56
3.4 Принцип работы предлагаемого устройства.....	58
3.5 Дополнительные организационно-технические мероприятия обеспечения взрывопожаробезопасности АЗС.....	61
3.5.1 Применение антистатических присадок.....	63
3.5.1.1 Механизм действия и классификация антистатических присадок.....	67
3.5.1.2 Промышленные антистатические присадки.....	70
3.5.2 Нейтрализаторы СЭ.....	71
3.5.3 Поддержание концентрации горючих сред вне пределов воспламенения (взрываемости).....	72
3.5.4 Уменьшение количества окислителя.....	73
3.5.5 Применение разрядников.....	73
3.5.6 Нанесение электропроводных покрытий на диэлектрическое оборудование.....	74
3.5.7 Отвод зарядов СЭ с персонала, обслуживающего технологический процесс.....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	82

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы диссертации

Возрастающее с каждым годом число автомобилей в городах России требует и увеличения количества автозаправочных станций (АЗС), что зачастую оказывается проблематичным. Дело в том, что в соответствии с Федеральным законом №123–ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» пожаровзрывоопасные объекты должны размещаться не ближе 50 м от объектов городской застройки.

Одной из причин возникновения пожаров на АЗС являются разряды статического электричества (СЭ), возникающие при заправке (сливе-наливе) углеводородных топлив (УВТ) в емкостные объемные резервуары. По данным средств массовой информации за период с 2000 по 2015 гг. непосредственно от разрядов СЭ на объектах нефтегазовой отрасли РФ (НГО) произошло 148 пожаров, 83 (56 %) из которых – в емкостных объемных резервуарах с нефтепродуктами (НП), из них 60 пожаров (72,3 %) – на резервуарах, входящих в технологическую систему АЗС.

Технологические процессы заправки (слива-налива) УВТ сопровождаются образованием и накоплением зарядов СЭ в токопроводящих металлических структурах, соприкасающихся с перемещаемыми жидкостями. При этом, указанным выше Федеральным законом №123–ФЗ, установлено нормативное требование по исключению образования в горючей среде источников зажигания, к которым относятся и разряды СЭ. К наиболее опасным с этой точки зрения можно отнести технологические процессы заправки (слива-налива) НП и/или других пожаровзрывоопасных углеводородных веществ в емкостные объемные резервуары (из емкостных объемных резервуаров), реализуемых на химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятиях, нефтебазах, складах горюче-смазочных материалов (ГСМ), АЗС и комплексах (АЗК), автогазозаправочных станциях (АГЗС), автоматических автозаправочных станциях (ААЗС), топливозаправочных эстакадах (ТЗЭ).

Воспламеняющая способность образующихся разрядов СЭ часто становится наиболее опасным потенциальным источником и причиной возгорания, что приводит к нарушениям технологического процесса, повреждению оборудования и, как следствие, техногенным катастрофам, сопровождающихся пожарами, взрывами и травмами обслуживающего персонала и населения.

Известные примеры возгораний, связанные с накоплением зарядов СЭ, свидетельствуют о том, что защита от СЭ на производствах, связанных с применением легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) и сжиженных горючих газов (СГГ), является одной из наиболее возможных и приоритетных задач в области обеспечения взрывопожаробезопасности такого типа эксплуатируемых технических объектов.

Таким образом, разработка усовершенствованных организационно-технических приемов предотвращения возникновения разрядов СЭ при заправке (сливе-наливе) УВТ из емкостных объемных резервуаров является актуальной и направлена на повышение пожарной безопасности эксплуатируемых АЗС.

#### Цель и задачи

Целью работы является разработка усовершенствованных организационно-технических мероприятий (ОТМ) по обеспечению снижения уровня возникновения рисков возгорания при технологических операциях заправки (слива-налива) ЛВЖ в емкостные объемные резервуары, включающих, в том числе, использование прогрессивных инновационных инжиниринговых технических решений, обеспечивающих пожаробезопасные технические устройства и технологические процедуры слива-налива УВТ на АЗС, как на наиболее распространенных эксплуатируемых технических объектах данного типа на территории РФ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- на основе обработки информационных массивов статистических данных произвести анализ пожарной опасности, связанной с проявлением разрядов СЭ в технологических процессах транспортировки, заправки (слива-налива) емкостных объемных резервуаров ЛВЖ, представленными различного типа УВТ;
- провести информационно-аналитический обзор известных технических решений (способов, технических устройств, веществ) обеспечения пожаробезопасности при проведении технологических процедур заправки (слива-налива) УВТ в емкостные объемные резервуары на АЗС;
- разработать усовершенствованные эффективные ОТМ, направленные на повышение пожарной безопасности технологических процессов заправки (слива-налива) УВТ в емкостные объемные резервуары, типа топливных резервуаров АЗС;

#### Объект исследования

Объектами исследования являются технические устройства, вещества и технологические процессы заправки (слива-налива) УВТ в емкостные объемные резервуары на АЗС.

#### Теоретическая и методологическая база исследования

Теоретической и методологической базами для диссертационного исследования послужили действующие актуальные нормативно-правовые документы, опубликованные научные труды в периодических изданиях, технические описания патентных разработок, содержащиеся в электронном доступе и представленные по адресу <http://www.freepatent.ru/> относящиеся к способам, веществам и техническим устройствам (оснастке), применяемым для безопасной транспортировки, заправки (сливу-наливу) УВТ в емкостные объемные резервуары.

## Научная новизна исследования

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- выявлены и систематизированы ОТМ, реализация которых обеспечивает более эффективное решение задачи повышения пожарной безопасности транспортировки, хранения и заправки (слива-налива) горючих и взрывоопасных веществ, типа УВТ, в емкостных объемных резервуарах, на примере технических объектов, в виде функционирующих АЗС (АЗК, АГЗС, ААЗС, ТЗЭ), при использовании усовершенствованных прогрессивных инновационных технических решений, реализуемых в технологических процессах заправки (слива-налива) УВТ в емкостные объемные резервуары;
- предложена альтернативная замена используемого базового технического устройства заземления автоцистерны (УЗА) на более надежное и безопасное соединительное заземляющее устройство отвода зарядов СЭ.

## Теоретическая и практическая значимость работы

Разработаны дополнительные усовершенствованные ОТМ, позволяющие повысить пожарную безопасность эксплуатации технических объектов, представленных в виде емкостных объемных резервуаров, наполненных горючими и взрывоопасными веществами, типа УВТ, и тем самым обеспечить безопасность рабочего персонала, окружающей среды, сохранить значительные материальные ресурсы;

Наработанные ОТМ рекомендуются к внедрению на АЗС (АЗК, АГЗС, ААЗС, ТЗЭ), расположенных на территории РФ.

Информационными источниками диссертационного исследования послужили известные (опубликованные) отечественные и зарубежные литературные, правовые и нормативные источники, описания крупных пожаров, первопричиной которых являлись разряды СЭ, а также материалы опубликованных научно-исследовательских работ по тематике обеспечения защиты емкостных объемных резервуаров СЭ резервуаров для хранения НП от возникновения разрядов СЭ.

## Положения, выносимые на защиту

- Результаты анализа информационных массивов статистических данных о причинах и источниках пожаров и взрывов, произошедших на АЗС, вызванных физическими явлениями СЭ.
- Результаты информационно-аналитического обзора известных технических решений (способов, веществ, устройств) обеспечения пожаробезопасности при проведении технологических процедур заправки (слива-налива) УВТ в емкостные объемные резервуары на АЗС.
- Разработанные усовершенствованные эффективные ОТМ, направленные на повышение пожарной безопасности технологических процессов заправки (слива-налива) УВТ в заправочные емкостные объемные резервуары АЗС.
- Предложенная альтернативная замена используемого типичного базового УЗА на прогрессивную инновационную инжиниринговую разработку, характеризующуюся более надежным и безопасным функционированием соединительного устройства для отвода зарядов СЭ при осуществлении технологических процессов заправки (слива-налива) УВТ.

## Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов диссертационного исследования основывается на соответствии предложенных усовершенствованных мероприятий по противопожарной защите АЗС (АЗК, АГЗС, ААЗС, ТЗЭ) действующим нормативным требованиям отечественных стандартов.

Апробация результатов диссертационного исследования производилась при обсуждении выдвигаемых предложений данной работы на научных конференциях и семинарах кафедры «Управление промышленной и экологической безопасностью» Тольяттинского государственного университета в 2016 и 2017 годах.

## Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано 2 научные работы:

- Евсева, М.В. Анализ требований и путей решения проблем исключения статического электричества в составе взрывопожаробезопасных автозаправочных станций и топливозаправочных эстакад [Текст] / М.В. Евсева, М.И. Фесина // Теория и практика современной науки. – 2017. – № 4(22). – С. 33-46. ISSN 2412-9682;
- Евсева, М.В. Пожаровзрывоопасность автозаправочных станций в городе [Текст] / М.В. Евсева, М.И. Фесина // Теория и практика современной науки. – 2017. – № 4(22). – С. 53-61. ISSN 2412-9682

## СОКРАЩЕНИЯ

В данной магистерской работе использованы следующие сокращения:

ААЗС – автоматическая автозаправочная станция

АГЗС – автогазозаправочная станция

АЗК – автозаправочный комплекс

АЗС – автозаправочная станция

АЦ – автоцистерна

БЭМЗ – безопасный экспериментальный максимальный зазор

ВКПВ – верхний концентрационный предел взрываемости

ВОЗ – взрывоопасная зона

ВС – взрывоопасная смесь

ВУВ – воздушная ударная волна

ГСМ – горюче-смазочный материал

ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость

НГО – нефтегазовая отрасль

НКПВ – нижний концентрационный предел взрываемости

НКПР – нижний концентрационный предел распространения

НП – нефтепродукт

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

ОПО – опасный производственный объект

ОТМ – организационно-технические мероприятия

ОФП – опасные факторы пожара

ПТВС – паротопливоздушная смесь

СГГ – сжиженный горючий газ

СЭ – статическое электричество

ТВО – топливоздушное облако

ТВС – топливоздушная смесь

ТЗЭ – топливозаправочная эстакада

ТРК – топливораздаточная колонка

ТС – транспортное средство

УВТ – углеводородное топливо

УЗА – устройство заземления автоцистерн

УЗДМ – устройство заземления диэлектрических материалов

ФОИВ – Федеральные органы исполнительной власти

ЧС – чрезвычайная ситуация

ЭСИБ — электростатическая искробезопасность

## 1 Анализ законодательных нормативных требований, предъявляемых к используемым технологическим процедурам хранения, транспортировки, заправки (слива-налива) ЛВЖ

Безопасную эксплуатацию АЗС обеспечивают технические и организационные мероприятия, регламентируемые в России нормативно-правовой документацией в области пожарной [3-5] и промышленной безопасности [6-9].

Указанные документы в частности устанавливают требования, предъявляемые к:

- размещению АЗС на территории населенных пунктов [3];
- размещению АЗС по отношению к соседним объектам [3];
- размещению зданий и сооружений на территории АЗС [3];
- конструктивному исполнению производственных и бытовых зданий АЗС [3];
- к технологическому оборудованию АЗС жидкого УВТ [3].

### 1.1 Пожарная опасность технологического процесса хранения, заправки (слива-налива) УВТ на АЗС

Пожаровзрывоопасность АЗС связана с объемами обращающихся УВТ, а также особенностями технологического процесса [10]. Наиболее опасными являются АЗС и ТЗЭ, расположенные в черте города или другого населенного пунктов, поскольку возможное возникновение аварии на такого типа объектах представляют повышенную опасность для жителей и окружающих объектов.

Пожаровзрывобезопасность технологических процессов, реализуемых на АЗС и ТЗЭ должна удовлетворять требованиям федеральных законов [11-14], государственных стандартов [15-20], а также действующим межотраслевым и отраслевым нормам и правилам [13] и руководящим документам [21-23].

В процессе эксплуатации АЗС и ТЗЭ существенная часть аварий и инцидентов являются следствием образования взрывоопасных смесей – как

результат нарушения технологического процесса (разгерметизации оборудования) [24].

Необходимо отметить, что горение бензино-воздушной смеси в закрытых емкостных объемных резервуарах является взрывным горением. В момент взрыва бензино-воздушных смесей образующееся избыточное давление в емкостном объемном резервуаре достигает 1,0 МПа (10 атм) [24]. Такого типа взрыв приводит к повреждениям и разрушению емкостных объемных резервуаров. В связи с чем пожар распространяется быстрее, его пагубные последствия резко увеличиваются.

## 1.2 Анализ состояния стандартов и норм по защите от СЭ

Для увеличения уровня безопасности АЗС на практике предусматривают мероприятия, нацеленные на снижение образования топливовоздушной смеси (ТВС) и негативных последствий в результате возникновения аварии.

В качестве основных требований, направленных на снижение и предотвращение образования разрядов СЭ путем отвода зарядов на землю предусматриваются [25]:

- «Автоцистерны, а также танки наливных судов, находящиеся под наливом и сливом сжиженных горючих газов и пожароопасных жидкостей, в течение всего времени заполнения и опорожнения должны быть присоединены к заземляющему устройству. Контактные устройства для подсоединения заземляющих проводников от автоцистерн и наливных судов должны быть установлены вне взрывоопасной зоны» [25];

- «Гибкие заземляющие проводники сечением не менее  $6 \text{ мм}^2$  должны быть постоянно присоединены к металлическим корпусам автоцистерн и танков наливных судов и иметь на конце струбцину или наконечник под болт М10 для присоединения к заземляющему устройству. При отсутствии постоянно присоединенных проводников заземление автоцистерны и наливных судов должно производиться инвентарными проводниками в следующем порядке:

заземляющий проводник вначале присоединяется к корпусу цистерны (или танка), а затем к заземляющему устройству» [25];

- «Открывание люков автоцистерн и танков наливных судов и погружение в них шлангов должно производиться только после присоединения заземляющих проводников к заземляющему устройству» [25];

- «Резиновые (либо другие из неэлектропроводных материалов) шланги с металлическими наконечниками, используемые для налива жидкостей в железнодорожные цистерны, автоцистерны, наливные суда и другие передвижные сосуды и аппараты, должны быть обвиты медной проволокой диаметром не менее 2 мм (или медным тросиком сечением не менее 4 мм<sup>2</sup>) с шагом витка не более 100 мм. Один конец проволоки (или тросика) соединяется пайкой (или под болт) с металлическими заземленными частями продуктопровода, а другой - с наконечником шланга» [25].

Также, обязательными требованиями, направленными на снижение и предотвращение образования ТВС, а также обеспечение (контроль) концентрации ТВС в пределах взрывоопасной на территории АЗС, предусматриваются [3, 4, 26]:

- автоматическое отключение топливораздаточной колонки (ТРК) при переполнении топливного бака транспортного средства (ТС) УВТ;
- предотвращение выхода УВТ из заправочного рукава (шланга) при его механическом повреждении в результате наезда ТС;
- ежегодное периодическое обучение и проверка знаний работников АЗС по безопасному проведению технологических операций.

Ключевые требования для снижения неблагоприятных исходов возникновения пожара или взрыва на АЗС предусматривают [29-33, 3]:

- соблюдение противопожарных разрывов между технологическим оборудованием АЗС и объектами защиты;
- оснащение участка заправки (слива-налива) и хранения УВТ АЗС системой водяного орошения;

- временная остановка проведения технологических операций заправки ТС и запрет на прибытие водителей и пассажиров на территории АЗС при сливе УВТ из автоцистерны (АЦ) в емкостной объемный резервуар АЗС;
- использование для хранения УВТ только подземных емкостных объемных резервуаров.

Основным требованием при строительстве АЗС является устройство ограждающих экранов на островках безопасности. Такого типа экраны на практике устанавливаются также в местах заправки (слива-налива) УВТ из АЦ в емкостные объемные резервуары хранения АЗС [33]. Данные ограждающие экраны снижают избыточное давление ВУВ примерно в 2 раза [36].

АЗС относятся к категории опасных производственных объектов (ОПО) и регламентируются требованиями действующих нормативно-правовых документов в области промышленной безопасности [27, 37].

### 1.3 Выбор направления исследований

Обзор известных инцидентов на различных объектах продемонстрировал, что устранение пожаров повышенного класса сложности на АЗС, в силу специфики такого типа объектов, возможно только на основе предупредительных мероприятий, то есть повышения уровня пожаровзрывобезопасности технологических процессов в целом.

Разработка комплекса ОТМ, позволяющего наиболее эффективно обеспечить пожарную безопасность рассматриваемых объектов вероятно только при комплексном подходе к изучению и оценке пожароопасности, методов ее уменьшения с учетом всех связанных с пожаром основных процессов, начиная со стадии нормальной эксплуатации до конечных результатов развившегося или подавляемого пожара.

Целью работы является разработка усовершенствованных ОТМ по обеспечению снижения уровня возникновения рисков возгорания при технологических операциях заправки (слива-налива) ЛВЖ в емкостные

объемные резервуары, включающих, в том числе, использование прогрессивных инновационных инжиниринговых технических решений, обеспечивающих пожаробезопасные технические устройства и технологические процедуры слива-налива топлива на АЗС, как на наиболее распространенных эксплуатируемых технических объектах данного типа на территории РФ.

В работе предполагается решить следующие основные задачи:

- на основе обработки информационных массивов статистических данных произвести анализ пожарной опасности, связанной с проявлением разрядов СЭ в технологических процессах транспортировки, заправки (слива-налива) емкостных объемных резервуаров ЛВЖ, представленными различного типа УВТ;
- провести информационно-аналитический обзор известных технических решений (способов, технических устройств, веществ) обеспечения пожаробезопасности при проведении технологических процедур заправки (слива-налива) УВТ в емкостные объемные резервуары на АЗС;
- разработать усовершенствованные эффективные ОТМ, направленные на повышение пожарной безопасности технологических процессов заправки (слива-налива) УВТ в емкостные объемные резервуары, типа топливных резервуаров АЗС.

#### 1.4 Анализ причин возникновения пожаров и взрывов в емкостных объемных резервуарах с УВТ

Проанализировав мировую статистику аварий можно прийти к выводу, что случаи взрывов и возгораний чаще всего происходят при выполнении следующих операций [24, 38]:

- налив УВТ в АЦ;
- налив УВТ в железно-дорожные цистерны;

- слив УВТ из АЦ в емкости АЗС;
- слив УВТ из железно-дорожных цистерн.

Чрезвычайные ситуации, произошедшие при проведении операций по транспортировке, хранению и заправке (сливу-наливу) УВТ обозначают то, что перечисленные технологические процессы недостаточно исследованы, а также не полностью узаконены в части законодательной поддержки обеспечения пожарной безопасности [24].

За временной промежуток с 2000 по 2015 гг. на объектах НГО зафиксировано 3319 случаев возгораний (таблица 1.1), 798 случаев (24 %) из которых установлено в емкостных объемных резервуарах на складах хранения нефти и НП.

По результатам анализа статистических массивов установлено, что общее число погибших на перечисленных объектах составило 68 человек, еще 268 человек получили травмы различной степени тяжести. Прямой материальный ущерб от зафиксированных случаев пожаров и возгораний составил более 271 млн. рублей.

С учетом того, что значительная часть АЗС расположена в черте городских образований и других населенных пунктов, возникающие в емкостных объемных резервуарах, заполненных нефтепродуктами, на объектах НГО, вызванных физическими процессами генерирования разрядов СЭ аварии на АЗС представляют весьма серьезную опасность для людей и окружающих объектов, а также связаны со значительными материальными потерями.

Таблица 1.1 – Данные о пожарах, произошедших на объектах НГО за 2000-2015 гг

Год	Кол-во пожаров, ед.	Погибло всего людей, чел.	Травмировано всего людей, чел.	в т.ч. травмировано работников ПО, чел.	Прямой мат.ущерб, млн. руб.
2000	377	23	78	5	10,436
2001	300	14	70	11	18,364
2002	291	21	75	2	8,67
2003	282	23	76	0	28,355
2004	238	16	59	1	1010
2005	247	20	67	7	10,264
2006	214	14	50	5	23,284
2007	215	25	61	4	45,991
2008	168	18	38	1	251,45
2009	172	15	58	5	281,33
2010	170	5	25	1	132,22
2011	157	11	75	5	120,88
2012	149	6	40	4	574,89
2013	122	2	45	9	237,89
2014	127	1	27	0	1136,4
2015	99	5	32	0	377,11
Всего	3319	219	876	60	4267,6

Непосредственно от разрядов СЭ на объектах НГО за 2000-2015 гг. произошло 148 пожаров (таблица 1.2), 83 (56 %) из которых в емкостных объемных резервуарах с НП, в том числе 60 пожаров (45,8 %) на емкостных объемных резервуарах, входящих в технологическую систему АЗС. Распределение, количества пожаров в емкостных объемных резервуарах с НП, по годам представлено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Данные о пожарах на объектах НГО, произошедших от разряда СЭ за 2000-2015 гг.

Год	Количество пожаров от разрядов СЭ на объектах НГО, ед.	Количество пожаров от разрядов СЭ на складах нефти и НП, ед.	Количество пожаров от разрядов СЭ в емкостных объемных резервуарах на АЗС, ед.
2000	20	13	12
2001	12	8	4
2002	8	3	2
2003	20	10	5
2004	12	7	5
2005	12	6	4
2006	10	5	4
2007	8	5	4
2008	9	8	5
2009	2	2	2
2010	7	4	3
2011	5	1	1
2012	6	2	2
2013	7	5	4
2014	4	2	2
2015	6	2	1
Всего	148	83	60

Статистические данные (рисунок 1), показывают, что непосредственно от разрядов СЭ на объектах НГО за рассматриваемый период произошло 148 пожаров, 83 (56 %) из которых – в емкостных объемных резервуарах с НП, в том числе 60 пожаров (72,3 %) – на емкостных объемных резервуарах, входящих в технологическую систему АЗС.

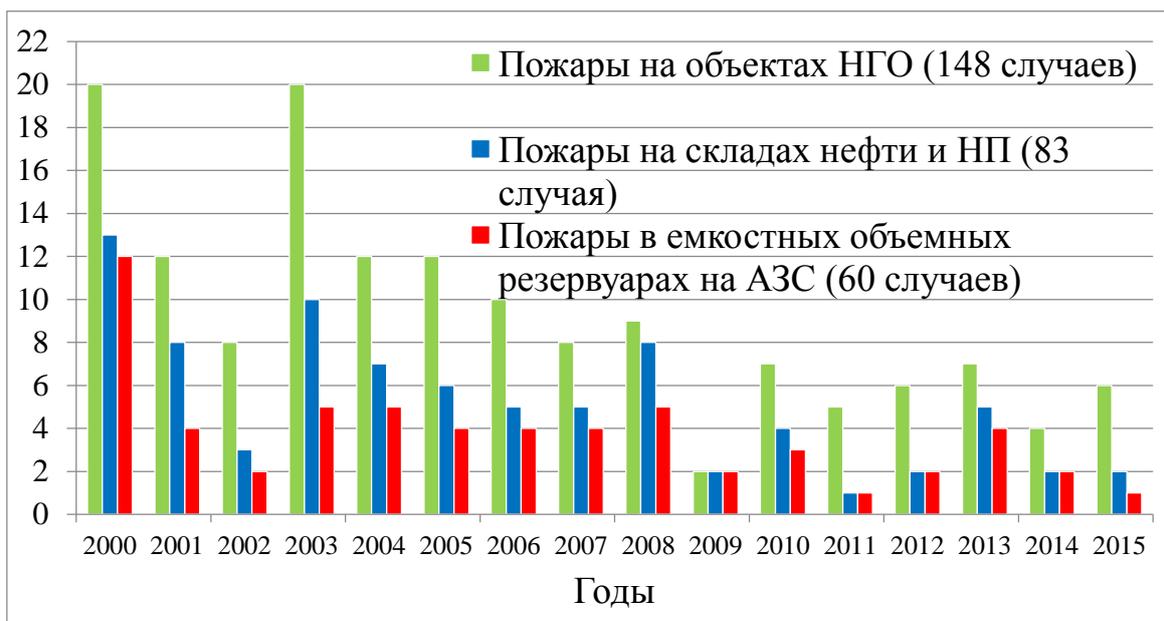


Рисунок 1 – Гистограмма распределения по годам количества пожаров, возникших в емкостных объемных резервуарах, заполненных нефтепродуктами, на объектах НГО, вызванных физическими процессами генерирования разрядов СЭ

Отметим, что большинство АЗС располагаются в черте городов и других населенных пунктов. Соответственно, возможные аварии и инциденты на АЗС представляют значительную угрозу для жителей и окружающих АЗС объектов городской застройки.

Вероятность образования возгорания в следствие проявления разрядов СЭ – явление вероятностное, так как обуславливается потребностью одновременного проявления трех случайных обстоятельств:

- разряд СЭ формируется в среде горючих газов или паров УВТ;
- концентрация горючих газов или паров УВТ в воздухе располагается в границах, при которых вероятно их зажигание с самораспространением огня;
- возможно появление разрядов СЭ с энергией, одинаковой либо большей, чем минимальная энергия зажигания этой горючей среды.

Результаты рассмотренной ситуации с пожарами на складах ЛВЖ, УВТ в емкостных объемных резервуарах (нефтебазы, нефтехранилища, АЗС) в 2000-2015 гг. показаны в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Обстановка с пожарами на складах ЛВЖ, УВТ в емкостных объемных резервуарах (нефтебазы, нефтехранилища, АЗС) в 2000-2015 гг.

Год	Кол-во пожаров, ед.	Погибло всего людей, чел.	в т.ч. погибло работников ПО, чел	Травмировано всего людей, чел.	в т.ч. травмировано работников ПО, чел.	Прямой мат.ущерб, млн. руб.
2000	92	3	1	21	2	4,758
2001	73	7	0	25	2	3,246
2002	68	8	0	14	0	0,823
2003	71	12	0	26	0	1,469
2004	50	1	0	19	0	1,441
2005	59	8	0	15	1	2,313
2006	32	7	0	17	4	0,897
2007	32	5	0	9	0	1,348
2008	40	1	0	14	0	2,202
2009	54	9	3	29	5	147,375
2010	55	0	0	7	0	17,67
2011	45	6	0	25	3	6,403
2012	33	0	0	15	3	8,763
2013	27	1	0	22	8	72,778
2014	19	0	0	6	0	0,677
2015	21	0	0	4	0	0,077
Всего	798	68	4	268	28	271,24

Статистические данные (рисунок 2), показывают, что непосредственно на складах ЛВЖ, УВТ в емкостных объемных резервуарах (нефтебазы, нефтехранилища, АЗС) за рассматриваемый период произошло 798 пожаров, 68

(8,5 %) из которых – со смертельным исходом, 268 (33,6%) с травмированием различной тяжести.

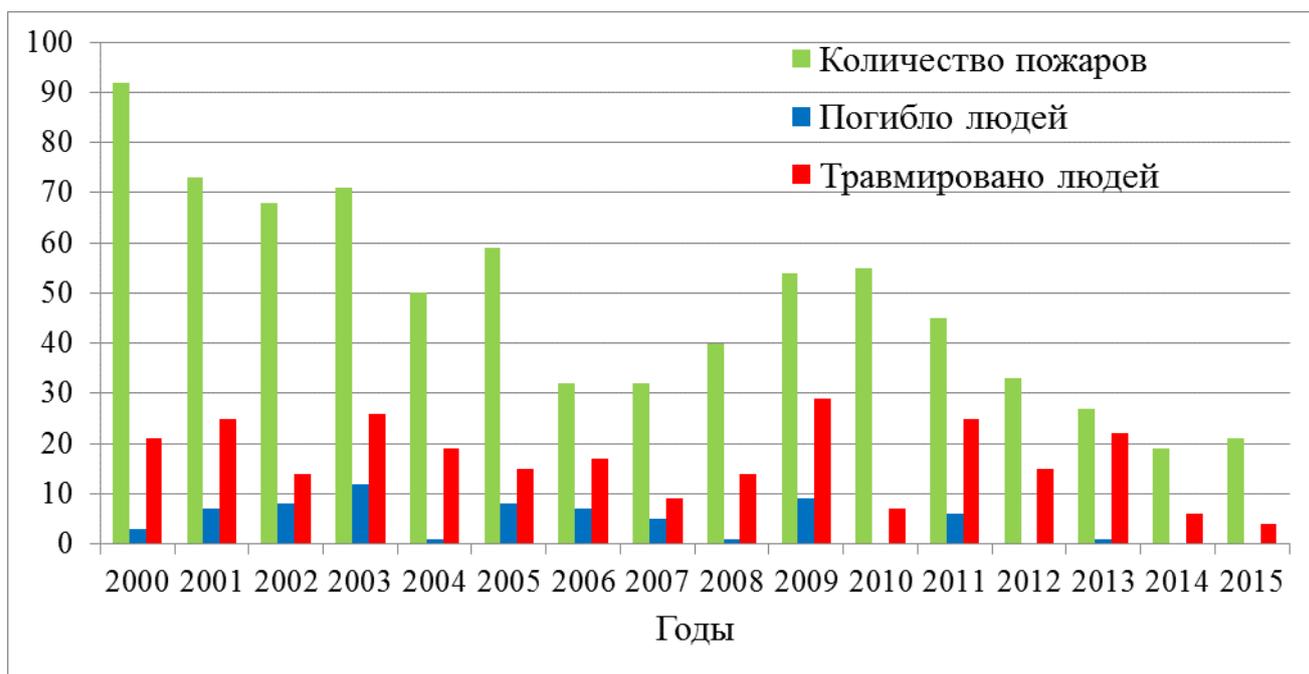


Рисунок 2 – Распределение количества пожаров по годам на складах ЛВЖ, УВТ в емкостных объемных резервуарах (нефтебазы, нефтехранилища, АЗС) в 2000-2015 гг

Пожары от разрядов СЭ уносят в среднем жизнь одного человека ежегодно. Среднее число лиц, получивших травмы – 8,86 человек в год, прямой материальный ущерб составляет почти 4 млн. рублей в год.

В результате проведенного анализа ситуации пожарной опасности проявления СЭ на объектах НГО установлено, что разряды СЭ являются причинами возникновения пожаров и взрывов в емкостных объемных резервуарах с НП. Это означает, что по-прежнему существует необходимость продолжения исследований процессов электризации с целью повышения уровня их электростатической искробезопасности (ЭСИБ).

## 2 Информационно аналитический обзор проблем и технических решений по обеспечению пожаробезопасных технологических процедур хранения, транспортировки, заправки (слива-налива) ЛВЖ

### 2.1 Пожарная опасность физических процессов генерирования СЭ

В основу проектирования защиты от СЭ при проведении технологических операций, связанных с заправкой (сливом-наливом) и транспортировкой УВТ, положено ограничение степени электризации жидкостей до уровня, при котором частично или полностью исключается вероятность возникновения опасного искрообразования, способного воспламенить ВС УВТ.

Основными средствами защиты от СЭ операций с УВТ являются:

- заземление всего технологического оборудования;
- проведение заправки (слива-налива) емкостных объемных резервуаров с производительностями, при которых электризация жидкостей не достигает уровня, достаточного для возникновения опасного искрообразования;
- применение специальных нейтрализаторов зарядов СЭ в жидкости для снижения входной плотности заряда при поступлении в емкостной объемный резервуар;
- применение конструктивных решений, снижающих параметры электрических полей в емкостных объемных резервуарах.

С технологического оборудования, выполненного из проводящих материалов, например из металла, электрические заряды стекают мгновенно. НП, как уже говорилось ранее, являются хорошими диэлектриками, поэтому из объема наэлектризованных УВТ заряды СЭ мгновенно стечь не могут. Скорость их релаксации в объеме жидкости определяется постоянной времени релаксации  $\tau$ . Таким образом, в заполняемом наэлектризованным УВТ емкостном объемном резервуаре в течение всего времени закачки жидкости и в течение времени, приблизительно равным  $3\tau$ , после её окончания существует электрическое поле зарядов СЭ независимо от того, заземлен этот резервуар или нет. Именно в этот промежуток времени может существовать реальная

опасность воспламенения паровоздушной смеси УВГ в емкостном объемном резервуаре разрядами СЭ.

Забор УВГ для пробы из емкостного объемного резервуара, непосредственно сразу после его заполнения, являет собой повышенную опасность. Однако через время, примерно равное  $3\tau$ , после окончания заправки (налива) заземленного емкостного объемного резервуара, заряды СЭ в нем практически полностью релаксируют, электрическое поле исчезает и проведение каких-либо действий по забору жидкости становится менее опасным.

Опасность образования разрядов СЭ внутри емкостного объемного резервуара в процессе его заправки (налива) можно избежать правильным определением искробезопасной производительности подачи УВГ, при которой плотность зарядов СЭ на входе меньше, чем это необходимо для возникновения искрообразования. Однако на практике довольно затруднительно выбрать такую оптимальную скорость заправки (налива) УВГ, при которой обеспечивалась бы и безопасность процесса заправки (налива), и его высокая производительность. Это связано, в первую очередь, с тем, что образующееся в емкостном объемном резервуаре электрическое поле связано с производительностью закачки жидкости весьма сложными зависимостями.

## 2.2 Критерий пожарной опасности технологической операции заправки (слива-налива) наэлектризованной жидкости в емкостной объемный резервуар

Вопросу определения критерия опасности СЭ уделялось достаточное внимание [46, 47, 48, 49].

Технологическую процедуру процесса заправки (слива-налива) емкостных объемных резервуаров НП рассмотрим на примере налива УВГ в АЦ. Это одни из наиболее массовых крупнотоннажных операций по заполнению емкостных объемных резервуаров НП.

Основу определения безопасности заполнения такого типа емкостных объемных резервуаров составляет нахождение такой производительности

загрузки, при которой накопившийся в объеме жидкости заряд СЭ создает в емкостном объемном резервуаре электрическое поле, напряженность которого ещё недостаточна для возникновения опасного искрообразования.

### 2.2.1 Автомобильные цистерны

По условиям возможности опасного искрообразования в процессе загрузки АЦ следует различать три стадии.

Начальную стадию, в течение которой заполнение АЦ производится открытой струей жидкости, длящуюся с момента начала налива УВТ до установившегося режима, в котором налив осуществляется уже под слой жидкости. Развитие электрических разрядов в этой стадии возможно с поверхности струи жидкости на срез наливной трубы или на выступающие элементы конструкции АЦ.

Основную стадию, следующую за начальной и характеризующуюся подъемом уровня жидкости в АЦ вплоть до её полного заполнения.

В основной стадии возможно возникновение искрообразования со всех элементов конструкции АЦ, имеющих малый радиус кривизны, т.е. в местах с повышенной напряженностью электрического поля.

Завершающую стадию, длящуюся с момента завершения налива УВТ в АЦ до начала извлечения наливной трубы из АЦ. Разряды СЭ в этой стадии могут возникать в случаях преждевременного извлечения наливной трубы или погружения в АЦ каких-либо предметов, например измерительного щупа, отборника проб и т.п.

В начальной стадии заполнения АЦ разряды СЭ с поверхности струи УВТ будут отсутствовать, если напряженность электрического поля (ее радиальная и тангенциальная составляющие) будет недостаточна для выполнения условий самостоятельности разряда.

В завершающей стадии после прекращения подачи УВТ в АЦ заряды СЭ релаксируют до безопасного уровня за время, равное примерно  $3\tau$ . Следовательно, чтобы исключить возможность искрообразования при

извлечении из АЦ наливной трубы, необходимо после окончания налива выждать время. Для УВТ, выпускаемых с заводов и имеющих низкий уровень электропроводности, время выдержки, обеспечивающее безопасность дальнейших операций, должно быть не менее 2 мин.

### 2.2.2 Используемые конструктивные решения, снижающие опасность искрообразования в емкостном объемном резервуаре

Возможность искрообразования в емкостном объемном резервуаре определяется напряженностью электрического поля в нем, создаваемого зарядами СЭ жидкости, заполняющей емкостной объемный резервуар. Чем больше суммарный заряд жидкости, тем выше напряженность электрического поля, и тем больше степень опасности возникновения разрядов СЭ. Следовательно, для уменьшения вероятности появления электрических разрядов необходимо уменьшить суммарный заряд жидкости, создающий поле. Сделать это можно разделением емкостного объемного резервуара на отдельные секции металлическими перегородками с отверстиями для перетока жидкости.

Одним из технических (конструктивных) решений, направленных на снижение опасности искрообразования является секционирование емкостных объемных резервуаров. Для уменьшения опасности СЭ при заполнении емкостных объемных резервуаров наэлектризованными УВТ, резервуар может быть секционирован так, как это показано, например, на рисунке 3. При заполнении емкостного объемного резервуара УВТ практически все секции заполняются одновременно, так как жидкость перетекает через имеющиеся в перегородках отверстия. Следовательно, емкостной объемный резервуар заполняется как единое целое, но электрическое поле в нём при наличии секционирования значительно слабее, чем при отсутствии перегородок.

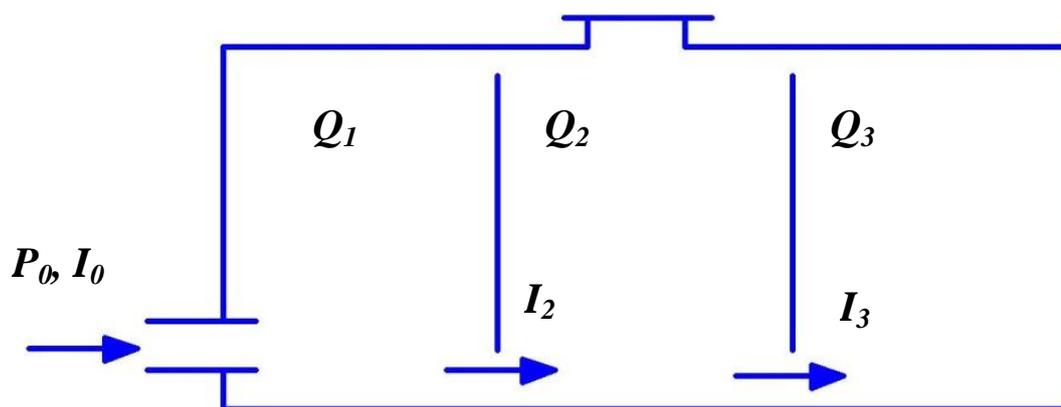
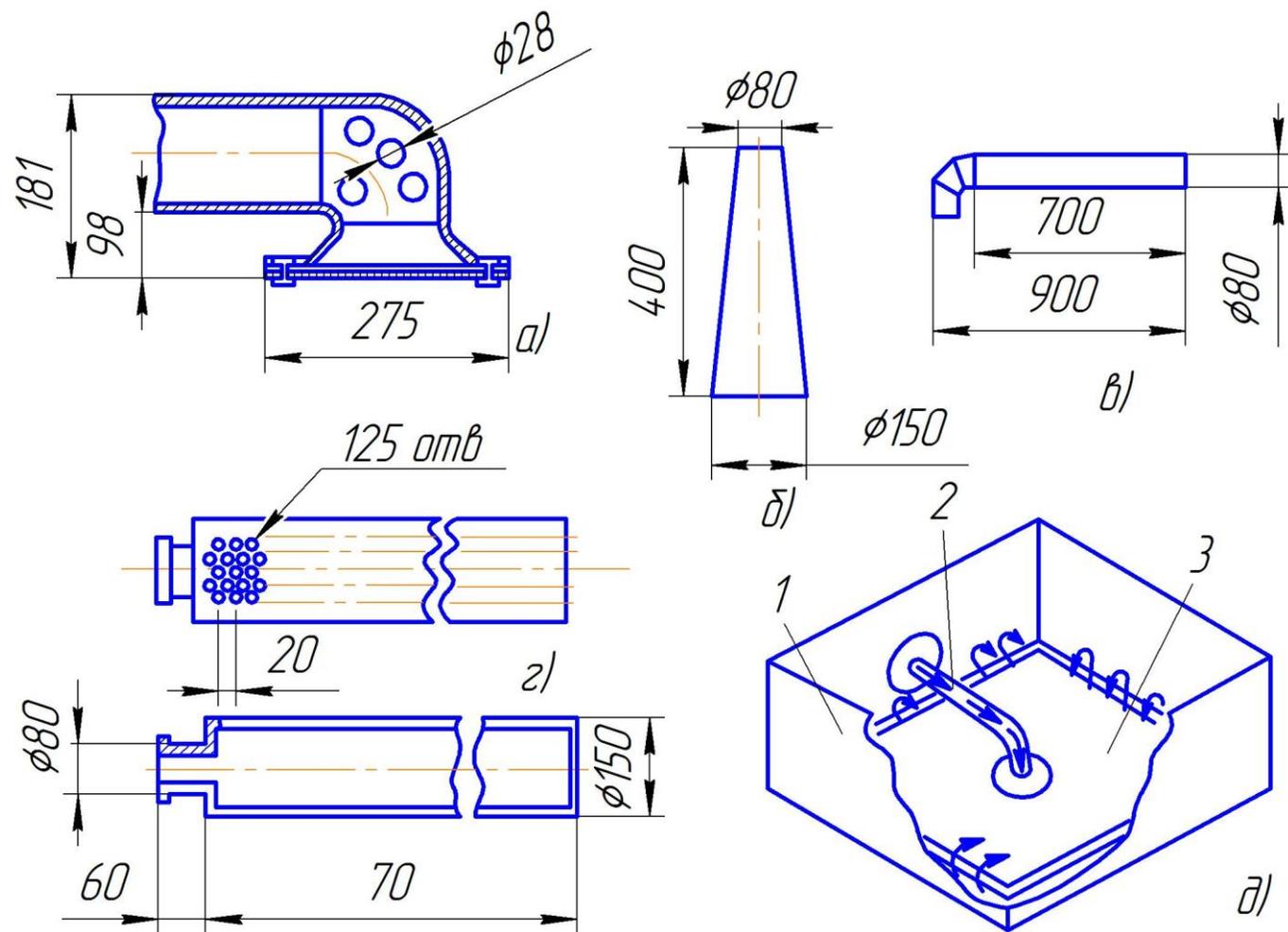


Рисунок 3 – Схема секционирования емкостного объемного резервуара на три сообщающихся полостных объема

На практике секционирование широко применяется для разделения на отдельные секции АЦ, а также самолетных баков.

### 2.2.3 Насадки на вводную трубу

Стремление снизить опасность искрообразования при заполнении емкостных объемных резервуаров УВТ, особенно в момент заполнения, подтолкнуло на поиск более совершенных вводных устройств. Одновременно преследовалась задача обеспечения снижения параметров электрического поля в заполняемом емкостном объемном резервуаре путем обеспечения минимально возможного зазора между истекающего из наливной трубы потока УВТ и дном емкостного объемного резервуара [50, 51]. Рассмотрим различного типа конструкции вводных насадок на наливную трубу, в том числе диффузор (рисунок 4а), конус раструбом вниз (рисунок 4б), срезанная труба (рисунок 4в), входное устройство типа «пикколо» (рисунок 4г) и «двойное дно» (рисунок 4д).



а – диффузор; б – конус; в – срезанная труба; г – пикколо; д – двойное дно; 1 – бак; 2 – вводная труба; 3 – пластина двойного дна.

Рисунок 4 – Конструкция вводных устройств

Эффективность перечисленных выше конструкций, в частности экспериментально были исследованы В.В. Малышевым и В.Г. Петуховым. Вводные устройства поочередно монтировались в прямоугольном баке размером 2х2х1,2 м, при этом входные отверстия отстояли от днища бака на расстоянии 0,02-0,03 м. В бак закачивали наэлектризованный в фильтре керосин. Как показали результаты исследования, входные устройства типа «диффузор», «срезанная труба» и «конус» по своей эффективности в части снижения потенциала электрического поля, создаваемого закачиваемой жидкостью, ведут себя примерно одинаково. Какие-либо дальнейшие поиски по совершенствованию конструкций этих вводных устройств в целях снижения параметров электрического поля оказались бесполезными (малоэффективными).

При использовании вводного устройства типа «пикколо» потенциал СЭ, возникающего в баке электрического поля, оказался в 1,5 раза меньше, чем в случае заполнения бака через диффузор. Происходит это потому, что на выходе из устройства типа «пикколо» наливаемое УВТ разбивается на множество тонких струек, благодаря чему снижается плотность распределения заряда СЭ жидкости на единицу объема емкостного объемного резервуара. А это в свою очередь сопровождается снижением параметров электрического поля в баке.

Особенно эффективно в целях обеспечения искробезопасности применение вводного устройства двойное дно. При исследовании насадки на вводную трубу в виде пластины размером 1,4х1,4 м зарегистрированные потенциалы электрического поля были в 1,5-3,0 раза меньше, чем при заполнении бака через диффузор. Объяснение этому весьма простое: при заполнении бака через устройство «двойное дно» жидкость некоторое время движется тонким слоем по узкой щели большой площади, довольно интенсивно при этом релаксируя. В результате на выходе из вводного устройства жидкость поступает в бак, уже потеряв значительную часть своего заряда. Ток

релаксации, протекающий на пластину двойного дна примерно в 5 раз больше, чем ток, стекающий на диффузор.

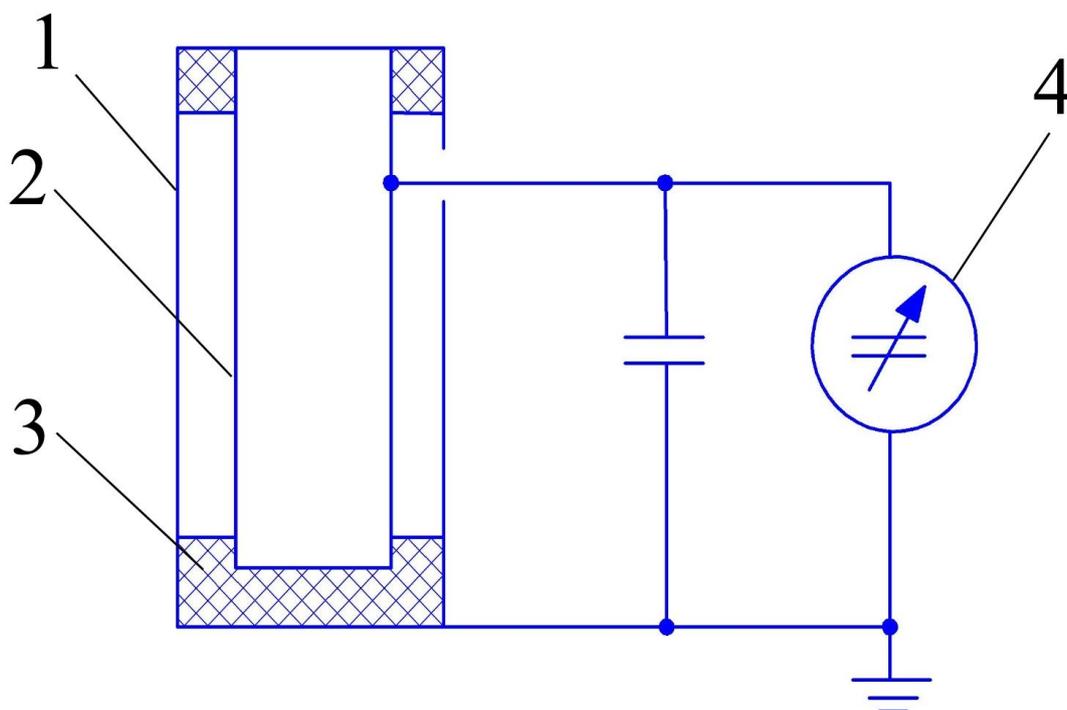
Таким образом, из всех рассмотренных вводных устройств, двойное дно является наиболее эффективным в части снижения параметров электрического поля зарядов СЭ. Однако громоздкость двойного дна, сложность эксплуатации емкостного объемного резервуара с таким вводным устройством в части его очистки, большой расход металла на изготовление и другие причины препятствуют широкому внедрению этого вводного устройства в практику.

#### 2.2.4 Контроль плотности заряда СЭ топливной жидкости.

Вопрос контроля уровня наэлектризованности НП является наиболее слабым местом во всей системе обеспечения безопасности от разрядов СЭ.

Для контроля электрического поля в объеме заполняемого емкостного объемного резервуара обычно используют известные динамические электрометры типа вращающейся крыльчатки во взрывоопасном исполнении. Датчик прибора размещают обычно на крыше емкостного объемного резервуара заподлицо с его потолочной частью, с тем, чтобы не вносить искажений в картину поля.

Более простым и доступным способом определения плотности заряда жидкости в эксплуатационных условиях является определение заряда отобранной из трубопровода пробы жидкости с помощью системы, известной в физике как «клетка Фарадея». Применительно к измерениям заряда жидкости эта система представляет собой два концентрических цилиндрических сосуда 1 и 2 (рисунок 5), изолированных друг от друга. Наружный сосуд заземлен, внутренний сосуд соединен с измерителем напряжения 4. О заряде залитой во внутренний сосуд пробы жидкости судят по напряжению на емкости внутреннего сосуда с подключенной к ней параллельно дополнительной емкостью, расширяющей пределы измерений.



1 и 2 – внешний и внутренний сосуды; 3 – изоляция; 4 – электрометр

Рисунок 5 – Устройство для измерения заряда пробы жидкости

Способ обладает повышенной степенью чувствительности, что в значительной мере снижает точность его показаний при измерении малых зарядов СЭ. Высокая погрешность в данном случае обуславливается дополнительной электризацией отбираемой в датчик жидкости на пути через вентиль отбора и направляющую трубку во внутренний сосуд датчика. В качестве прибора для измерения напряжения может быть использовано любое техническое устройство с высоким входным сопротивлением. Часто для этих целей пытаются использовать статический вольтметр. Однако для проведения измерений в эксплуатационных условиях на открытом воздухе использование статического вольтметра очень неудобно.

### 2.3 Пожаровзрывоопасность АЗС в городе

Проследим за развитием характерной чрезвычайной ситуации (ЧС) на АЗС на примере инцидента в Южной Корее, произошедшего летом 2010 г. [45]. При сливе УВТ из АЦ в подземный емкостной объемный резервуар из-за

неисправности шланга топливо разлилось по площадке АЗС, вследствие чего возник пожар пролива с образованием высокого (более 100 м) столба дыма и сажи, дрейфующего по ветру. Пожар охватил АЦ. В результате нагрева УВТ давление в АЦ возросло, и она разрушилась. Топливо было выброшено в атмосферу, образовался мощный огневой шар.

В результате ЧС частично были разрушены окружающие АЗС здания. В зданиях, находящихся на значительном расстоянии от нее (100...300 м), были выбиты стекла окон, сгорели припаркованные у зданий автомобили.

Анализ ЧС на АЗС позволил разработать следующие сценарии развития ЧС:

1) Первый сценарий

В результате неисправности оборудования (обрыв шланга при перекачке УВТ, трещина в шланге, неисправность насоса и др.), несоблюдения техники безопасности и других причин, УВТ попадает на поверхность площадки АЗС. Такое развитие ЧС возможно также при террористическом акте (пулевые отверстия в АЦ, ее подрыв).

При появлении источника зажигания (искра, горящая сигарета и др.) происходит воспламенение паров УВТ (пожар пролива) на поверхности пролива без взрыва, так как времени для образования необходимого для взрыва (т. е. находящегося между нижним (НКПВ) и верхним (ВКПВ) концентрационными пределами взрываемости) количества топливовоздушной смеси (ТВС) оказывается недостаточно.

Из-за неполного сгорания УВТ образуется высокий столб дыма и сажи, который легче воздуха и может дрейфовать по ветру. Высота такого столба может достигать нескольких сотен метров. Дым и сажа могут попасть внутрь помещений через вскрытые оконные проемы и вентиляционные отверстия.

Поражающим фактором является тепловое воздействие на людей и окружающую среду. Зона поражения зависит от количества разлившегося УВТ, размеров очага пожара и действий пожарных расчетов.

## 2) Второй сценарий

Начало ЧС протекает по первому сценарию. Однако очаг пожара не удается быстро ликвидировать, и огонь охватывает АЦ. При ее разрушении УВТ под давлением попадает наружу (в атмосферу), распадаясь на мелкие капли, которые, испаряясь, образуют взрывоопасную ТВС. Смесь воспламеняется с образованием огневого шара с высокой температурой (до 1200 °С). При этом сценарии основным поражающим фактором является тепловое воздействие на окружающую среду. Зона поражения зависит от количества выброшенного в атмосферу УВТ (емкости АЦ заправщика), которое определяет радиус огневого шара и расстояния от его границы до рассматриваемого объекта.

## 3) Третий сценарий

Начало развития ЧС происходит по первому сценарию: в результате аварии УВТ из АЦ попадает на площадку АЗС. Однако оно не загорается, как это было в первом сценарии, а начинает испаряться, образуя паротопливоздушную смесь (ПТВС). Формируется стелющееся облако этой смеси, так как её плотность больше плотности атмосферного воздуха. Когда ТВС достигнет концентрации, находящейся между НКПВ и ВКПВ, возможен взрыв облака. Побудителем взрыва может послужить локальный пожар или случайный источник огня. В подавляющем большинстве случаев происходит дефлаграционный взрыв с образованием огненного шара и волны сжатия.

Основными поражающими факторами в этом сценарии развития ЧС являются: тепловое воздействие огненного шара, избыточное давление взрыва и скоростной напор волны сжатия. Взаимодействие последней с ограждающей конструкцией здания может быть в виде отражения, обтекания и затекания.

При затекании волны сжатия внутрь помещения в результате образовавшихся проемов вследствие разрушения оконного остекления, выбитых дверей и т. п. возможна гибель людей, разрушение оборудования, перегородок мебели и т. д. Причиной этого является высокое давление в волне

сжатия и особенно скоростной напор при затекании её в проемы относительно небольшой площади.

В результате террористического акта развитие ЧС может происходить по одному из описанных выше сценариев техногенного характера. Однако возможен и самый неблагоприятный случай развития ЧС, который приводит к детонационному взрыву ТВС.

#### 4) Четвертый сценарий

Если в облаке ТВС, концентрация которого находится между НКПВ и ВКПВ, будет осуществлен взрыв заряда тротила (массой порядка 200 г), пластита или другого взрывчатого вещества (ВВ), то возможен детонационный взрыв топливовоздушного облака (ТВО) [46].

Детонационный взрыв характеризуется сверхзвуковой скоростью распространения пламени, созданием высокого избыточного давления (до 2000 кПа) за очень короткое время, практически мгновенно.

Поражающими факторами при детонационном взрыве газопаровоздушной смеси (ГПВС), в том числе ТВС, являются давление воздушной ударной волны и ее скоростной напор.

Следует отметить, что вероятность развития ЧС по четвертому сценарию крайне мала. Для того чтобы такая цепочка развития ЧС была реализована, террорист должен быть хорошо подготовлен, должен знать физические процессы взрыва ГПВС.

Однако подход к развитию ЧС следует рассматривать с консервативной точки зрения, поэтому не учитывать возможность последствий террористического акта, приводящего к детонационному взрыву топлива на площадке АЗС, не следует.

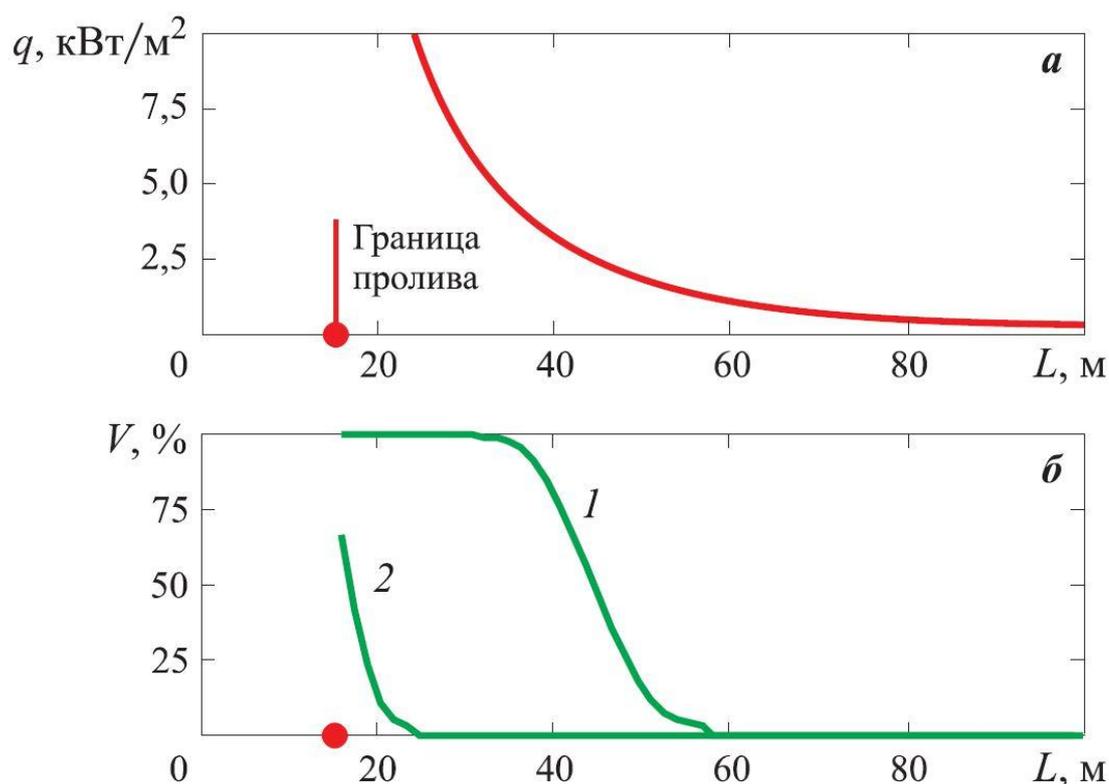
### 2.3.1 Поражающие факторы чрезвычайных ситуаций на АЗС по предлагаемым сценариям

Оценим поражающие факторы ЧС на АЗС по предлагаемым сценариям.

### 1) Первый сценарий

По расчетам при максимальном проливе УВТ массой 30 т (максимальная масса топлива в АЦ) приведенный диаметр пролива составит 30 м, высота пламени 34 м, время горения – 12 мин [47].

На рисунке 6 представлены графики снижения интенсивности теплового излучения и вероятности поражения человека в зависимости от расстояния от него до границы пролива [47, 48].



1 – человек неподвижен; 2 – человек удаляется со скоростью 0,5 м/с

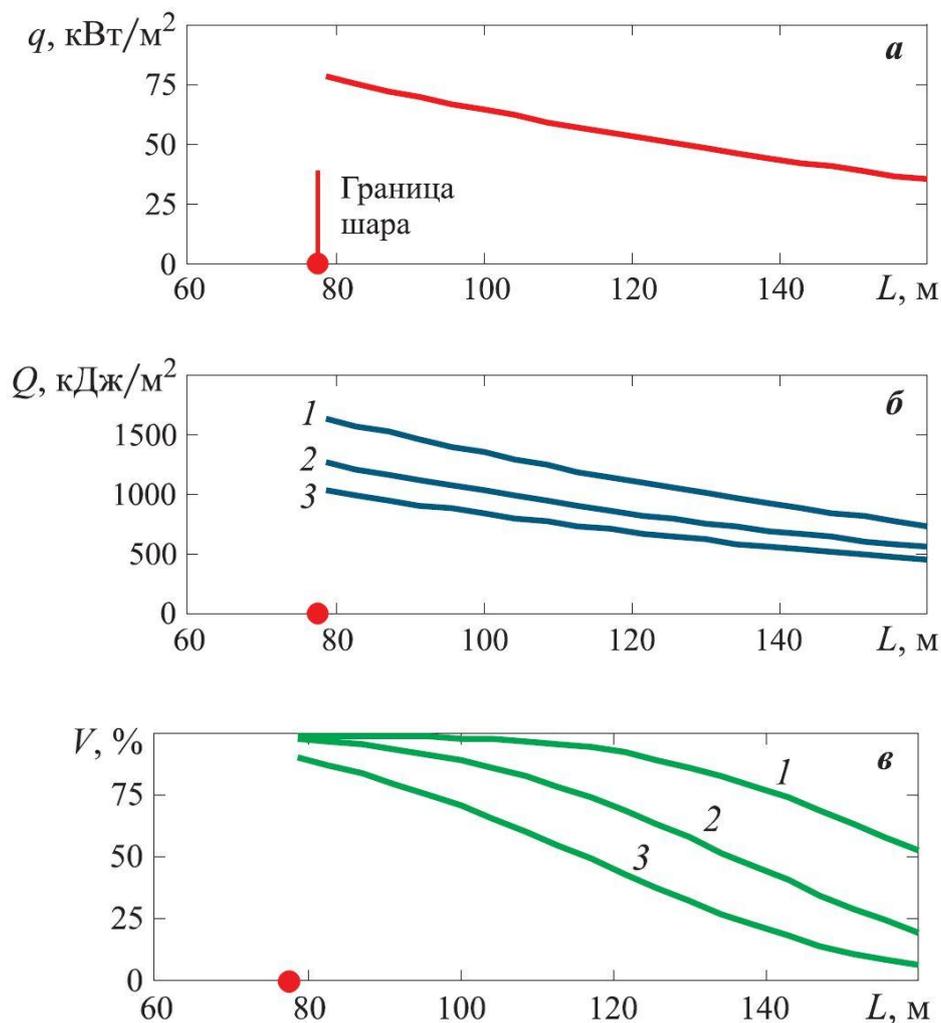
Рисунок 6 – Интенсивность теплового излучения  $q$  (а) и вероятность теплового поражения человека  $V$  (б) на различном расстоянии  $L$  от границы пролива

### 2) Второй сценарий

При консервативном подходе к ЧС и массе выброшенного в атмосферу УВТ 30 т эффективный диаметр огневого шара составит 155 м, время его существования - 21 с [47].

Из рисунка 7 видно, что в радиусе 77,5 м (радиус огневого шара) следует ожидать 100 %-ной гибели людей. На расстоянии 100 м от центра огневого шара вероятность летального исхода людей составит 80...90 % [49]. На

расстоянии менее 200 м в зданиях произойдет разрушение окон, что приведет также к разрушению остекления и, как следствие, к пожару в зданиях.



1 – человек неподвижен; 2 – человек удаляется со скоростью 2,5 м/с; 3 – человек удаляется со скоростью 5 м/с

Рисунок 7 – Интенсивность теплового излучения  $q$  (а), доза теплового потока  $Q$  (б) и вероятность теплового поражения человека  $V$  (в) при воздействии на него излучения от огневого шара

### 3) Третий сценарий

Рассмотрим воздействие волны сжатия дефлаграционного взрыва ТВС на некоторое здание длиной 80 м, высотой 83 м, находящееся на расстоянии 75 м от источника взрыва (рисунок 8). Расчетное значение видимой скорости пламени равно 118 м/с. В отраженной волне сжатия на фасаде здания избыточное давление (нагрузка) составит 5,4 кПа (540 кгс/м<sup>2</sup>) [49]. По длине

здания и по его высоте давление практически одно и то же, т.е. около 5,4 кПа, импульс взрывного давления не превышает 700 Па·с.

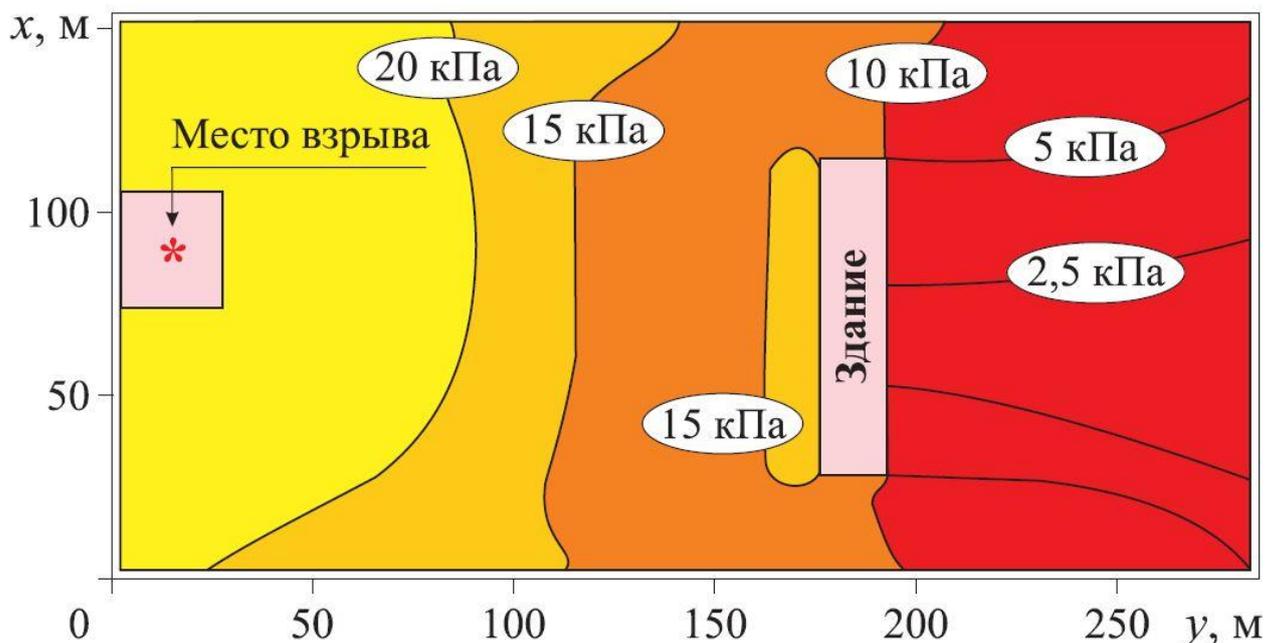


Рисунок 8 – Изолинии уровней максимального взрывного давления при дефлаграции (план)

При избыточном давлении более 3 кПа и менее 6 кПа здание получает разрушения слабой степени. При этом, в основном, разрушаются заполнения оконных проемов, а также навесной фасад, если он имеется [47, 50].

#### 4) Четвертый сценарий

При детонационном взрыве ТВС давление в проходящей воздушной ударной волне (ВУВ) на расстоянии порядка 100 м (т. е. там, где начинается стилобатная часть здания) достигает примерно 15 кПа [46] (рисунок 9). В отраженной волне оно примерно удвоится. При таких давлениях стилобатная часть здания в основном будет разрушена.

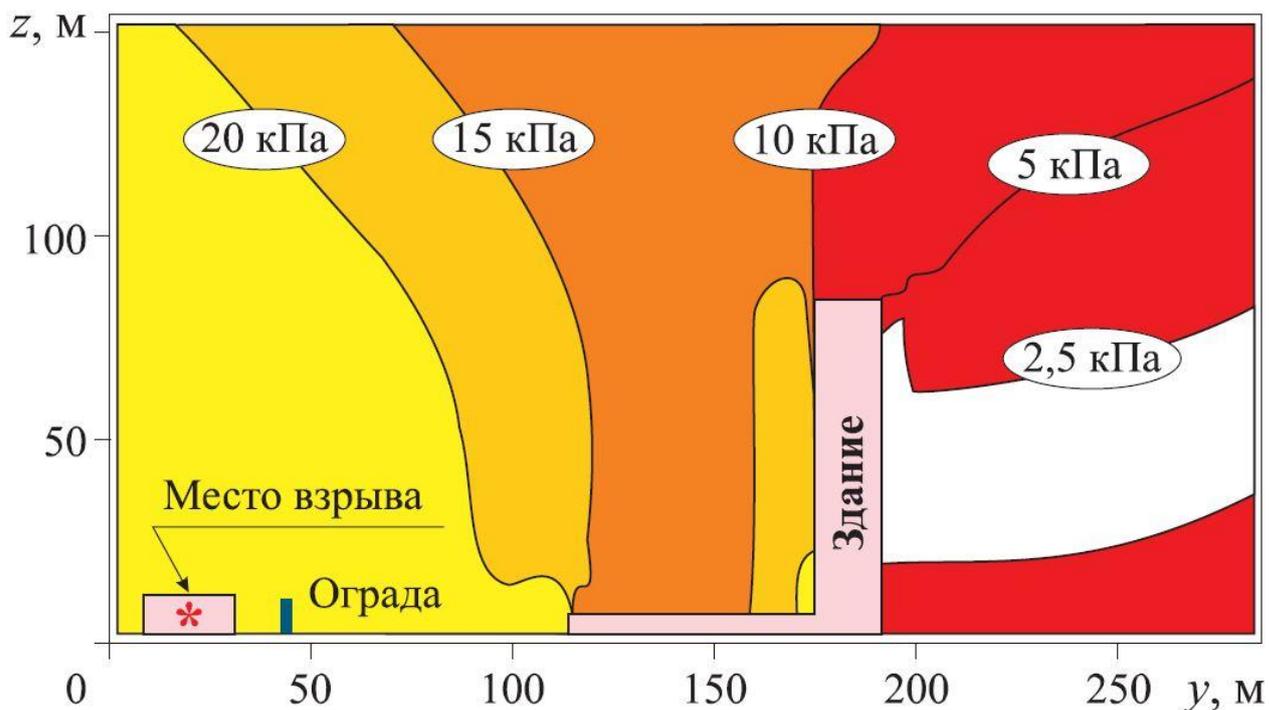


Рисунок 9 – Изолинии уровней максимального взрывного давления при детонации (вертикальный разрез)

На фасаде высотного здания в отраженной ударной волне избыточное давление достигнет 18,5 кПа и будет распределяться практически равномерно по всему фасаду здания. Здание получит разрушения сильной степени [50]. Однозначно будет разрушен навесной фасад, стекла оконного заполнения. Возможно разрушение стеновых панелей из легких бетонов, мягкой кровли больших площадей, воздухоприемников вентиляции, наружных антенн, повреждение некоторых конструктивных элементов, несущих нагрузку, и ряд других повреждений.

Материальный ущерб, нанесенный зданию, может составить до 60 % сметной стоимости. До 1,5 % людей, находящихся в здании, получают крайне тяжелые травмы, до 7 % – тяжелые и 25 % – средней тяжести. При вскрытии оконных проемов ВУВ взрыва ТВС проникнет в помещение здания со стороны действия ВУВ. В помещениях, в которых оконные проемы находятся только со стороны действия ВУВ, давление достигнет 15 кПа (рисунок 10).

Вероятность гибели людей (разрушений средней степени) в этих помещениях достигнет 40 %.

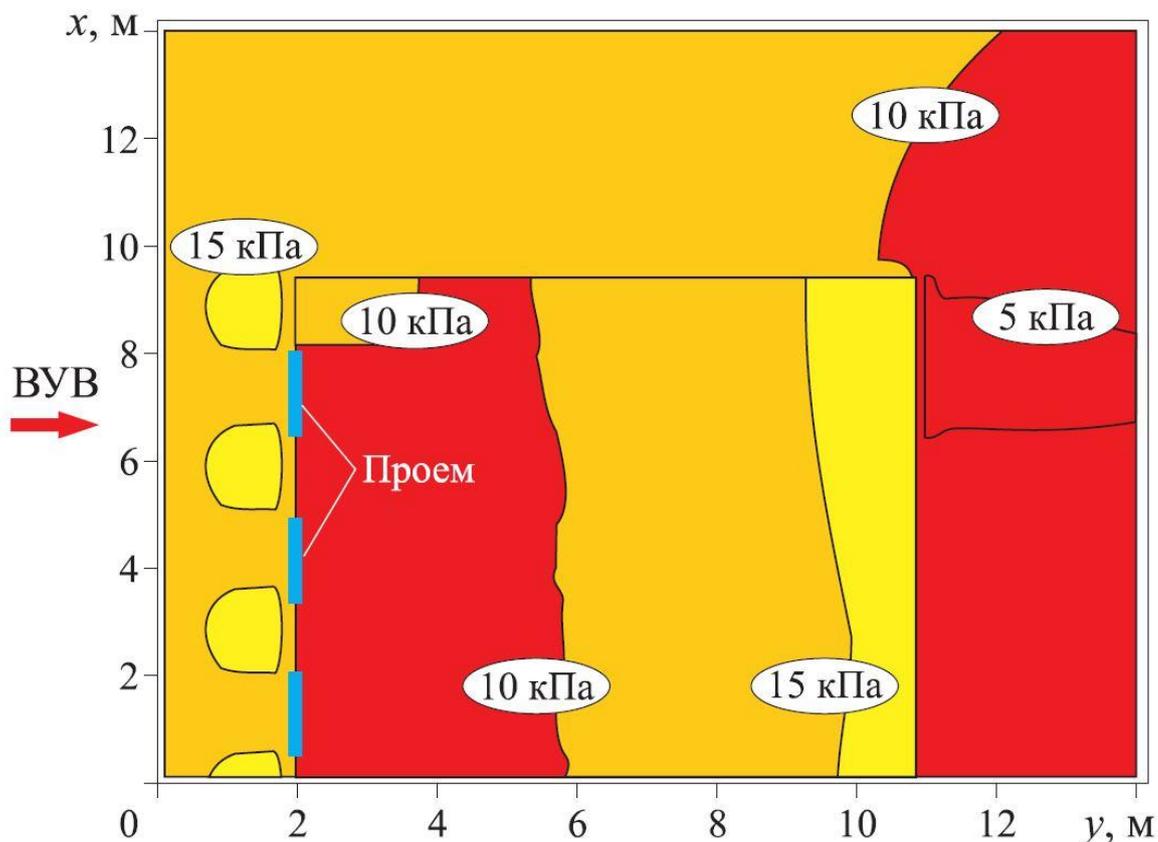


Рисунок 10 – Изолинии уровней максимального взрывного давления (фрагмент здания)

В помещениях, окна которых располагаются и со стороны воздействия ВУВ, и с противоположной стороны, давление будет ниже (~10 кПа). Однако в таких помещениях при вскрытии оконных проемов скорость воздушных потоков достигнет значительных величин (рисунок 11).

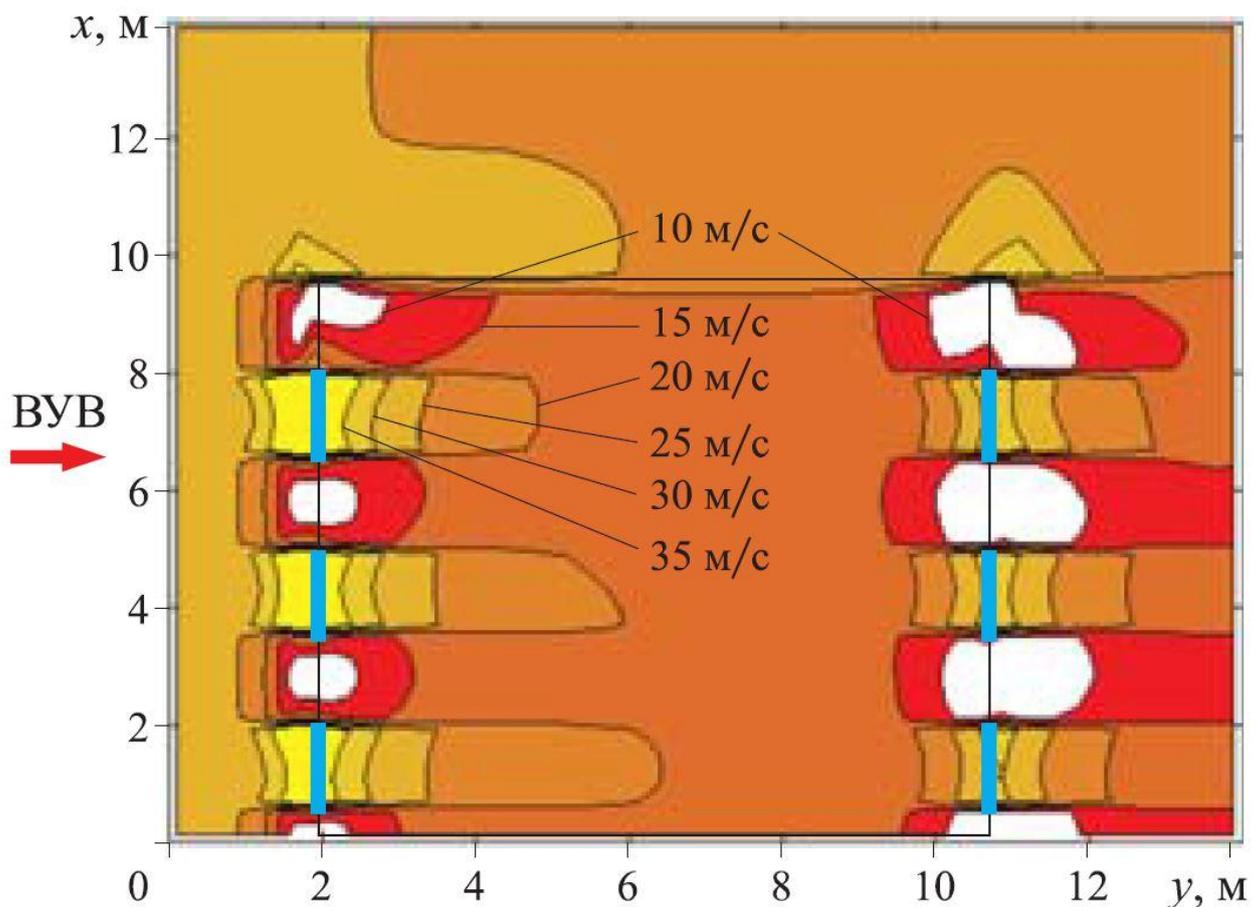


Рисунок 11 – Изолинии уровней максимальной скорости воздушного потока

Непосредственно у открытых оконных проемов скорость составит 35 м/с (116 км/ч), что больше скорости ураганного ветра (33 м/с). Причем вектор скорости будет направлен как внутрь помещения при положительном избыточном давлении, так и наружу из помещения - при отрицательном давлении и достигнет примерно 15 м/с (54 км/ч).

#### 2.4 Анализ требований и путей решения проблем исключения СЭ в составе взрывопожаробезопасных АЗС

Экспериментальные и аналитические исследования [51] показывают, что в летнее время на АЗС в зонах заправки УВТ легковых и грузовых автомобилей взрывоопасная смесь (ВС) горючих паров с воздухом может образоваться в объемах, соответственно, до 2,5 и до 8,0 м<sup>3</sup>.

При заправке (сливе-наливе) УВТ из АЦ, объем образующейся взрывоопасной паровоздушной смеси, выходящей из дыхательной арматуры АЦ, может быть значительно выше, чем при заправке ТС. Так, при взятии нескольких проб паров УВТ при заправке (сливе-наливе) АЦ на нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) компании «Лукойл» (г. Ухта) было установлено, что при температуре 0 °С в окружающее пространство выделяется в среднем около 500 г/м<sup>3</sup> ВС. Следует учитывать, что при температурах выше 0 °С, а также в зависимости от способа заправки (слива-налива) УВТ, указанные выделения паров УВТ могут оказаться в несколько раз больше. В это же время по международным стандартам они не должны превышать 35 г/м<sup>3</sup> [51]. Все это ведет не только к материальным и финансовым потерям, но и к образованию ВС в виде высоких концентраций токсичных паров УВТ с воздухом, вредных для окружающей среды. Для решения данной проблемы используют закрытую технологию заправки (слива-налива) УВТ. Она заключается в установке на АЗС соответствующего технологического оборудования предназначенного для улавливания и возврата (рекуперации) паров УВТ, позволяющего возвращать образовавшуюся паровоздушную ВС из емкости АЗС в отсеки АЦ. В настоящее время, как правило, практикуются следующие системы газозвората (рециркуляции) паров ВС:

- вакуумная (с использованием вакуумного электронасоса);
- балансовая (основанная на вытеснении паров УВТ из емкости АЦ избыточным давлением, создаваемым поступающим в нее топливом).

Данные системы позволяют повысить взрывопожаробезопасность на АЗС, снизить материальные и финансовые потери, улучшить экологическую обстановку, исключать возникновение техногенных катастроф.

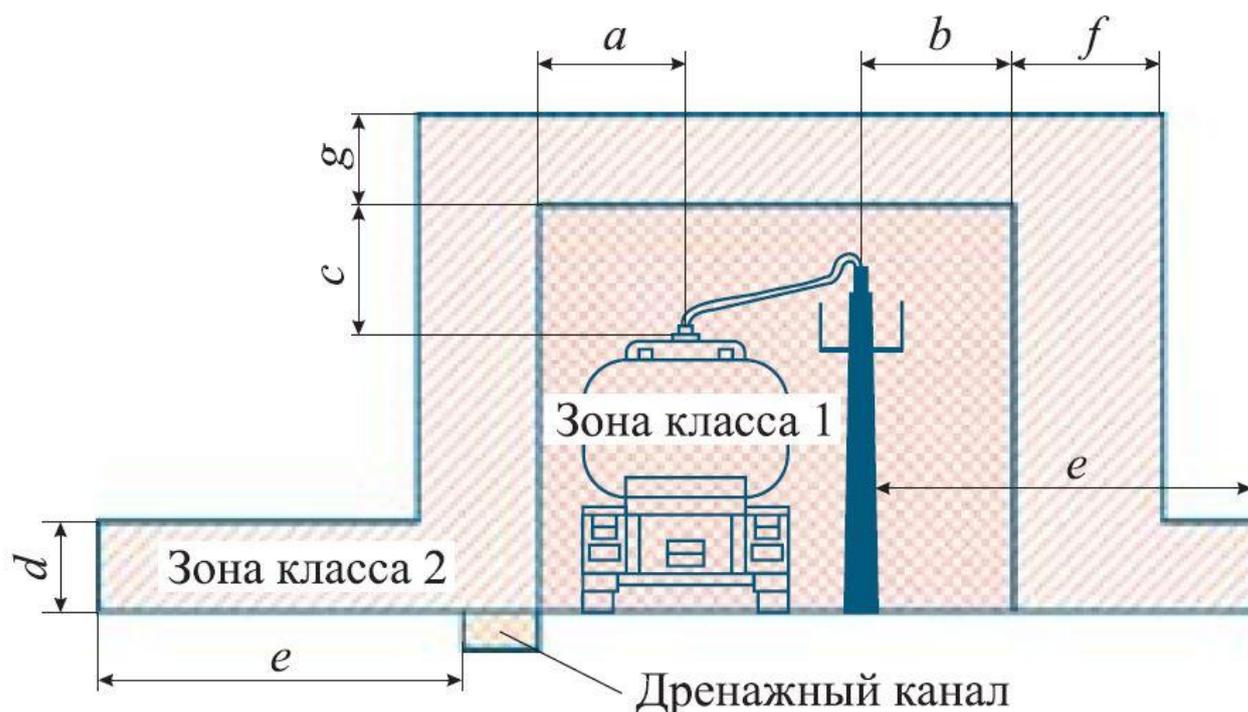
Кроме решения технических проблем безопасной эксплуатации АЗС, необходимо соблюдение соответствующих организационных мероприятий. Следует учитывать, что на АЗС обслуживающий персонал, как правило, присутствует не постоянно, а контроль технологического процесса заправки

УВТ осуществляется оператором с диспетчерского центра. Посредством установленных видеокамер и датчиков расхода контролируется только процедура количественной подачи и приема УВТ. В это же время, количество выделяемых при этом в окружающее пространство паров УВТ никак не регистрируется. Это указывает на необходимость предусматривать на АЗС установку соответствующих систем газозврата и мониторингового контроля за выделением избыточного количества паров УВТ и СГГ во избежание образования ВС и взрывоопасной зоны (ВОЗ).

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60079-10-1-2008 [52] при операциях заправки (слива-налива) могут образоваться следующие ВОЗ следующих классов:

- «класса 0 – ВОЗ, в которой ВС присутствует постоянно, или в течение длительных периодов времени, или часто» [52];
- «класса 1 – ВОЗ, в которой существует вероятность образования ВС в нормальных условиях эксплуатации» [52];
- «класса 2 – ВОЗ, в которой вероятность образования ВС в нормальных условиях эксплуатации маловероятна, а если она и возникает, то существует лишь непродолжительное время» [52].

Примером реализации ВОЗ классов 1 и 2 при технологических операциях заправки (слива-налива) УВТ может служить схема установки для заправки УВТ АЦ, приведенная на рисунке 12, расположенная снаружи и заполняемая сверху без улавливания паров УВТ [52].



$a = 1,5 \text{ м}; b = 1,5 \text{ м}; c = 1,5 \text{ м}; d = 1 \text{ м}; e = 4,5 \text{ м}; f = 1,5 \text{ м}; g = 1 \text{ м}$

Рисунок 12 – Схема реализации классов ВОЗ и их габаритные размеры при операциях заправки (слива-налива) УВТ в АЦ

Основными факторами, влияющими на класс и размеры ВОЗ являются: вентиляция пространства ВОЗ (тип – естественная, уровень – средний, готовность – хорошая), источник и степень утечки УВТ (отверстие в крыше – первая, течь на уровне земли – вторая, переполнение АЦ УВТ – вторая), тип горючего вещества (температура вспышки УВТ – ниже температуры технологического процесса заправки (слива-налива) и окружающей среды, плотность паров ВС – больше плотности воздуха).

Поскольку на АЗС (АЗК, АГЗС, ААЗС) заправка УВТ ТС производится с осуществлением сливоналивных операций, связанных с образованием ВС, характеризующихся ВОЗ (см. рисунок 12 и 13), то необходимо учитывать основные технические параметры используемых пожаровзрывоопасных веществ (см. таблицу 3.1). Указанные технические параметры регламентируются ГОСТ Р МЭК 60079-20-1-2011 [53], а также приводятся в справочной литературе.

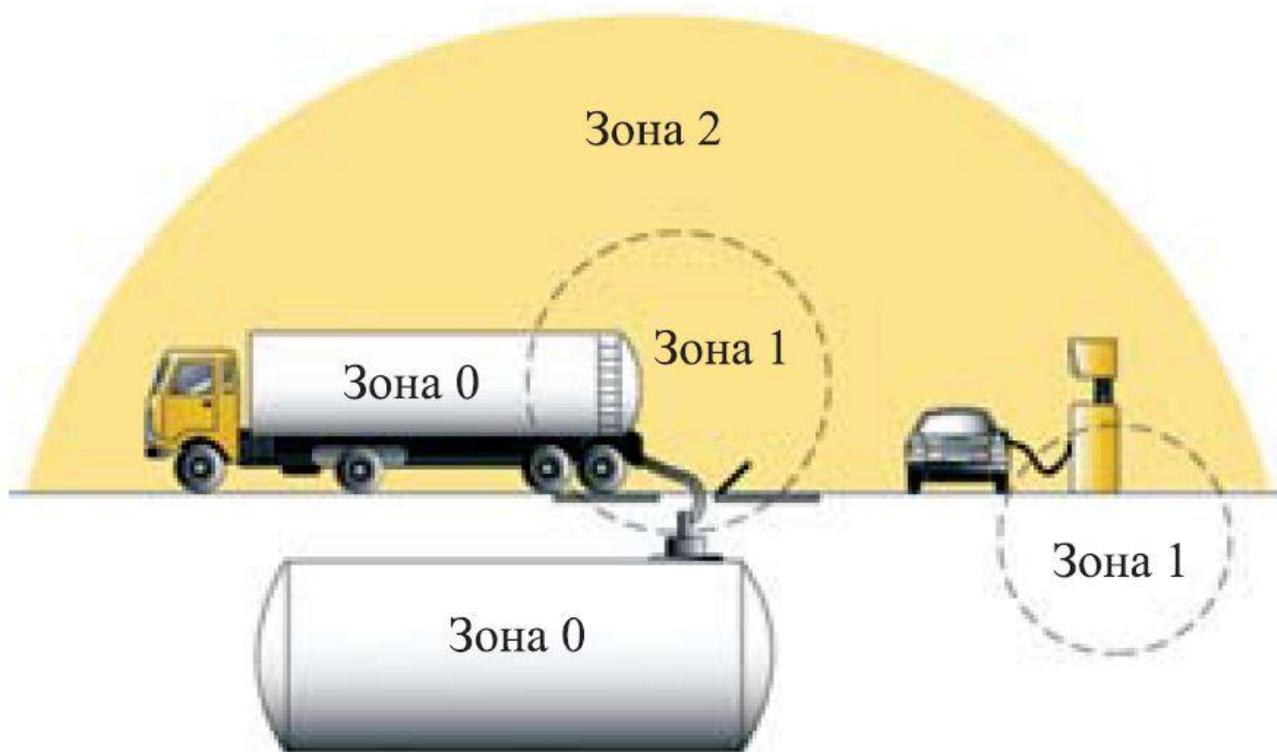


Рисунок 13 – Схема локализации ВОЗ и их классификация при операциях заправки (слива-налива) УВТ в АЦ и при заправке ТС на АЗС

В работах [31,36] показано, что вокруг ТРК образуется ВОЗ класса 1 диаметром 200 мм, вызванная попадание паров УВТ из заправочного пистолета в окружающее пространство. При осуществлении технологической процедуры заправки ТС ВОЗ класса 1 может быть значительно больше.

При заправке ТС жидким УВТ незначительное его количество выливается из заправочного пистолета после отсоединения последнего от газового оборудования, а пары бензина поднимаются из топливного бака [36...41].

На рисунке 14 представлены размеры ВОЗ паров УВТ, способные образовываться в при технологической процедуре заправки ТС [31].

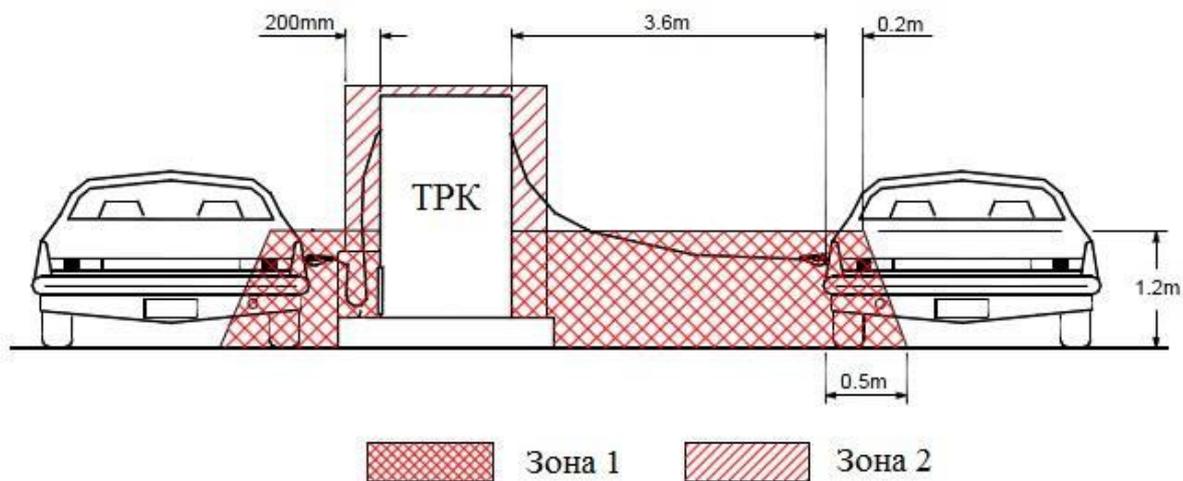


Рисунок 14 – Размеры ВОЗ паров УВТ при заправке ТС [31]

Как показано на рисунке 14, размер ВОЗ, в которой существует вероятность образования взрывоопасных паров УВТ при заправке ТС, может достигать следующих размеров: 4,1 м в длину; 1,2 м – в высоту.

Технологическая процедура заправки ТС – систематически повторяющаяся операция на АЗС, потенциальная опасность которой в «штатном» режиме эксплуатации связана с возникновением пожара/взрыва из-за искр или высокой температуры при наличии взрывоопасных паров УВТ [36].

Важно также отметить, что не следует наполнять дизельным топливом те емкости, в которых ранее транспортировался или хранился бензин. К сожалению, на деле часто встречается ситуация, что в одних и тех же емкостях хранят и перевозят различные типы УВТ. В закрытом емкостном объемном резервуаре АЦ пары ВС, образовавшиеся от оставшегося в АЦ бензина, становятся невзрывоопасными, так как за короткое время преодолевают ВКПВ (воспламенения). Опасность заключается в том, что при наполнении дизельным топливом емкости АЦ, заполненной парами бензина, концентрация паров последнего начинает снижаться. Это связано со способностью дизельного топлива абсорбировать (поглощать) пары бензина. В результате чего, концентрация паров бензина опускается до ВКПВ и уже становится взрывоопасной. При пониженных температурах окружающей среды описанный выше процесс протекает интенсивнее. Поэтому, важно учитывать конкретные

особенности взаимодействия УВТ при организации их безопасного хранения и транспортировки различных типов УВТ, заполненных в одну и ту же АЦ.

На большинстве эксплуатируемых в РФ АЗС используют различные виды УВТ – дизельное топливо, бензин различных марок, СГГ. Такого типа АЗС называются комплексными автозаправочными станциями (КАЗС).

При решении практических задач обеспечения взрывобезопасности эксплуатируемых КАЗС необходимо отдавать предпочтение УВТ, характеризующимся физическими параметрами, наделенными более высоким уровнем взрывоопасности (см. таблицу 2.1). Например, если на КАЗС содержится бензин, классифицируемый категорией ВС ПА, а дизельное топливо – категорией ПВ, то выбор Ех-оборудования следует осуществлять по показателям дизельного топлива. Состав Ех-оборудования включает технические устройства электрооборудования, технологического и вентиляционного оборудования, средства контроля за взрывоопасностью среды, устройства контроля заземления АЦ. В его составе предусмотрены разнообразные конструктивные меры по устранению или затруднению потенциалов осуществления воспламенения окружающей ВС в определенных условиях [54]. В связи с этим при выборе Ех-оборудования для АЗС следует руководствоваться требованиями соответствующих стандартов [54, 55].

Обязательным условием безопасного проведения технологических операций заправки (слива-налива) является надежное заземление всех металлических частей оборудования для предотвращения накопления зарядов СЭ и, как следствие, для исключения возможного воспламенения паров УВТ.

Таблица 2.1 – Основные физические параметры, характеризующие пожаровзрывоопасность УВТ

Углеводородное топливо	Плотность пара по воздуху, отн.ед	Температура вспышки, °С	Концентрационный предел распространения пламени				Температура самовоспламенения, °С	Концентрация смеси ЛВЖ, % об.	БЭМЗ*, мм	Подгруппа** Ех-оборудования***
			% об.		г/м <sup>3</sup>					
			нижний	верхний	нижний	верхний				
Бензин (газолин)	-	- 46	1,4	7,6	-	-	280	-	-	П А
Дизельное топливо	-	52-96	0,6	6,5	-	-	254-285	-	-	П В
Бутан CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>2</sub>	2,05	Газ	1,4	9,3	33	225	372	3,2	0,98	П А
Пропан CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1,56	Газ	1,7	10,9	31	200	450	4,2	0,92	П А
* БЭМЗ – установленный безопасный экспериментальный максимальный зазор между двумя частями внутренней камеры, который препятствует воспламенению внешней смеси газа через дорожку воспламенения длиной 25 мм при воспламенении внутренней смеси для всех концентраций газа или пара в воздухе.										
** Установлены следующие категории взрывоопасности смесей, соответствующих подгруппам оборудования группы П в зависимости от БЭМЗ: ПА - БЭМЗ 0,9 мм; ПВ - БЭМЗ более 0,5 мм, но менее 0,9 мм;										
*** Ех-оборудование – технологическое оборудование, предназначенное для эксплуатации во взрывоопасных средах										

На АЗС электрическому заземлению подлежат АЦ, наливные стояки эстакад, а также средства транспортировки и хранения УВТ и СГГ. При наличии фланцевых соединений и шунтирующих перемычек в составе арматурных узлов технологического оборудования АЗС, необходимо следить за тем, чтобы переходное сопротивление  $R_n$  соединения между шасси ТС, емкостным объемным резервуаром АЦ, трубопроводными элементами и арматурой было менее  $10^6$  Ом ( $R_n \leq 10^6$  Ом). Проводники электрического заземления должны быть соединены с ТС прежде, чем начнется какая-либо технологическая операция (например, прежде, чем оператор АЗС откроет люк емкости для приема УВТ, или прежде, чем им будет подсоединена сливная труба). С этой целью рекомендуется применять соответствующую блокировку, исключающую начало проведения технологической операции заправки (слива-налива), если проводник заземления к ТС не присоединен [56].

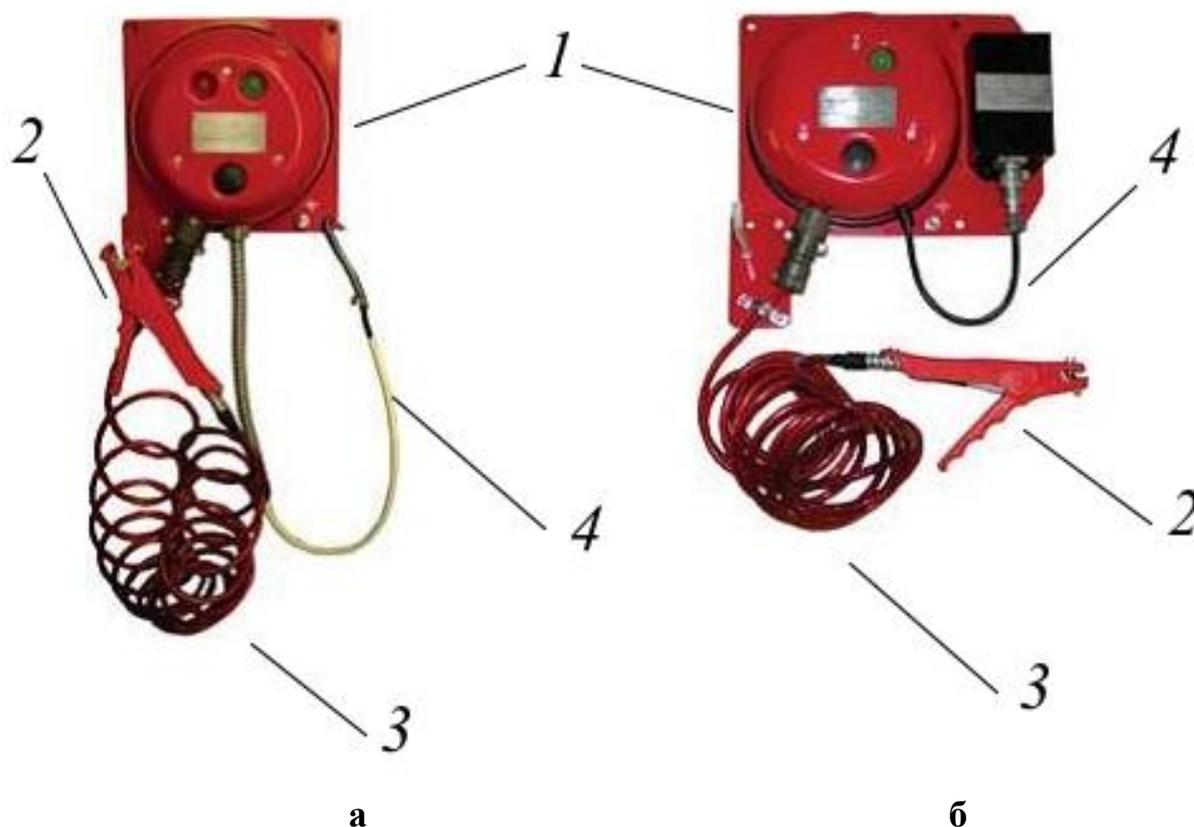
Важно отметить, что существуют некоторые значительные конструктивные различия между устройствами электрического заземления АЦ, применяемыми на нефтебазах и складах ГСМ и АЗК, а также устройствами электрического заземления на АЗС общего пользования и ведомственных пунктах заправки УВТ. Подобные различия существуют и при оснащении АЦ электрозаземляющими проводниками, конструктивно непригодными для применения при заправке (сливе-наливе) УВТ на АЗК и АЗС. Из этого следует, что используемые на практике электрозаземляющие СЭ технические устройства не всегда обеспечивают необходимый высокий уровень взрывопожаробезопасности в осуществляемых технологических операциях заправки (слива-налива) с УВТ и СГГ. Для его повышения на АЗС следует применять эффективные взрывобезопасные устройства заземления АЦ (далее УЗА), отвечающие требованиям к Ех-оборудованию [54, 55].

3 Предлагаемые к реализации организационно-технические решения по повышению пожаробезопасных технологических процедур хранения, транспортировки, заправки (слива-налива) ЛВЖ

3.1 Используемые типы и модификации современных устройств заземления АЦ.

Используемые УЗА предусмотрены для электрического заземления АЦ и других транспортных емкостей в процессе заправки (слива-налива) УВТ. Они также используются для блокировки и запуска технологического процесса слива, что сводит к минимуму вероятность проведения технологической процедуры слива без предварительного подключения к устройствам электрического заземления. Данные технические устройства гарантируют постоянный контроль наличия электрической цепи «заземляющее устройство – АЦ» и оснащены световой сигнализацией для обозначения технического состояния данного участка электрической цепи.

В современной практике широко используют технические устройства УЗА серий 2МК04, 2МК05 и 2МК06. Указанные технические устройства УЗА разработаны в соответствии с требованиями стандартов [58, 59]. Типичная конструкция УЗА представлена электрозаземляющим устройством, установленным в зоне ТЗЭ или сливного устройства АЗС и электрозаземляющим проводником, выполненным в виде универсального провода со специализированным клещевым зажимом для осуществления присоединения УЗА к АЦ. Присоединение провода к АЦ возможно только в момент, когда коммутационная цепь УЗА разомкнута. Его размыкание осуществляется специальной кнопкой, расположенной на его корпусе, как это показано на рисунке 15.



а – УЗА-2МК04, УЗА-2МК05; б – УЗА-2МК06; 1 – УЗА; 2 – зажим; 3 – заземляющий проводник, смонтированный между АЦ и УЗА; 4 – заземляющий проводник, смонтированный между УЗА и заземляющим контуром АЗС

Рисунок 15 – Общий вид технических устройств контроля заземления АЦ электрозаземляющими устройствами типа УЗА-2МК

Питание коммутационного устройства УЗА серии 2МК04 осуществляется от промышленной цепи переменного тока напряжением равным 220 В. Питание УЗА серии 2МК05 предусмотрено от цепи постоянного тока напряжением 12 В. Также возможно питание УЗА от батареи аккумуляторов напряжением 6,3 В, служащей автономным источником питания (УЗА-2М06).

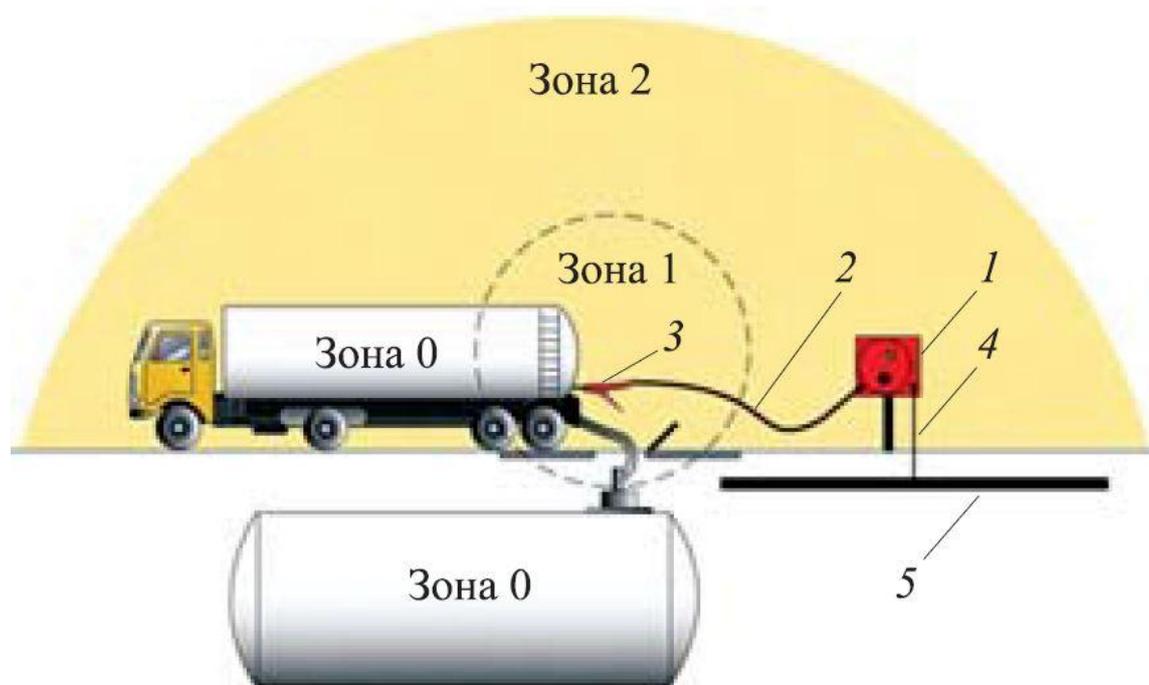
Применение той или иной модификации УЗА диктуется технической оснащённостью ТЗЭ нефтебаз и наливных пунктов, узлов слива на АЗС, АГЗС и АЗК.

Основные технические характеристики электрозаземляющих устройств серии УЗА-2МК приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные технические характеристики электрозаземляющих устройств серии УЗА -2МК

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Модель УЗА</span> <span>Технические характеристики</span> </div>	УЗА-2МК04	УЗА-2МК05	УЗА-2МК06
Напряжение питания, В	220±15%, 50 Гц (переменный ток)	12±5% (постоянный ток)	6,3±0,5%
Температурный эксплуатационный диапазон, °С	От -40 до +40	От -40 до +40	От -20 до +40
Относительная влажность воздуха, % (при температуре воздуха 35°С)	98±2	98±2	98±2
Длина проводника заземления, не менее, м	–	6	–
Контроль электрической цепи «транспортная емкость – УЗА»	–	Есть	–
Наличие световой сигнализации	Есть	Есть	Есть
Габаритные размеры, мм	190x190x70	190x190x70	190x250x70
Масса, кг	2,5	2,5	1,3

Перед началом эксплуатации технические устройства УЗА должны быть надежно закреплены, заземлены и установлены рядом с устройством слива-налива, на высоте 1,5-1,7 м от поверхности дорожного покрытия. Проводники заземления 2 и 4 должны быть жестко закреплены с помощью соответствующих разъемов к элементам крепления устройства заземления (рисунок 16). Электрическое сопротивление изоляции заземляющего проводника 4 между техническим устройством УЗА 1 и контуром заземления 5 не должно превышать 100 Ом [60].



1 – УЗА; 2 – заземляющий проводник, соединяющий АЦ и УЗА; 3 – зажим; 4 – заземляющий проводник между УЗА и заземляющим контуром АЗС; 5 – заземляющий контур АЗС

Рисунок 16 – Иллюстративная схема подключения АЦ к заземляющему контуру АЗС через УЗА

В свою очередь, на АЦ должна быть предусмотрена зона для надежного присоединения зажима 3 проводника заземления 2. С этой целью может быть использована металлическая пластина (например, полка уголкового профиля) габаритными размерами 25x25x15 мм. Все сопрягаемые контактные зоны соединительных элементов должны быть тщательно защищены от грязи,

краски и коррозии, а также покрыты слоем токопроводящей антикоррозийной смазки для обеспечения стабильного электрического контакта УЗА с АЦ.

Данное техническое решение принято за прототип.

### 3.2 Анализ разработок и путей их улучшения по теме диссертационной работы

Известны технические устройства для борьбы с вредными проявлениями СЭ, включающие составные элементы в виде корпуса, контактных элементов, приспособления для их замыкания, заземляющий проводник в виде ключа.

Применяемые в качестве типичных соединительных устройств для отвода зарядов СЭ с транспортных емкостных объемных резервуаров, оборудованных заземляющим устройством, выполненным в виде клещевого зажима и применяемые при этом схемы контроля, позволяют контролировать как цепь электрического заземления, так и техническое состояние самого заземления. Однако существенными недостатками такого типа технических устройств являются их недостаточная надежность, обусловленная использованием зажима клещевого типа с контактным заземлением в одной точке и неудовлетворительной кинематикой составных элементов конструкции в условиях эксплуатации загрязненной агрессивной среды УВТ. Также рассматриваемое техническое устройство характеризуется сложностью конструктивного исполнения для обеспечения искробезопасного электрического подсоединения.

Устройство (М 884175, кл. Н 05 F 3/02, 1981) [61] устраняет недостатки, указанные выше, за счет введения дополнительного блока контроля цепи заземления. Данный блок контроля настроен таким образом, что разрешение на осуществление технологической операции заправки (слива-налива) он дает только при малом сопротивлении между АЦ и грунтом. Тем самым предотвращается искрение при замыкании контактов. Устройство работает следующим образом. При стыковке АЦ с зажимом контакты последнего

замыкаются с помощью специального штыря, приваренного к металлоконструкции АЦ. Малое переходное сопротивление между штырем и зажимом обеспечивает замыкание проводников-выводов между собой. При отсутствии на АЦ специального присоединительного штыря устройство не сработает, поскольку в блоке контроля заземления предусмотрена защита от срабатывания при попытке принудить его к работе путем введения в зажим иного металлического предмета, обеспечивающего замыкание его контактов.

Однако, отмеченное техническое устройство характеризуется низкой надежностью в эксплуатации.

С целью использования технических решений, обладающих как преимуществами рассмотренного выше устройства для отвода зарядов СЭ, так и лишенных его недостатков, рассмотрим известное аналогичное соединительное устройство, представленное на рисунке 17 (RU 2160977, кл. Н 05 F 3/02, 20.12.2000) [62].

«Изобретение относится к технике защиты от вредных проявлений СЭ, особенно в местах, где имеется опасность образования взрывной смеси воздуха с горючими парами и газами» [62].

Недостатком этого устройства является возможность несанкционированного подсоединения ключа без заземляющего элемента при технологических операциях заправки (слива-налива) УВТ, а также невозможность контролирования сопротивления цепи «АЦ-соединительное устройство».

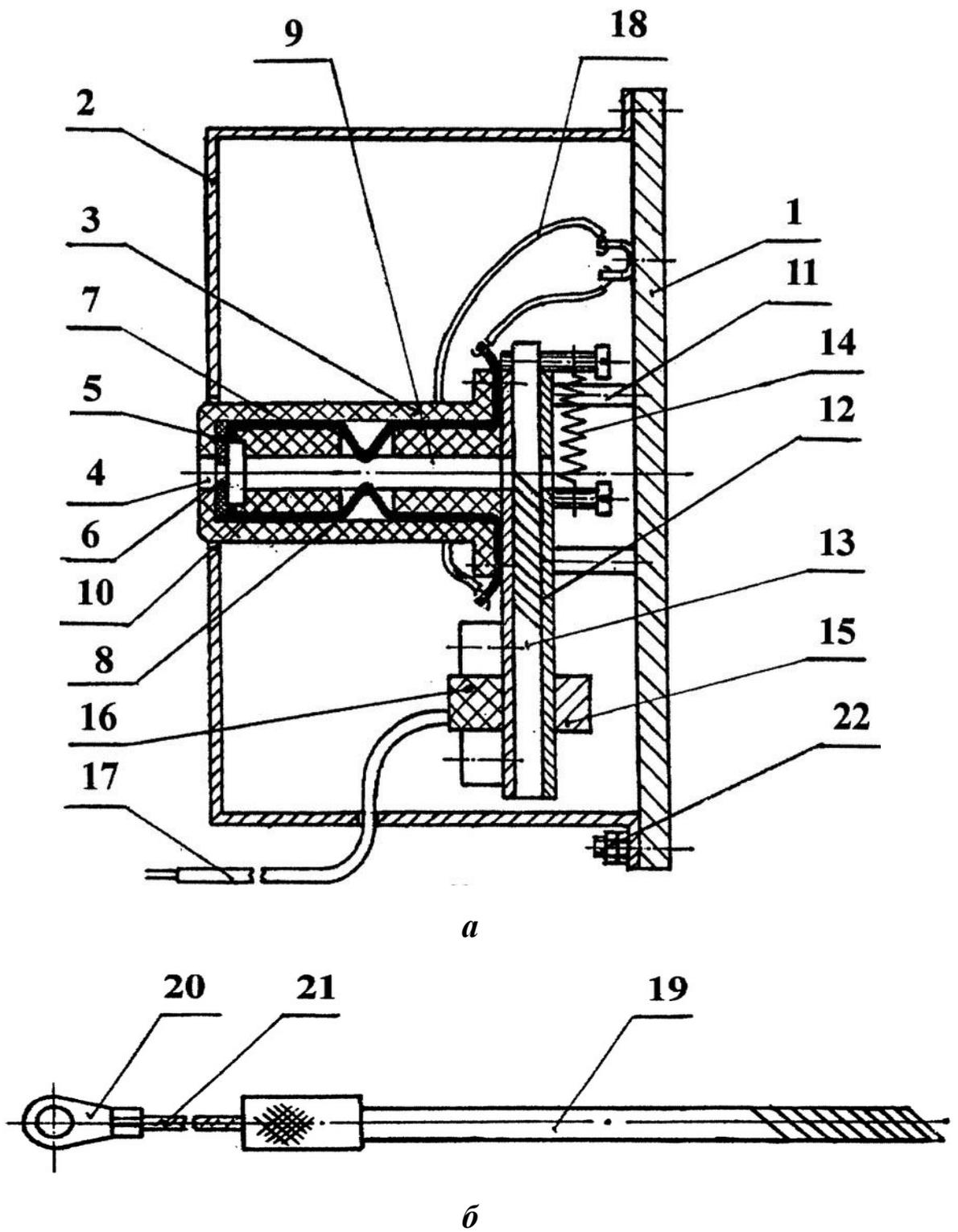


Рисунок 17 – Ближайший аналог соединительного устройства для отвода зарядов СЭ

### 3.3 Предлагаемое соединительное устройства для обеспечения надежного и эффективного отвода зарядов СЭ

Таким образом, используя как преимущества рассмотренных выше устройств для отвода зарядов СЭ, так и исключая их недостатки, предлагается применение инновационного инжинирингового устройства, содержащего идентичные составные элементы. Технический результат – повышение безопасности и расширение функциональных возможностей

Данное техническое устройство предназначено для эффективного и надежного заземления зарядов СЭ с различного типа подвижных объектов, например, ТС, перевозящих УВТ, в местах заправки (слива-налива) УВТ, где вероятно опасность формирования ВС воздуха с горючими парами и газами [63].

Принципы функционирования предлагаемого технического устройства поясняются схемой (рисунок 18-19), где на рисунке 18 показан заземляющий проводник, а на рисунке 19 – вид сбоку устройства, в разрезе.

На рисунке 18 показан заземляющий проводник. Он состоит из ключа 20, выполненного в виде стержня, имеющего ступенчатую форму. Часть стержня 21 с большим диаметром выполнена с нарезкой, а на ступень меньшего диаметра установлены элементы из диэлектрического материала, а именно втулка 22 и гильза 23. Их наружные диаметры равны диаметру нарезки 21 стержня 20 [63].

Наконечники 29 заземляющих тросов 28 подсоединяются к корпусу АЦ. Ключ 20 соединен с наконечниками 29 посредством тросов 28, длиной не менее 3 м и связанных с заземляемым объектом, АЦ (не показана), находящейся на посту заправки (слива-налива). «Заземляющий проводник предназначен для оборудования АЦ и др. объектов и является собственностью их владельца» [63].

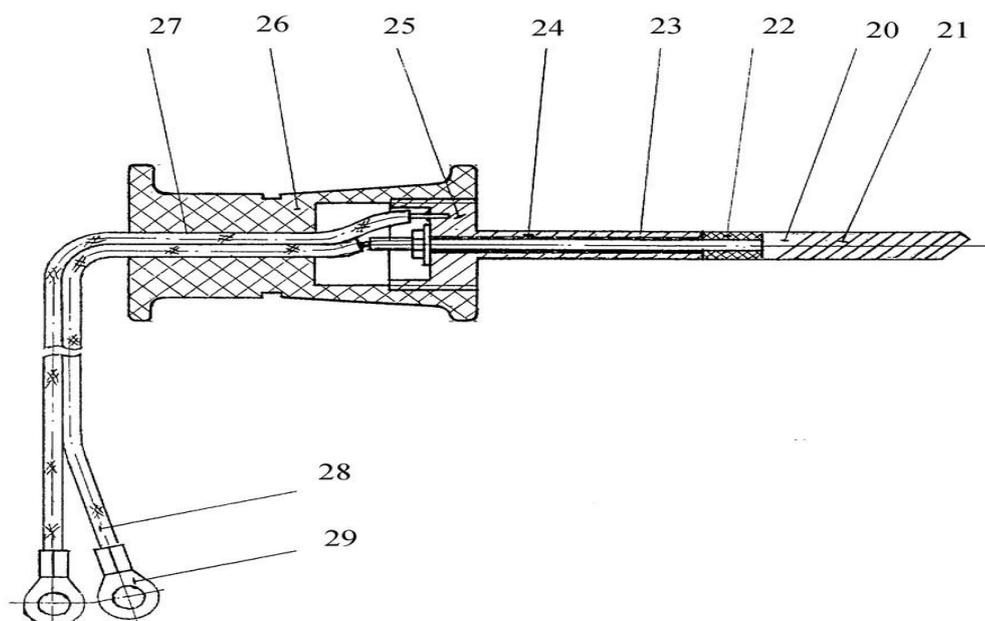


Рисунок 18 – Заземляющий проводник предлагаемого соединительного устройства для обеспечения надежного и эффективного отвода зарядов СЭ

Устройство, представленное на рисунке 19, состоит из основания 1, корпуса 2 с цилиндрической втулкой 3, оснащенной торцевым отверстием 4, антистатическую прокладку 5, выполненную в виде шайбы с щелевым отверстием 6, а также контактные элементы 7 из бериллиевой бронзы, один из которых выполнен с зигом 8 и упором 9 для взаимодействия с прокладкой 5 для снятия зарядов СЭ. При этом зиги контактных элементов смещены относительно друг друга [63].

Соединительное устройство подсоединяется к заземляющему оборудованию через клемму 30.

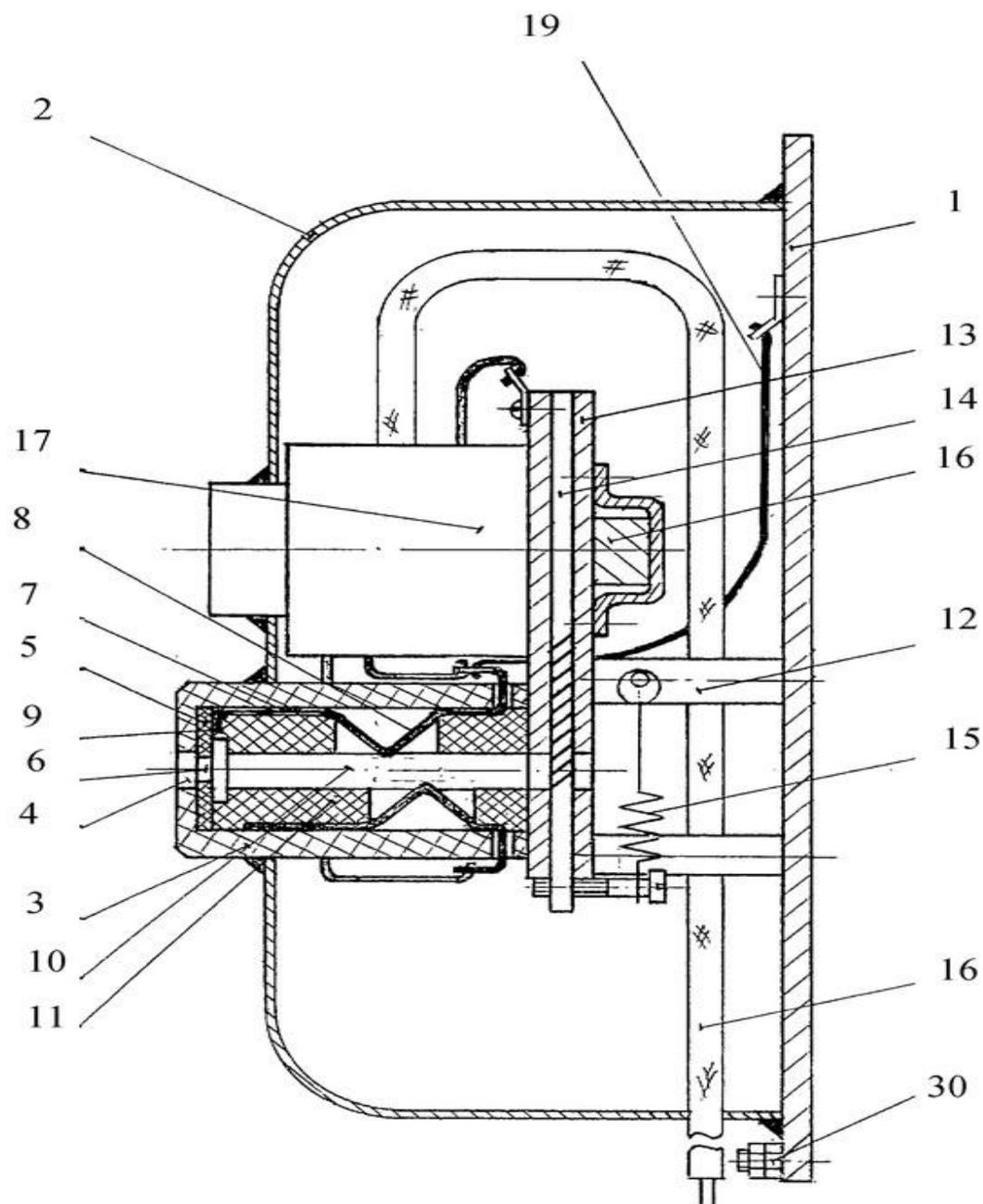


Рисунок 19 – Схема предлагаемого соединительного устройства для обеспечения надежного и эффективного отвода зарядов СЭ, вид сбоку

### 3.4 Принцип работы предлагаемого устройства

Рассматриваемое устройство работает следующим образом.

При осуществлении технологических операций по заправке (сливу-наливу) УВТ, например, при опорожнении емкости АЦ, оператор (водитель) вставляет ключ 20 в специально предназначенное отверстие 4. Ключа 20 начинает контактировать с антистатической прокладкой 5. Образовавшееся

электрическое сопротивление между ключом 20 и контактными элементами 7 через антистатическую прокладку 5 составляет 1012 Ом. При таком значении электрического сопротивления происходит эффективный переток заряда СЭ с АЦ. Однако, искрового разряда, способного поджечь ВС в окружающем пространстве при этом не происходит. Спустя определенный промежуток времени, ключ 20 начинает непосредственно контактировать с зигами 8. Опасного образования искровых разрядов при этом также не происходит, так как в этот момент времени электрические потенциалы АЦ и земли практически сравнились. «При механическом взаимодействии нарезки ключа 20 с нарезкой экрана 14, последний, преодолевая сопротивление пружины 15, поднимается в направляющих 13, снимая замыкающее силовое действие магнитного поля» [63]. Одновременно активируется защищенный от взрыва электронный блок 17, который измеряет электрическое сопротивление цепи «АЦ – заземляющие тросы 28 - экран 14». В случае, если электрическое сопротивление данной цепи удовлетворяет нормам безопасности, генерируется сигнал, направляемый в цепь датчика налива на включение насоса, либо в цепь электромагнита отсекающего клапана. Таким образом, выдается управляемое разрешение на проведение заправочных (сливо-наливных) технологических операций и на световую сигнализацию [63].

Механическая сила трения, образующаяся между ключом 20 и антистатической прокладкой 5, фиксирует ключ от случайного разъединения с контактными элементами 7. В случае, если по каким либо техническим причинам оператор (водитель), производящий заправочную (сливо-наливную) операцию, подсоединит к данному устройству ключ от другого технического устройства с аналогичной нарезкой, то проведение заправочной (сливо-наливной) технологической операции будет предотвращено. Это обеспечивается за счет того, что в момент контакта с ключом от другой конструкции, контактный элемент 7 блокирует включение электронного блока 17. Когда технологическая операция налива УВТ будет произведена,

оператору (водителю) необходимо вынуть ключ 20 и вставить его в предусмотренное для этого гнездо на АЦ для последующей эксплуатации и хранения. Предлагаемое техническое устройство устанавливается на посту заправки (слива-налива) УВТ таким образом, чтобы отверстие 4 располагалось по ходу движения АЦ. Данное инженерное решение устраняет вероятность возможного непреднамеренного механического повреждения устройства при внезапном неуправляемом начале движения АЦ без управления водителем.

Инновационное техническое устройство обеспечивает взрывобезопасность работы с УВТ, предотвращает несанкционированное подключение объектов при заправочных (сливо-наливных) операциях. В это же время конструкция устройства проста в эксплуатации и ремонтпригодна.

В предлагаемой инновационной инжиниринговой разработке для отвода зарядов СЭ недостатки, выявленные при эксплуатации аналогичных устройств, рассмотренных в разделе 3.3 настоящей магистерской диссертации, решаются за счет следующих факторов:

- 1 ключ снабжен дополнительным заземляющим элементом [63];
- 2 зиг одного контактного элемента расположен со смещением относительно зига другого контактного элемента [63];
- 3 один из контактных элементов выполнен с упором, размещенным с возможностью взаимодействия с антистатической прокладкой [63];
- 4 смещение зигов контактных элементов равно или больше диаметра металлической гильзы [63];
- 5 заземляющие элементы имеют наконечники для соединения с заземляемым объектом [63].

### 3.5 Дополнительные организационно-технические мероприятия обеспечения взрывопожаробезопасности АЗС

На приведенных выше примерах и отмеченных преимуществах использования УЗА необходимо учитывать, что они не всегда решают проблему надежной защиты АЦ от генерируемого процесса накопления зарядов СЭ. Заземление емкостного объемного резервуара (АЦ) позволяет исключить только накопление электрического заряда на его поверхности, но не способствует ускорению процесса энергетического рассеяния электрического заряда в объеме заполняемой жидкости. Это объясняется тем, что скорость релаксации зарядов СЭ в объеме диэлектрической жидкости НП определяется постоянной времени релаксации  $\tau$  (с). В результате этого, в заполняемом наэлектризованными НП емкостном объемном резервуаре, в течение всего времени заполнения жидкостью и в течение отрезка времени, приблизительно равного  $3\tau$ , после его окончания, существует образованное электрическое поле зарядов независимо от того, электрозаземлен этот емкостной объемный резервуар или нет. Именно в этот период времени, существует вероятность воспламенения паровоздушной смеси НП в емкостном объемном резервуаре от возникших разрядов СЭ. Представленную выше информацию необходимо учитывать при заборе проб топлива из емкостных объемных резервуаров, а также при процедурах замера в них уровня жидкого топлива.

Для обеспечения безопасности заполнения топливом заземленного емкостного объемного резервуара и совершения дальнейших безопасных технологических операций после окончания процесса заполнения, нужно учитывать время задержки воспламенения  $T$ , согласно выражения (1):

$$T = 3k\tau, \text{ с} \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий увеличение времени релаксации за счет поверхностного заряда НП.

Необходимое время задержки воспламенения  $T$  для НП, имеющих низкий уровень электропроводности ( $\rho_v > 10^{11}$  Ом·м), должно быть не менее 10 мин после момента успокоения перемещаемой жидкости (НП). Только в таком случае будет обеспечена безопасность дальнейших технологических операций заправки (слива-налива) НП.

В качестве других ОТМ, следует указать, что при сливе НП или других горючих жидкостей из емкостных объемных резервуаров, следует избегать падения топливной струи с высоты и ее дальнейшего разбрызгивания. Сливной шланг (рукав) необходимо опускать до самого дна АЦ или другой резервуарной емкости.

Важно также отметить, что на накопление СЭ большое влияние оказывает скорость перемещаемого потока при сливе-наливе УВТ. Для бензина с учетом универсального предела  $j$  она может быть определена согласно выражения (2):

$$j = vd \quad (j \leq 0,5), \quad \text{м}^2/\text{с}, \quad (2)$$

где  $v$  - средняя скорость потока топлива, перемещаемого в трубе, м/с (скорость потока топлива не должна при этом превышать 7 м/с);

$d$  - диаметр трубы, м.

Установленное предельное ограничение скорости потока топлива  $v$  обосновано опытом эксплуатации и образуемыми защитными свойствами, характерными для сочетания высокой летучести топливных паров при ограниченности свободного доступа воздуха к нижней части объема загружаемого емкостного объемного резервуара. Значения скорости перемещаемого потока УВТ с учетом используемого диаметра загрузочной трубы, соответствующие предельным значениям  $j$ , представлены в таблице 3.2 [66].

Таблица 3.2 – Предельные значения скорости перемещаемого потока УВТ  $j$ , установленные для АЦ, с учетом используемого диаметра  $d$  проходного сечения загрузочной трубы

Диаметр загрузочной трубы $d$ , мм	Скорость потока, м/с, при универсальном пределе $j$ , м <sup>2</sup> /с			
	0,25	0,35	0,38	0,5
50	5,0	7,0	7,0	7,0
80	3,1	4,4	4,7	6,3
100	2,5	3,5	3,8	5,0
150	1,7	2,3	2,5	3,3
200	1,25	1,75	1,9	2,5

### 3.5.1 Применение антистатических присадок

Статическая электризация НП объясняется присутствием микропримесей, которые диссоциируют на положительно и отрицательно заряженные ионы. Достаточно наличия  $\sim 1$  г примесей на 1000 т НП ( $\sim 10^{-9}$  %), чтобы НП из практически неэлектризующегося стал склонным к электризации до опасного предела. К таким примесям относятся продукты окисления углеводородов, асфальтены, соли металлов нафтеновых и сульфокислот и т. д. Кроме того, наличие ионов в НП возможно из-за электролитических процессов, протекающих на границе раздела фаз (металл – НП) за счет наличия растворенной в НП воды и очень тонкой ( $10^{-4}$  –  $10^{-5}$  см) пленки воды, прочно адсорбированной на поверхности металла [64].

Образовавшиеся ионы создают двойной электрический слой на границе раздела фаз. Одна часть слоя (плотная) располагается непосредственно у границы раздела фаз, вторая часть более рыхлая (диффузная) за счет теплового разброса может выноситься в массу НП. В статичном состоянии за счет равенства положительно и отрицательно заряженных ионов масса НП электрически нейтральна. При перемещении НП диффузный слой способен переноситься потоком НП, создавая в месте скопления (резервуары, емкости

и т. д.) значительные потенциалы электростатических зарядов (до нескольких сотен тысяч вольт). При определенных условиях возникает искровой пробой паровоздушного пространства с последующим взрывом и пожаром.

Наиболее интенсивно электризуются легкие углеводороды и светлые НП – бензины, реактивные топлива и др. разряды, вызванные СЭ, особенно опасны в смесях паров этих продуктов с воздухом, поскольку достаточно легко достигается взрывоопасная концентрация.

Существенное влияние на электризацию оказывает интенсивность проведения различных технологических операций с НП, в частности скорость перекачки.

Включение в систему перекачки жидкости различных устройств с развитой поверхностью (фильтры, теплообменники, сепараторы и пр.) сопровождается резким увеличением электризации. Она становится в несколько раз интенсивнее по сравнению с электризацией в трубопроводах. Присутствие в диэлектрических жидкостях мелкодисперсных примесей (жидких, твердых или газообразных) также приводит к возрастанию электризации. Так, добавка к бензину 6 % (об.) воды при перекачке увеличивает напряженность электростатического поля в паровоздушном пространстве емкостного объемного резервуара в несколько десятков раз. При нагнетании в поток УВГ газа (воздуха или азота) уровень электризации повышается в 1,8 – 4 раза в зависимости от количества нагнетаемого газа. Содержание мелкодисперсной окалины в количестве  $\sim 100 \text{ г/м}^3$  ( $\sim 0,01 \%$ ) приводит к увеличению электризации УВГ в 1,6 – 1,7 раза. Высокая электризации наблюдается при оседании (или подъеме) в объеме УВГ мелкодисперсных частиц примесей (воды, газа, механических примесей), что приводит к взрывам емкостных объемных резервуаров через значительный промежуток времени (до 40 мин) после окончания перекачки [64]. Повышенная электризация топлив наблюдается при наличии частиц размером  $\leq 1 \text{ мкм}$ , что можно объяснить появлением в жидкости

дополнительных поверхностей раздела фаз, на которых создастся двойная электрическая сила. Чем меньше размер частиц, тем большей поверхностью они обладают и тем усиленнее протекает электризация.

Разбрызгивание УВТ, заполнение емкостных объемных резервуаров падающей струей, кавитация в насосах и другие явления, в результате которых образуются дополнительные поверхности раздела фаз и формируется двойная электрическая сила, сопровождаются резким возрастанием их электризации.

Установлено также, что материал труб не оказывает столь существенного влияния на электризацию жидкостей, как загрязненность и шероховатость внутренних стенок трубопровода. Несмотря на тщательное соблюдение обычных мер по борьбе со статической электризацией НП (заземление оборудования, соблюдение скорости перекачки и т. п.), предусмотряемых правилами защиты оборудования [57], число взрывов и пожаров из-за накопления электростатических зарядов, велико. Условия, при которых возможны аварийные ситуации (пожары и взрывы) из-за СЭ, следующие:

- 1 наличие над поверхностью продукта ВС паров НП и воздуха;
- 2 образование и накопление в НП достаточного количества зарядов СЭ;
- 3 электрическое поле, созданное зарядами СЭ, способно вызывать разряд достаточной мощности для воспламенения паровоздушной смеси.

Устранение одного из названных условий исключает взрыв и пожар НП. Однако при проведении различных технологических операций с УВТ сочетание всех условий не такое уж редкое явление, поэтому взрывы и пожары, вызванные разрядами СЭ, происходят достаточно часто.

Воспламенение смеси паров НП с воздухом ограничивается их максимальной и минимальной концентрацией в паровоздушной смеси:

0,7 – 8 % (об.) для большинства НП. Такие концентрации паров НП в воздухе даже в условиях умеренных температур достигаются достаточно быстро.

Второе условие всегда имеет место при любых операциях с НП. Причинами воспламенения паров УВТ, вызванных разрядом СЭ, в 63 случаях были (%): намеренное и случайное перемешивание УВТ – 57, неправильный налив УВТ (сильный распыл) – 16, повышенное испарение УВТ – 10, перекачка УВТ с недопустимо большой скоростью – 6. Таким образом, практически при любой технологической операции в УВТ генерируются электростатические заряды. Накопление зарядов СЭ, обусловленное низкими значениями электрической проводимости, приводит к созданию в объеме УВТ значительной объемной плотности заряда СЭ.

Третье условие – разряд СЭ достаточной мощности, которая определяется плотностью заряда на поверхности жидкости. В результате многочисленных исследований установлено, что для воспламенения смеси паров НП с воздухом энергия искрового разряда должна быть не менее 0,2 мДж [65].

Рассмотренные выше условия взрывов и пожаров ТВС, вызванных разрядом СЭ, определяют следующие методы борьбы с этим явлением: предотвращение накапливания электростатических зарядов в объеме и на поверхности УВТ, либо предупреждение воспламенения паровоздушной среды над поверхностью УВТ даже при возникновении искрового разряда с энергией, превосходящей минимальную для зажигания смеси паров УВТ с воздухом [65, 66]. К первой группе методов относится заземление оборудования, снижение скорости проведения технологических операций. Данные методы были подробно раскрыты в главе 4 данной магистерской диссертации. Ко второй группе относится применение плавающих крыш, заполнение паровоздушного пространства инертными газами и т. д. Основным недостатком методов второй группы заключается в том, что они вступают в действие уже после образования и накопления электростатических зарядов в

объеме УВТ. Кроме того, они локальны, и для их осуществления необходимо дорогостоящее и сложное оборудование, не всегда способное надежно защитить. В настоящее время наиболее эффективен, из предложенных, способ введения специальных антистатических присадок, резко повышающих электрическую проводимость УВТ до уровня, при котором предотвращается накопление электростатических зарядов в объеме УВТ.

### 3.5.1.1 Механизм действия и классификация антистатических присадок

При различных технологических операциях в топливах протекают два противоположных процесса: с одной стороны, происходит генерация электростатических зарядов и их накопление в массе топлива и, с другой – рассеивание этих зарядов. Низкая электрическая проводимость УВТ обуславливает накопление электростатических зарядов в массе топлива и создание значительных потенциалов. Накопление зарядов зависит от времени их рассеивания  $\tau$ , связанного с электрической проводимостью УВТ.

Электрическая проводимость УВТ на уровне  $\geq 50$  пСм/м обеспечивает достаточно интенсивное рассеивание электростатических зарядов из массы УВТ и безопасность проведения операций в условиях, обычных для нефтепереработки; в пределах 500 – 1000 пСм/м обеспечивается безопасность при любых скоростях проведения технологических операций с УВТ. Добавлением различных веществ можно добиться повышения электрической проводимости до 1000 пСм/м [64].

Изыскания новых эффективных антистатических присадок широко развернулись, начиная с 1954 г. За истекшее время в различных странах, главным образом в США, было запатентовано более 100 соединений и композиций, обладающих антистатическими свойствами. Они могут быть разделены на следующие группы:

1. Металлсодержащие присадки, преимущественно комплексы хрома высших карбоновых (алифатических или алкилароматических) кислот.

2 Композиционные присадки, состоящие из двух и более компонентов, разработка которых основана на явлении синергизма антистатического действия при смешении комплексов хрома карбоновых кислот и кальциевой соли эфиров сульфодикарбоновых кислот.

3 Беззольные присадки, которые при сгорании не образуют отложений в камере двигателей и на лопатках турбин и представляющие собой в большинстве четвертичные аммониевые соединения.

4 Полимерные присадки на основе  $\alpha$ -олефинов с полярными мономерами (акрилонитрил, винилацетат, эфиры метакриловой кислоты и т. д.) и композициями на их основе.

Особенно интенсивно разработка антистатических присадок проводилась в конце пятидесятых и в шестидесятые годы, на которые приходится более 80% выданных патентов и авторских свидетельств, в основном на присадки первой и второй групп. В последние годы патентуются преимущественно беззольные и полимерные антистатические присадки.

Механизм действия антистатических присадок в основном зависит от механизма электрической проводимости и природы носителей заряда в средах с низкой диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon < 5$ ), к которым относятся дистиллятные нефтяные топлива и масла. Объемная электрическая проводимость в таких средах, содержащих различные присадки, может быть обусловлена различными механизмами [67]: ионным, характерным для электролитов и имеющим место при электролитической диссоциации молекул или ассоциатов молекул в растворе; фретическим, который наблюдается в коллоидных растворах присадок при концентрациях выше ККМ или содержащих дисперсную фазу; эстафетным электронным или дырочным, свойственным органическим полупроводникам; эстафетным протонным, обусловленным передачей протона по цепи водородных связей. В применении к металлсодержащим (ионогенным) антистатическим присадкам из перечисленных механизмов проводимости, вероятно, могут

рассматриваться ионный, фретический и электронный, так как протонный механизм присущ системам, содержащим легкоподвижные атомы водорода (спирты, кислоты, амины и им подобные продукты или их растворы).

Ионный и фретический механизмы проводимости различаются массой носителя заряда, т. е. количественно, но не качественно, так как носитель заряда имеет ионную природу.

В работах [68] механизм электрической проводимости самих УВТ с антистатическими присадками рассматривается с позиций электронной проводимости; в других работах [69] механизм электрической проводимости растворов антистатических присадок в УВТ рассматривается как ионный.

Одним из главных доказательств электронного механизма является невыполнение правила Вальдена – Писаржевского, характерного для ионного механизма проводимости [68]. Однако известно, что это правило выполняется в редких случаях для строго симметричных ионов и в растворах с бесконечным разведением [70], т. е. при условиях, реализация которых в работе [68] не учитывалась. Но даже при соблюдении этих условий выполнение правила Вальдена – Писаржевского для растворов антистатических присадок проблематично, учитывая сложный состав самих присадок и их растворов.

Более обоснованным представляется ионный механизм проводимости для растворов антистатических присадок в углеводородах, в пользу которого свидетельствует резкое повышение электрической проводимости растворов при изменении их агрегатного состояния. Загущение растворов полиизобутоном приводит к резкому падению их электрической проводимости, что может быть связано только со снижением подвижности объемных носителей заряда ионов, так как число носителей заряда при введении загустителя не изменилось [71]. Электронная проводимость осуществляется без переноса вещества и при прочих равных условиях не должна зависеть от вязкости [67].

Рассеивание электростатических зарядов при введении антистатических присадок, с позиций ионного механизма электрической проводимости и с учетом поверхностно-активных свойств антистатических присадок можно объяснить следующим образом. С одной стороны, диссоциация присадок на ионы приводит к сжатию двойного электрического слоя, уменьшению числа зарядов в его диффузной части и, следовательно, числа зарядов, переносимых потоком топлива. С другой, в результате адсорбции поверхностно-активных ионов на границе раздела фаз резко возрастает проводимость и диэлектрическая проницаемость тонких слоев жидкости, прилегающих к металлической поверхности, что приводит к быстрой утечке электростатических зарядов. Значительное повышение электрической проводимости (на 6 – 8 порядков) и диэлектрической проницаемости (в 2 – 3 раза) приграничных слоев растворов стеариновой кислоты и додецилового спирта в неполярных жидкостях было отмечено в работе [73]. Электролитическая диссоциация молекул антистатических присадок, вероятно, протекает через стадию образования предмицеллярных ассоциатов, когда заряд иона распространяется на ассоциат, что снижает потенциал ионизации [74]. Вместе с тем следует отметить, что механизм действия антистатических присадок до конца не изучен и представляется весьма дискуссионным.

### 3.5.1.2 Промышленные антистатические присадки

Несмотря на значительное число соединений и композиций, предложенных в качестве антистатических присадок к дистиллятным топливам, широко используются за рубежом присадки ASA-3, в нашей стране – присадки АСП-1 и Сигбол [68, 74].

Присадку ASA-3 используют для устранения статической электризации НП с середины 60-х годов. Она представляет собой трехкомпонентный 50 %-й раствор в ксилоле композиции, состоящей из смеси солей хрома моно- и диалкилсалициловых кислот.

Присадка ASA-3 является достаточно вязким продуктом, что затрудняет ее дозирование в топливо. Также к недостаткам данной присадки следует отнести сложный состав, многостадийный синтез всех компонентов, дефицитность исходного сырья и достаточно высокую стоимость. Кроме того, при использовании присадки ухудшается работа фильтров-сепараторов для отделения воды от УВТ.

Отечественная присадка Сигбол представляет собой 30-40 %-й раствор в ксилоле композиции солей хрома синтетических жирных кислот. Эффективность действия присадки незначительно уступает присадки ASA-3, но ее состав более прост, сырье для получения недифицитно, стоимость невысока. Она практически не влияет на работу фильтров-сепараторов и в меньшей степени, чем ASA-3, адсорбируется при фильтровании и перекачке топлива [75].

### 3.5.2 Нейтрализаторы СЭ

При необходимости увеличения производительности загрузки НП в емкостные объемные резервуары сверх допустимых по условиям обеспечения искробезопасности, применяют индукционные нейтрализаторы СЭ в жидкости. Принцип действия нейтрализатора следующий. Поступающая в нейтрализатор заряженная жидкость создает в его объеме электрическое поле. Наибольшей напряженности это поле достигает у поверхности заземленного центрального электрода, радиус которого выбирается из условий обеспечения необходимой механической прочности и может быть достаточно малым. Резкое увеличение проводимости жидкости в области около разрядного электрода обеспечивает стекание на него значительной части зарядов СЭ из объема жидкости, находящейся в нейтрализаторе.

Нейтрализатор с одним разрядным электродом может быть весьма эффективен для рассеяния зарядов СЭ в УВТ с малой входной плотностью. Причем чем меньше диаметр электрода, тем выше эффективность

нейтрализатора. Однако на практике использование одноэлектродного нейтрализатора является довольно затруднительным. Это связано со сложностью обеспечения достаточной механической прочности электрода в виде струны. Исходя из этого, чтобы повысить эффективность и надежность эксплуатации нейтрализатора СЭ, увеличивают число разрядных электродов. В данном случае обрыв одного из электродов не выводит из работы весь нейтрализатор.

Увеличение числа электродов сопровождается ростом эффективности работы нейтрализатора. Это позволяет увеличить диаметр электродов, в результате чего обеспечивается их большая механическая прочность.

С увеличением числа электродов уменьшается зависимость эффективности работы нейтрализатора от скорости прокачки жидкости через него. Таким образом, увеличение количества электродов повышает надежность и стабильность работы нейтрализатора.

### 3.5.3 Поддержание концентрации горючих сред вне пределов воспламенения (взрываемости)

Как у уже говорилось, существуют минимальные и максимальные концентрации горючих веществ в воздухе, называемые КПВ. Если концентрация горючего в воздухе меньше нижнего или большего верхнего предела — воспламенение смеси невозможно.

Кроме этого, для УВТ устанавливают и температурные границы взрываемости — те пределы температур, при которых смесь насыщенных паров жидкости с атмосферным воздухом в закрытом пространстве могут воспламениться на весь объем.

Для УВТ формирование пожаро- и взрывоопасных паровоздушных смесей напрямую зависит от температуры воспламенения ее паров.

УВТ с низким показателем температуры воспламенения, например бензин, при комнатной температуре в замкнутых объемах образуют паровоздушные смеси, концентрация паров в которых превышает ВКПВ.

Таким образом, гарантировать защищенность в технологическом процессе переработки и эксплуатации ЛВЖ и ГЖ возможно посредством подбора температурных границ.

#### 3.5.4 Уменьшение количества окислителя

Суть метода состоит в том, чтобы заместить долю кислорода воздуха в оборудовании, содержащем горючие газы, пары азотом, на долю углекислого газа либо иной инертной добавкой (флегматизатором). В результате этого, концентрация кислорода в объеме емкостного объемного резервуара снизится, и в конечном итоге способен настать такой период, когда его количества станет недостаточным для поддержания реакции горения.

По мере повышения доли инертной добавки в общем объеме область воспламенения сужается: ВКПВ снижается, а НКПВ увеличивается. В качестве флегматизатора на практике наиболее часто используют азот и углекислый газ. Но необходимо учитывать, что они могут оказаться безрезультатными при разбавлении.

#### 3.5.5 Применение разрядников

Всегда лучше по возможности вынести части оборудования, аккумулирующие статические заряды, из ВОЗ, чем полагаться на предотвращение электризации.

В некоторых случаях целесообразно устройство электрических разрядников.

Так, аппараты, в которых для интенсификации технологических процессов используется электрическое поле (электросепараторы), оборудуются металлическими изолированными поверхностями. При контакте твердых частиц с этими поверхностями, последние приобретают электрический заряд и образуют поля большой напряженности.

Электрическое поле, действуя на заряженные твердые частицы, улучшает эффект очистки или сепарирования.

Если в указанных технологических процессах применяются взрывоопасные материалы, то возникновение взрыва или пожара обусловлено возможностью появления искр в промежутке между изолированной частью аппарата и его заземленной стенкой.

Для предотвращения искровых разрядов параллельно этому промежутку подсоединяется разрядник. Если межэлектронное расстояние в разряднике меньше, чем расстояние между поверхностью, заряженной СЭ, и стенкой аппарата, то искровой пробой наступит в разряднике. При этом разрядник может быть вынесен за пределы ВОЗ или изолирован от ВС кожухом.

### 3.5.6 Нанесение электропроводных покрытий на диэлектрическое оборудование

Если на некоторой части диэлектрической поверхности возникает заряд, то соответствующая ему напряженность электрического поля достигает электрической прочности воздуха. При этих условиях возможно появление небольших кистевых или коронных разрядов, которые создают область проводимости в окрестности заряженного диэлектрика. Если процесс генерирования зарядов продолжается, то искра с этой уже «проводящей» поверхности может иметь достаточную энергию, чтобы воспламенить взрывоопасную паровоздушную смесь.

Электропроводящими покрытиями могут служить металлические пленки, которые наносятся на диэлектрические поверхности путем разбрызгивания, распыления или испарения металлов в вакууме. Они имеют сопротивление до нескольких Ом.

Однако иногда металлизация диэлектрических поверхностей неприемлема вследствие сложности конфигурации или большого размера

изделий. Для таких случаев разработаны электропроводные лакокрасочные (эмали).

Созданы электропроводящие эмали ХС-928, АК-562 и маслобензостойкая эмаль ХС-5132. Покрытия на основе данных эмалей обладают высокими физико-механическими свойствами, хорошей адгезией к диэлектрикам и устойчивостью к воздействию температур 60-100 °С, радиационного облучения и глубокого вакуума. Эмали наносятся кистью или пульверизатором в два слоя и отверждаются при комнатной температуре. При нанесении проводящего покрытия плотность заряда и потенциал уменьшаются вследствие неизбежных утечек заряда к заземленным полосам.

В процессе электризации трубопровода на внешней и внутренней поверхности труб формируются два слоя зарядов противоположного знака; максимальная плотность заряда определяется электрической прочностью материала трубопровода. В процессе формирования и разрушения этих электрических слоев могут иметь место искровые разряды с внешней стенки трубы на заземленные предметы, разряды при пробое диэлектрической стенки и поверхностные скользящие искровые разряды.

Для защиты от искровых разрядов с внешних стенок труб на заземленные предметы электропроводящие покрытия в виде спиральных полос наносят на внешнюю поверхность трубопроводов.

### 3.5.7 Отвод зарядов СЭ с персонала, обслуживающего технологический процесс

Человеческое тело – хороший проводник и легко отводит генерируемые на нем статические заряды на землю. Человек может заряжаться при хождении по полу, по площадке АЗС, при контакте с заряженной поверхностью технологического оборудования (например ТРК).

Особое внимание устранению электрического заряда с человека должно быть удалено при выполнении некоторых ручных операций (промывка, протирка) с применением бензина.

Чтобы предупредить формирование воспламеняющих разрядов с человека, нужно обеспечить быструю утечку зарядов. Для этого уменьшают сопротивление его обуви и полы. Поэтому на предприятиях НГО и конкретно на АЗС необходимо обеспечивать работающих электропроводящей обувью и предусматривать устройство электропроводящих полов.

Для этих целей разработана антистатическая легкая обувь с кожаным верхом. Обувь считается электропроводящей, если электрическое сопротивление между электродами в форме стельки, находящимся внутри обуви, и наружным электродом меньше  $10^7$  Ом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Представлен анализ действующих нормативных требований и путей решения проблемы исключения накопления зарядов СЭ, в качестве потенциального источника возникновения воспламенения ЛВЖ, хранящихся в АЦ и транспортируемых в емкостных объемных резервуарах жидких УВТ.

2 В диссертационных исследованиях отражены требования российских нормативных и законодательных документов, предъявляемых к системам обеспечения пожарной безопасности обращения с горючими взрывоопасными веществами, используемому технологическому оборудованию и производимым технологическим процессам транспортировки, хранения и заправки (слива-налива) УВТ. В частности рассмотрены требования действующих нормативных документов к системе защиты от СЭ, отраженные в ГОСТ 12.1.018-93 «Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования», ГОСТ 31613-2012 «Электростатическая искробезопасность. Общие технические требования и методы испытаний», НПБ 111-98\* «Нормы пожарной безопасности. Автозаправочные станции».

3 В результате проведенного исследования по вопросам пожарной опасности, связанной с генерированием СЭ на объектах НГО установлено, что разряды СЭ периодически являются причиной возникновения пожаров и взрывов в емкостных объемных резервуарах, заполненных НП, что свидетельствует о систематизации и необходимости углубленного анализа причин и источников генерирования физических процессов формирования

зарядов СЭ на такого типа технических объектах с реализуемыми технологическими процедурами их заправки (слива-налива) УВТ.

4 Проведен анализ типичных сценариев развития аварийной ситуации, связанной со взрывом и пожаром на АЗС, расположенной в городской черте. Рассмотрены сценарии развития аварийной ситуации. На иллюстрированных примерах показаны последствия воздействия поражающих факторов в результате пожара пролива топлива, образования огненного шара при взрыве АЦ с топливом в очаге пожара, взрывов ТВС на расположенное вблизи здание.

5 Рассмотрены актуальные вопросы обеспечения взрывопожаробезопасности АЗС с учетом как предъявляемых нормативных требований, так и сложившейся типичной проектно-эксплуатационной практики, включающие пути разрешения проблемы исключения генерирования и накопления статических электрических зарядов и последующего возникновения разрядов СЭ при реализациях технологических процессов хранения, заправки (слива-налива) легковоспламеняющихся углеводородных жидкостей и сжиженных углеводородных газов. Выполнен систематизированный анализ путей решения поставленной задачи реализацией разнообразных ОТМ. На их основе сформированы базовые направления усовершенствованного комплексного разрешения рассматриваемой проблемы, позволяющие, в конечном итоге, исключить возникновение техногенных катастроф.

6 Предложена альтернативная замена применяемого типичного базового УЗА на более совершенное, характеризующееся надежным и безопасным соединительным устройством для отвода зарядов СЭ при осуществлении технологических процедур заправки (слива-налива) УВТ. Предложенное инновационное техническое устройство обеспечивает взрывобезопасность работы с ЛВЖ (УВТ), предотвращает несанкционированное подключение объектов при заправочных (сливо-

наливных) технологических операциях. В это же время конструкция устройства проста в эксплуатации и ремонтпригодна.

7 На основе проведенных исследований и полученных результатов усовершенствованны и структурированы ОТМ, направленные на повышение пожарной безопасности технологических процедур заправки (слива-налива) УВТ в емкостные объемные резервуары. В качестве основных путей решения проблемы исключения накопления зарядов СЭ, рассматриваемых в качестве источника воспламенения ЛВЖ, хранящихся в АЦ и транспортируемых в емкостных объемных резервуарах жидких УВТ следует указать на строгое соблюдение требований:

7.1 ограничения допустимых предельных величин взрывоопасных паровоздушных смесей, выходящих из дыхательной арматуры АЦ, при процедурах слива топлива с АЦ ( $\leq 35 \text{ г/м}^3$  – для бензина);

7.2 использования закрытых технологий слива и налива ЛВЖ, оборудованных техническими устройствами улавливания и возврата (рекуперации) паров топлива из емкости АЗС а отсеки АЦ (вакуумной и балансовой систем газовозврата);

7.3 применения технических систем мониторингового контроля за выделением избыточного количества паров ЛВЖ и СГГ;

7.4 пространственной локализации ВОЗ, с учетом основных факторов, влияющих на класс и размеры ВОЗ, регламентированных ГОСТ Р МЭК 60079-10-1-2008;

7.5 учета основных технических параметров (физических характеристик) хранящихся и транспортируемых пожаровзрывоопасных веществ (топлив) в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60079-20-1-2011;

7.6 учета особенностей физико-химического взаимодействия остатков ЛВЖ различного типа смесей УВТ топлив в составе одной заполняемой резервуарной емкости АЦ (при их периодической смене);

7.7 использования в составе технологического оборудования АЗС (АЗК, АГЗС, ААЗС, ТЗЭ) технических устройств класса  $E_x$ -оборудования, предназначенного для эксплуатации во взрывоопасных средах;

7.8 использования надежного, эффективно функционирующего электрического заземления всех металлических частей, технологического оборудования АЗС (АЗК, АГЗС, ААЗС, ТЗЭ), предотвращающего накопления зарядов СЭ и, как следствие, исключающего возможное воспламенение паров УВТ;

7.9 соблюдения предельных значений переходных электрических сопротивлений  $r_n$  фланцевых соединений и шунтирующих перемычек ( $r_n \leq 10^6$  Ом), используемых в составе арматурных узлов технологического оборудования АЗС (АЗК, АГЗС, ААЗС, ТЗЭ);

7.10 применения механических или электрических типов технических устройств блокировки при проведении сливноналивных операций без подключенного электрозаземления транспортного средства и технологического оборудования АЗС (АЗК, АГЗС, ААЗС, ТЗЭ);

7.11 использования эффективных сертифицированных взрывобезопасных технических устройств заземления (УЗА) для АЦ, удовлетворяющих требованиям, предъявленным к категории  $E_x$ -оборудования, обеспечивающих непрерывный мониторинговый контроль наличия электрической цепи «заземляющее устройство – АЦ) и световой сигнализации о техническом состоянии данного участка электрической цепи (технические устройства УЗА серии 2МК04, 2МК05, 2МК06);

7.12 учета времени задержки воспламенения  $T$  заполняемой резервуарной емкости АЦ наэлектризованным УВТ, образуемой паровоздушной смеси ЛВЖ (уровня электропроводности  $\rho_v$ , постоянной времени релаксации  $\tau$ , коэффициента, учитывающего увеличение времени релаксации за счет образующегося поверхностного заряда УВТ);

7.13 дозированного применения эффективных антистатических присадок (0,001 ... 0,005% объема УВТ), не оказывающих негативного влияния на основные физико-химические свойства УВТ, уменьшающих их удельное электрическое сопротивление;

7.14 строгого соблюдения рекомендаций ИЕС TR 60079-32:2010 по безопасному выполнению технологических операций слива-наполнения объемных резервуарных емкостей (исключение падения и разбрызгивания перемещаемой струи топлива с высоты, опускания концевой участка сливного шланга до дна АЦ, ограничение скорости перемещаемого потока топлива при процедуре его слива и налива.

Разработаны усовершенствованные эффективные ОТМ, позволяющие обеспечить повышение пожарной безопасности технологических процессов заправки (слива-налива) УВТ в емкостные объемные резервуары, типа топливных резервуаров АЗС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Горина, Л.Н. Государственная итоговая аттестация магистра по направлению подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность» [Текст] - Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. – 267 с.
- 2 Егоров, А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие [Текст] / А.Г. Егоров, В.Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова, Тольятти, 2012, - 135с.
- 3 НПБ 111-98\*. Нормы пожарной безопасности. Автозаправочные станции. – М.: Министерство внутренних дел Российской Федерации, 2002. – 82 с.
- 4 Свод правил «Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности». – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2014. – 69 с.
- 5 Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ // Гарант:

информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2016. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12161584/>

6 О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс]: федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ: (в ред. от 13 июня 2015 г.) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2016. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/11900785/>

7 ПБ 12-609-03 Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные газы. Серия 12. Выпуск 6. – 2-е изд., доп. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2006. – 100с.

8 ПБ 03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Серия 03. Выпуск 24. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности Госгортехнадзора России», 2004. – 192 с.

9 ПБ 12-527-03 Правила безопасности для автозаправочных станций сжиженного углеводородного газа. Серия 12. Вып.5. М.: ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. - 96с.

10 Сычев, Н.Г. Технология обслуживания и эксплуатации автотранспорта [Электронный ресурс] / В.М. Круглик, Н.Г. Сычев // Учебное пособие Мн.: ИПД, 2011. – 150 с. – Режим доступа: <http://lib.convdocs.org/docs/index217210.html>.

11 Кобылкин Н. И., Гельфанд Б. Е. Безопасный слив/налив - это возможно? // Современная АЗС. – 2010. - № 1(94).

12 ГОСТ 17032-2010 Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение. — Эл. Дан. — М., 2016. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/70190332/>

13 Брушлинский, Н.Н. Основы теории пожарных рисков и ее приложения [Текст]: монография / Н.Н. Брушлинский и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 192 с.

14 О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс]: федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 68-ФЗ: (в ред. от 15 фев. 2016 г.) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. — Электрон. Дан. — М., 2016. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/10107960/>

15 Бондарь, В.А. Операции с нефтепродуктами. Автозаправоч. станции [Текст] / В.А. Бондарь, Е.И. Зоря, Д.В. Цагарели; Под ред. Цагарели Д.В. – М.: Паритет Граф, 2000. – 343 с.

16 Цагарели, Д.В. Технологическое оборудование автозаправочных станций (комплексов). Автозаправочные станции [Текст] / Д.В. Цагарели, В.А. Бондарь, Е.И. Зоря. – М.: Паритет Граф, 2000. – 400 с.

17 Бондарь, В.А. Автозаправочные станции в вопросах и ответах [Текст]: справочник / В.А. Бондарь – М.: ИД Калан, 2004. – 264 с.

18 О пожарной безопасности [Электронный ресурс] : федер. закон от 21 дек. 1994г. № 69 – ФЗ: (в ред. от 30 дек. 2015 г.) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2016. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/10103955/>

19 О техническом регулировании [Электронный ресурс]: федер. закон от 27 дек. 2002 г. № 184-ФЗ: (в ред. от 28 ноября 2015 г.) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. — Электрон. Дан. — М., 2016. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12129354/>

20 ГОСТ Р 12.3.047.98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение. — Электрон. Дан. — М., 2016. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/3923968/>

21 ГОСТ 17032-2010 Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение. — Эл. Дан. — М., 2016. — Режим доступа: <http://base.garant.ru/70190332/>

22 ГОСТ 31613-2012. Электростатическая искробезопасность. Общие технические требования и методы испытания [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. — Эл. Дан. — М., 2016. — Режим доступа: <http://base.garant.ru/70670182/>

23 ГОСТ Р 52630-2006. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. — Эл. Дан. — М., 2016. — Режим доступа: <http://base.garant.ru/12173658/>

24 ГОСТ Р 52857.12-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. — Эл. Дан. — М., 2016. — Режим доступа: <http://base.garant.ru/70182848/>

25 Правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности [Электронный ресурс]: правила (утв. Мин. хим. пром. и Мин. нефтеперераб. и нефтехим. пром. СССР, 31.01.1972) // Гарант: инф.-прав. об-ние. — Эл. Дан. — М., 2016. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003840>

26 Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы [Текст] / Б.С. Рачевский. - М: Нефть и Газ, 2009. – 640 с.

27 Pasi M. Nieminen Environmental Protection Standards at Petrol Stations: A Comparative Study Between Finland and Selected European Countries. Tampere University of Technology, 2005. – 164 p.

28 Матвеев Ю.А., Кузнецов В.А., Мулгачев Ю.А., Бутузов А.А. Система улавливания паров нефтепродуктов из автомобильных цистерн и

резервуаров [Текст] // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2012. - №4. – С.60-64.

29 Техничко-эксплуатационная документация на технологическую систему «Спецтехногаз» для автомобильных газозаправочных станций, выполненной как самостоятельный участок многотопливной АЗС, сезонного пункта наполнения бытовых баллонов, 2006. – 165 с.

30 Техничко-эксплуатационная документация на технологическую систему ЗАО «Завод «Джи Ти Сэвэн» для автомобильных газозаправочных станций, участок СУГ многотопливных АЗС, сезонных пунктов наполнения бытовых баллонов, 2007. – 130 с.

31 Техничко-эксплуатационная документация на технологические системы «Гамард», 2005. – 150 с.

32 ТЭД 40-52-05 Техничко-эксплуатационная документация на технологические системы производства фирмы «FAS» для автомобильных газозаправочных станций, многотопливных автозаправочных станций, пунктов наполнения бытовых баллонов, 2005. – 188 с.

33 Техничко-эксплуатационная документация на технологические системы производства «Еврогалс» для автомобильных газозаправочных станций, участков СУГ многотопливных автозаправочных станций, сезонных пунктов наполнения бытовых баллонов, 2008. – 118 с.

34 Кузеев И.Р., Рашитов Р.Ф., Тляшева Р.Р., Моделирование последствий взрывного превращения топливовоздушных смесей [Текст] // Нефтегазовое дело. - 2008. - №1. - С. 219-224.

35 Вольнов Ю.Н. Пособие по проектированию, строительству и эксплуатации АГЗС [Текст] / Ю.Н. Вольнов, Н.Н. Морозова, М.С. Недлин и др. - Саратов: Сателлит, 2004. – 200 с.

36 Кузеев И.Р. Повышение взрывоустойчивости зданий и сооружений ева [Электронный ресурс] / Р.Ф. Рашитов, И.Р. Кузеев, Р.Р. Тляш.

Нефтегазовое дело. – 2008. – Режим доступа:  
[http://www.ogbus.ru/authors/Rashitov/Rashitov\\_2.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Rashitov/Rashitov_2.pdf).

37 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта». Серия 03. Выпуск 73. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. – 6 с.

38 ГОСТ 9931-85. Корпусы цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/8/8398/>

39 Захарченко, В.В. Электризация жидкостей и ее предотвращение [Текст] / В.В. Захарченко, Н.И. Крячко, Е.Ф. Можара и др. – М.: Химия, 1975.

40 Currutters J.A., Wigley K.J. The estimation of electrostatic potentials, fields and energies in a rectangular metal tank, containing charged fuel // J.Inst. Petr/ 1962. Vol. 48. № 462.

41 Допустимые режимы закачки топлива в топливозаправщики и критерии оценки опасности / Б.К. Максимов, А.А. Обух, А.А. Навацкий и др. // Тр. ГПИиНИИ «Аэропроект». Вып. 19. М.: ОНТИ НПИиНИИ «Аэропроект», 1975. С. 96-104

42 Исследование разрядов СЭ в ходе заполнения топливозаправщика наэлектризованным топливом М.Л. Ивенко, Б.К. Максимов, А.А. Навацкий и др. // Тр. МЭИ. Вып. 292. 1976. С. 98-100.

43 Radgowski E., Albrecht R. Investigation of electrostatic discharge aircraft fuel tanks during refuelling // AJAA Aircraft Systems and Technology Conference Los Angeles, Calif, 1978. P. 1-8.

44 Dukek W.G., Ferraro J.M., Taylor W.E. Static electricity hazard in aircraft fuel systems // Techn. report. AFAP1 – TR – 78 – 56, Exxon Research and Engineering Company. Linden. New Jersey. 1978/

45 Назаров, В.П. Статистический анализ пожаров на объектах с обращением нефтепродуктов [Электронный ресурс] / Е.В. Ширяев, В.П. Назаров, А.В. Майзлиш // Технологии техносферной безопасности – 2014. – № 3. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

46 Комаров, А. А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения : дис. д-ра техн. наук. – М.: МГСУ, 2001. 460 с.

47 ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. - Введ. 01.01.2000 г. - М.: Изд-во стандартов, 1998. - 85 С.

48 СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 182; введ. 01.05.2009 г. - М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

49 Мишуев, А. В., Хуснутдинов Д. З. Методика расчета нагрузок на здания и сооружения при воздействии внешних аварийных дефлаграционных взрывов. – М.: МГСУ, 2004.

50 РД 03-409-0 1. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (с изм. и доп.) : постановление Госгортехнадзора РФ от 26.06.2001 г. № 25; введ. 26.06.2001 г. // Сборник документов Госгортехнадзора России, сер. 27, вып. 2. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. - 224 с.

51 Волков О. М., Назаров В. П. Безопасность АЗС // Пожарное дело. - 1985. - № 6.

52 ГОСТ Р МЭК 60079-10-1-2008. Взрывоопасные среды. Часть 10-1 : Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды. – Введ. 01 .07.2010 г. - М.: Стандартиформ, 2009.

53 ГОСТ Р МЭК 60079-20-1-2011 . Взрывоопасные среды. Часть 20-1 : Характеристики веществ для классификации газа и пара. Методы

испытаний и данные. – Введ. 01.07.2012 г. URL : <http://www.protectgost.ru/document.aspx>.

54 ГОСТ Р МЭК 60079-0-2011. Взрывоопасные среды. Часть 0: Оборудование. Общие требования. Введ. 01.07.2012г. – М. : Стандартинформ, 2012.

55 ГОСТ Р МЭК 60079-14-2008. Взрывоопасные среды. Часть 14: Проектирование, выбор и монтаж электроустановок : постановление Ростехрегулирования от 15.12.2008 г. № 396-ст. – Введ. 01.07.2010г. – М. : Стандартинформ, 2009.

56 IEC TR 60079-32:2010. Explosive atmospheres - Part 32: Electrostatics (Взрывоопасные среды. Ч. 32: Электростатика), 2010.

57 Правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности [Электронный ресурс]: правила (утв. Мин. хим. пром. и Мин. нефтеперераб. и нефтехим. пром. СССР, 31.01.1972) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/70756408/>

58 РД 112-РСФСР-015-89. Основные требования к антикоррозийной защите объектов проектируемых и реконструируемых предприятий нефтепродуктообеспечения [Электронный ресурс]: руководящий документ (М: СКВ ТНА 1989) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. — Электрон. Дан. — М., 2016. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294846/4294846559.html>

59 ГОСТ Р 52274-2004. Электростатическая искробезопасность. Общие технические требования и методы испытания. - Введ. 01.01.2006 г. - М. : ИПК Изд-во стандартов, 2005.

60 Соединительное устройство для отвода зарядов статического электричества с диэлектрических материалов : пат. М 884175 [Электронный ресурс]: авторское свидетельство / Режим доступа: <http://patents.su/884175.html>

61 Соединительное устройство для отвода зарядов статического электричества с диэлектрических материалов : пат. 2160977 [Электронный ресурс]: авторское свидетельство / Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2160977>

62 Соединительное устройство для отвода зарядов статического электричества с диэлектрических материалов : пат. 2160977 [Электронный ресурс]: авторское свидетельство / Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2205524>

63 Klinkenberg A. van der Minne J.L. Electrostatics in the Petroleum Industry. New York, Amsterdam, London: Interscience Publishers, 1988, 306 p.

64 Статическое электричество в химической промышленности / Под ред. Б. И. Сажина. Л.: Химия, 1977, 240 с.

65 Захарченко, С. Л., Крячко Н.И., Мажара Е. Ф. и др. Электрризация жидкостей и ее предотвращение. М.: Химия, 1985. 128 с.

66 Бронштейн, Л. Л. Химия и технология топлив и масел. 1979. № 5. С. 36 – 40.

67 Белоусов, А.И. Химия и технология топлив и масел. 1985. № 10. С. 26 – 28; 1983. № 11. С. 26 – 28; 1985. № 7. 35 – 38

68 Алтунина, Л. К. Антистатические присадки к реактивным топливам. Препринт № 5. Томск, Томский филиал АН СССР. 1983. 27 с.

69 Вишнякова, Т.П. Химия и технология топлив и масел. 1980. № 7. С. 23 – 24. М.: Химия, 1976. 488 с.

70 Электрические свойства полимеров / Под ред. Б. И. Сажина. Л.: Химия, 1986. 224 с.

71 Григоров, О.Н. Электрокинетические явления. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. 199 с.

72 Крылов, И. Ф. Передовой опыт в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Н.-техн. сб. ЦНИИТЭ-нефтехим. М.: 1986. № 6. С. 23 – 27.

73 Бушуева, Е.М. Химия и технология топлив и масел. 1977. № 4. С.  
30 – 32.