

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Управление промышленной и экологической безопасностью»
(наименование кафедры)

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

Управление пожарной безопасностью
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Исследование и разработка эффективных методов обеспечения безопасной эксплуатации факельных систем (на примере ПАО "Тольяттиазот")

Студент	<u>К.А. Ахмедова</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Научный руководитель	<u>Т.В. Семистенова</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	<u>В.Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Заведующий кафедрой д.п.н., профессор Л.Н.Горина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.п.н., профессор Л.Н.Горина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	3
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Теоретические основы обеспечения безопасности при эксплуатации факельных систем.....	9
1.1 Понятие факельных систем. Основы классификации и конструкция основных элементов системы.....	9
1.2 Обзор научных исследований в области факельных систем.....	20
2 Методы обеспечения безопасной эксплуатации.....	23
2.1 Особенности процесса обеспечения безопасной эксплуатации	23
2.2 Аварии на факельных установках.....	38
2.3 Изучение методов обеспечения безопасности.....	47
2.3.1. Основные задачи обеспечения безопасной эксплуатации.....	47
2.3.2. Инертные газы.....	48
2.3.3. Процесс продувки факельных туб.....	50
2.3.4. Применение огнепреградителей на факельных линиях	52
2.3.5. Применение водяных предохранительных затворов и газозатворов.....	54
2.3.6. Приборы контроля наличия факела.....	55
2.3.7. Системы подавления взрыва.....	65
2.3.8. Применение лабиринтных уплотнителей.....	68
3 Внедрение метода обеспечения безопасной эксплуатации с использованием струйного затвора на примере ПАО «Тольяттиазот».....	72
3.1 Анализ факельной системы ПАО «Тольяттиазот».....	72
3.2 Применение факельного оголовка со струйным затвором с целью улучшения безопасной эксплуатации.....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	86

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- 1 Безопасность - свобода от неприемлемого риска нанесения вреда.
- 2 Факельная система – это система, включающая в свой состав факельные установки, которые осуществляют сброс и последующее сжигание горючих газов и паров.
- 3 Факельная установка – установка направленная на сжигание горючих газов и паров.
- 4 Э.д.с. пламени – Электродвижущая сила пламени.
- 5 Дежурная горелка - это горелка, которая горит постоянно во время работы прибора независимо от главной (основной) горелки.
- 6 Безопасная эксплуатация – требования и правила при разработке и реализации рабочего процесса.
- 7 Идентификация опасности – процесс оценки рисков и опасностей и определения их характеристик.
- 8 Опасность – источник или ситуация, которые способны спровоцировать нанесение ущерба здоровью человека, их собственности, окружающей среде.
- 9 Смесь газов – совокупность нескольких видов газов, которые при заданных условиях не взаимодействуют друг с другом.
- 10 Ствол факела – это основная, несущая конструкция, в неё состав, как правило, входят такие конструктивные элементы как лестницы и площадки для обслуживания. Ствол соединен с трубопроводами, которые осуществляют сбор газов факела.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- 1 ФУ – факельная становка;
- 2 ФС – факельная система;
- 3 ОТ – охрана труда;
- 4 ПБ – промышленная безопасность;
- 5 ПЗ – профессиональное заболевание;
- 6 ПОЗ – производственно обусловленное заболевание;
- 7 СОУТ – специальная оценка условий труда;
- 8 СИЗ – средства индивидуальной защиты;
- 9 Э.д.с. – элеткродвижущая сила;
- 10 ГОСТ – государственный стандарт;
- 11 ОС – окружающая среда;
- 12 ОПО – опасный производствнный объект;
- 13 ФДЧ – фоторезисторный фотодатчик;
- 14 УФД – ультрафиолетовый датчик;
- 15 ПДК – предельно допустимая концентрация.

ВВЕДЕНИЕ

Технический прогресс влечет за собой увеличение доли сырьевых ресурсов, которые вовлекаются в промышленное производство, что приводит к растущему количеству выбросов токсичных, вредных взрывоопасных веществ в атмосферу. Химическое производство использует и перерабатывает большое количество токсичных, взрывоопасных и горючих веществ. Происходит загрязнение окружающей среды веществами, которые преобразуются в относительно экологически безопасные продукты. Предотвратить это позволяет использование факельных установок, на которых происходит сжигание сбросных газов. Они активно применяются на многих промышленных предприятиях, в том числе на нефтехимических, химических и нефтяных.

Эксплуатация факельных установок направлена на решение следующей задачи:

«Основная задача факельных установок – природоохранная. Они предназначены для обезвреживания путем сжигания горючих (взрывоопасных) газов (паров), поступление которых в атмосферу может привести, прежде всего, к взрыву и пожару, а также к вредному воздействию на человека». [30]

На данный момент в разных отраслях промышленности активно применяются факельные системы и установки различных конструкций и модификаций в зависимости от технологических процессов.

При разработке новых видов ФУ решают следующие задачи:

- обеспечение максимально возможного объема сжигания газов сброса;
- устойчивая работа факела, во время изменений расходов и характеристик составов газа сброса;
- снижения опасности влияния сильных порывов ветра на горение;
- средства розжига и их улучшение;
- средства сигнализации и индикации, позволяющие контролировать пламя дежурных горелок;

– предотвращение возможности попадания взрывоопасных смесей обратно в факельную систему.

Существуют основные направления работы по улучшению и развитию ФС, они заключены в исследовании старых и разработке новых методов обеспечения безопасной работы. Методы включают в себя технические и конструктивные решения: датчики, производящие индикацию наличия пламени на дежурных горелках, специальные средства и методы розжига, устройства защиты от сильных порывов ветра, устройства защиты воздействия огня факела. Так же разрабатываются методы численного решения выше описанных задач, которые так же позволяют снизить ресурсы и время, которые затрачиваются на проведение исследований на промышленных образцах.

Решению данных задач и методов и будет посвящена данная работа. Объектами исследования взяты ФУ и способы их безопасной эксплуатации, рассмотрены методы обеспечения безопасности с использованием таких конструктивных составляющих, как лабиринтные уплотнители, струйные затворы огнепреградители, водяные затворы и приборы контроля наличия факела.

Актуальность данной темы заключается в важности обеспечения безопасной эксплуатации ФС на объектах, занимающихся добычей, получением, перерабатыванием, использованием, образованием, транспортированием, хранением и уничтожением взрывоопасных, горючих веществ.

Факельные установки - это технологическое оборудование повышенной опасности. Это связано с высоким риском возникновения опасных аварийных ситуаций. Смеси из горючего газа и воздуха, которые образуются в системе, приводят к риску [18] взрыва. Если к образованной смеси, в определенной концентрации, добавляют инертный газ, она теряет горючие свойства. Необходимая концентрация зависит от типа газа и его состава, и варьируется от 50 до 75 %.

Процесс образования выше описанной смеси активируется, как правило, при проникновении кислорода в внутрь установки. Данное явление может наблюдаться, в случае, если при возникающих сильных порывах ветра, скорость потока остается небольшой. Воздух в установку, как правило, проникает через срез трубы, либо негерметичности оборудования.

Цель исследования – Разработка и внедрение метода обеспечения безопасной эксплуатации факельной системы на примере ПАО «Тольяттиазот», путем проведения исследований и изучений основных задач в области обеспечения безопасности факельных установок и методов их решения.

Задачи исследования:

1. Комплексно изучить понятие факельная система и разобрать основные конструктивные особенности, обеспечивающие безопасную эксплуатацию.
2. Изучить научные исследования в области факельных систем.
3. Изучить особенности процесса обеспечения безопасной эксплуатации.
4. Изучить опыт аварийных ситуаций на факельных системах, оценить риски и основные направления исследований.
5. Внедрить техническое решение через проведения анализа факельной установки ПАО «Тольяттиазот».

Предметом исследования являются факельные системы и их эксплуатация.

Научная новизна исследования полученных результатов заключается в том, что на основе изучения методов обеспечения безопасной эксплуатации и оценке возможных рисков возникновения аварийных ситуаций разработан метод обеспечения безопасности, позволяющий снизить эти риски.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы состоит в том, что с помощью внедрения метода обеспечения безопасной эксплуатации с использованием сруйного затвора повышается безопасность функционирования факельного оголовка и всей системы в целом.

Предложенный альтернативный метод:

- позволит сократить риски возникновения аварийных ситуаций;
- увеличит срок службы факельной установки, снизит уровень теплового излучения;
- снизит расход затворного газа для предотвращения внутреннего горения.

Результаты работы могут быть применены для модернизации как факельных систем в целом, так и при изменении отдельных конструктивных особенностей.

1 Теоретические основы обеспечения безопасности при эксплуатации факельных систем

1.1 Понятие факельных систем. Основы классификации и конструкция основных элементов системы

Факельные системы предназначены для безопасного сжигания сбросных газов.

Сбросные горючие газы подразделяются:

- постоянные;
- периодические;
- аварийные.

По назначению ФС могут быть:

- общие;
- отдельные;
- специальные.

Общие ФС эксплуатируют на объектах производства, где есть необходимость осуществления сбросов горючих газов с технологических установок данного предприятия.

Отдельные ФС эксплуатируют в данных случаях:

- Если объектовая общая ФС не удовлетворяет нормам технического регламента, по полноте сжигания;
- Если давление, которое возникает внутри объектовой общей ФС установки, не допускает возможности сброса в неё горючих паров и газов.

Специальные ФС эксплуатируют, когда свойства газов в общей ФС оказываются несовместимыми с направляемыми сбросными газами:

- полимеризующиеся и смолистые продукты, из-за которых происходит снижение пропускной способности;
- вещества, которые могут разлагаться и при данном процессе выделяют теплоту;

- продукты, способные вступать в реакцию с другими веществами, направляемыми в факельную систему;
- механические примеси;
- агрессивные и высокотоксичные вещества;
- другие вещества со свойствами, которые являются несовместимыми со сбросами в общую факельную систему факельных систем.

ФС по рабочему давлению в источнике:

- низкого давления — они осуществляют прием выбросов из аппаратов, которые работают под давлением менее 0,3 МПа;
- высокого давления — они осуществляют прием выбросов из аппаратов, которые работают под давлением более 0,3 МПа.

По своей конструкции ФУ подразделяются на:

- горизонтальные;
- вертикальные (высотные);
- закрытые (наземные);
- упрощенные.

Упрощенные ФУ эксплуатируют во время работ по ремонту, без остановки процесса сброса газов. Данный метод применяют, только если сохраняется безопасность эксплуатации и сбросов газов.

Далее приведем классификацию факельных установок по нескольким параметрам.

По области установки горелок, ФУ подразделяют:

- высотные;
- наземные.

Высотные:

- средние, высота от 4 до 25 м;
- высокие, высота от 25 м.

По методу смешивания газа с воздухом ФС подразделяют на следующие виды:

– Тип Бунзен предполагает процесс смешивания воздуха и газа, при котором в горелку заранее направлялась горючая смесь. В данном типе само горение будет зависеть от скорости с которой будут проходить химические реакции.

– Тип диффузионных предполагает, что процесс смешивания будет происходить во фронте пламени. В данном типе эффективность горения будет зависеть от скорости, с которой будут смешиваться воздух и горючий газ.

По максимальному давлению сжигаемых газов ФУ разделяют на:

– работа с низким давлением, когда при сжигании газа избыточное давление достигает 0,2 МПа и более;

– работа с высоким давлением, когда при сжигании газа избыточное давление не достигает 0,2 МПа;

– локальные аварийные - для обслуживания установок, которые работают под низким давлением, и исключают прием газов в газгольдер, а также для сжигания сбрасываемых агрессивных газов.

При эксплуатации ФУ образуются смеси:

«Смесь веществ – это смесь, состоящая из двух или более химических веществ, не вступающих в химическую реакцию друг с другом, или раствор».

[13]

Сбрасываемые газы имеют характеристики:

- температура;
- молекулярная масса;
- содержание воды;
- давление.

Для эффективного сжигания под соответствующие характеристики сбрасываемого газа, необходимо применять определенный тип факела.

Основные виды:

– сухая ФУ – предназначена для сжигания сухого пара углеводорода с параметром массы не превышающей 45 г/моль и параметром температуры не превышающему 0 °С;

– мокрая ФУ – предназначена для сжигания горячего газа, который в своем составе содержит водяные пары, а так же тяжелые углеводороды.

По времени действия различают:

- постоянные;
- периодические (отдельные периоды могут составлять несколько суток).

Современные установки включают:

- ствол факела (ствол, обслуживающие площадки, лестницы, подводящие трубопроводы и др.);
- факельный оголовок;
- ветрозащитное устройство;
- дежурные горелки;
- система розжига;
- средства контроля, индикации и сигнализации пламени дежурных горелок;
- факельные трубопроводы; которые предотвращают обратный поток;
- средства, которые предотвращают попадание взрывоопасной смеси обратно в трубу (газовые затворы).

Факельный оголовок осуществляет сжигание газов, которые поступают на сброс. Он снабжается дежурными горелками, которые должны постоянно гореть согласно «Правилам устройства безопасной эксплуатации факельных систем», и системами розжига. Могут быть установлены устройства для бездымного сжигания, устройства, которые стабилизируют процесс горения, огнепреградители, которые устраняют возможность возврата взрывоопасной смеси в факельную систему.

Для того чтобы повысить эффективность полноты сжигания газа применяют метод дополнительного введения воды и пара в зону пламени, которые не должны вызывать погасания. Возможно возникновение ситуации, когда скорость, с которой происходит перемещение газов сброса окажется

меньше, чем скорость воздействующего ветра. В этом случае необходимо дополнительно укомплектовывать факельную систему ветрозащитными устройствами, снижающими воздействие сильных порывов ветра на стабильное горение и предотвращающими возможность срыва пламени ветром.

Ствол факела – это основная, несущая конструкция, в неё состав, как правило, входят такие конструктивные элементы как лестницы и площадки для обслуживания. Ствол соединен с трубопроводами, которые осуществляют сбор газов факела.

К трубопроводам ФС есть требования по безопасной эксплуатации. Одним из основных является минимальное количество поворотов и изгибов трубопровода. Так же возможна установка сепараторов и гидрозатворов на линии трубопроводов ФС, если срабатываемые газы содержат капли жидкости. Поскольку, если дежурная горелка, верно, отрегулирована пламя практически невидимо в светлое время суток, ФС содержат дополнительные устройства контроля, сигнализации и индикации пламени дежурных горелок.

Исходя из основных, главных и приоритетных направлений по повышению безопасной эксплуатации ФС, которые включают повышение безопасности работы дежурных горелок, повышение защиты от ветряного воздействия, повышение эффективности розжига и средств розжига, осуществление эффективного контроля над наличием пламени на горелках. Рассмотрим основы конструкции основных элементов факельных оголовков.

В мировой практике, связанной с повышением безопасности эксплуатации ФС, наблюдается высокая активность по исследованиям и разработкам новых конструкций и модификаций факельных оголовков. Эта деятельность направлена на повышение стабильности горения и уменьшения возможного влияния внешнего ветрового воздействия, а так же на повышение полноты сгорания газов сброса и на устранение риска проникновения воздуха внутрь ФС. Данные методы служат для достижения цели, которой является безопасная эксплуатация. И идут по пути обеспечения устойчивого, стабильного горения факела системы.

Факельный оголовок состоит из трубы факельного оголовка, экрана ветрозащиты и газового затвора, который устраняет возможность попадания взрывоопасной смеси в факельную систему, и дежурных горелок, горение которых должно быть постоянным.

В основном предпочтение отдают факелам смешанного или диффузионного типа, в которых происходит подмешивание к горючему газу незначительная часть воздуха, еще до выхода в атмосферу и сжигания.

При эксплуатации ФС одним из основных рисков, является вероятность проскока горючей смеси обратно в трубу системы. Данное явление может наблюдаться, когда эксплуатация происходит с поддержанием режима готовности работы. При данной ситуации продувочный газ направляется в трубы в минимально возможных нормах.

С применением продувочного газа в пределах минимальных норм, будет происходить уменьшение скорости газа в трубе ФС. При данном раскладе, вес атмосферного воздуха окажется достаточным, для возникновения риска опускания его в трубу системы. Далее начнется процесс образования взрывоопасной смеси. Для устранения описанного выше риска применяют метод, при котором поперечное сечение верха оголовка сужают. Данная мера становится эффективным препятствием для проникновения кислорода внутрь трубы ФС.

Рассмотрим основные типы газовых затворов, которые занимаются решением данного вопроса:

- газовые затворы;
- диафрагменные газовые затворы;
- многосопловые газовые затворы.

Во время ветрового воздействия на эксплуатацию возникает процесс, при котором ветер обтекает трубу цилиндрической формы. Создается разность давлений с наветренной и подветренной стороны. Для снижения силы такого воздействия применяют ветрозащитные экраны.

Во время сжигания минимальных объемов сбросного газа возникает процесс засасывание неактивной струи газа сброса в зону с сниженным давлением, данное явление приводит к срыву работы факела пламени установки, а так же оно влечет попадание несгоревших опасных токсичных веществ а окружающую среду. Так же может происходить горение газа в области верхнего среза. В это же время может происходить задувание воздуха и горение внутри трубы, на участке возле среза трубы. Таким образом, на участке верхнего среза трубы на её стенки воздействует пламя как снаружи, так и изнутри, без процесса теплоотвода. Результатом этого является постепенное выгорание и разрушение оголовка факельной трубы, или же скопление несгоревших токсичных и пожаровзрывоопасных и токсичных газов в приземной области.

Для того чтобы устранить риск опасности при эксплуатации от влияния пламени, или при работе с небольшими скоростями сброса, а так же при ветровом воздействии могут применяться ветрозащитные устройства.

При создании и разработке новых ветрозащитных экранов решают следующие задачи:

- во-первых, занимаются повышением эффективности снижения рисков по ветровому воздействию на эксплуатацию, которое влечет за собой такие последствия, как нестабильность работы и срыв пламени факела;
- во-вторых, решают задачу, связанную с снижением воздействия на оголовки горения факела, которое влечет за сокращение допустимого срока службы;
- в-третьих, снижение веса и габаритов ветрозащитного устройства.

Так же важными требованиями являются доступность изготовления, простота технологии, невысокая материалоемкость. Зачастую, если изготовление влечёт за собой большие трудности, от применения ветрозащитного экрана отказываются, несмотря на его положительные качества.

В результате описанных выше исследований и данных, эффективность и необходимость применения ветрозащитных устройств становится очевидной. Так же, исходя из описанного выше, исследования и конструктивные разработки являются важным направлением в обеспечении безопасной эксплуатации ФС.

В зависимости от силы воздействия на проходное сечение, от скорости с которой протекает газ, от турбулизации газа при прохождении, различают несколько типов ветрозащитных устройств:

- Ветрозащитные устройства, которые не воздействуют на параметры поступающего газа, обычно, данные устройства установлены в наружной зоне трубы оголовка ФС. Данный тип обеспечивает только безопасность в зоне бокового ветрового воздействия.

- Устройства, которые воздействуют на газы сброса и их параметры. Данные устройства позволяют менять выходное сечение оголовка, а так не меняют режимные процесс истечения сбросных газов.

Рассмотрим методы работы представленных выше типов устройств по защите от порывов ветра.

Устройства ветрозащиты, которые не воздействуют на параметры поступающего газа, подразделяют:

- устройства с конструкцией усеченного конуса, размещенного в зоне верхнего среза;
- устройства ветрозащиты дискового типа;
- диодные экраны;
- смешанные.

Факельные системы, существующие на данное время, как в Российской Федерации, так и за её пределами, имеют большое разнообразие технических решений по конструкции факельных оголовков и устройств, которые позволяют устранить попадание воздуха из атмосферы внутрь факельной системы и устранить срыв пламени боковым ветром, используя различные ветрозащитные экраны, и увеличить стабильность горения.

Рассмотрим конструктивные решения методов, направленных на осуществления эффективного горения. Самыми важными элементами, которые обеспечивают надежность и безопасность эксплуатации факельных систем, являются источники воспламенения и средства, обеспечивающие эффективный мониторинг над пламенем. Иногда важность работы этих элементов могут опускаться из виду, но время от времени они могут напоминать о себе функциональным отказом [19]. Важно, что именно от надежной стабильной работы этих элементов зависит как произойдет, поджѳг сбрасываемых газов во время аварийных ситуаций и будет ли вовремя установлен факт погасания пламени на дежурных горелках и примут ли вовремя меры по следующему розжигу дежурных горелок.

На данный момент широкое применение находят данные основные методы розжига дежурных горелок и ФС в целом:

- метод применения электродов;
- бегущий огонь.

При использовании метода розжига с помощью электродов возникает немало трудностей с обеспечением обслуживания и надежности. Электроды с проводами, которые проводя электричество, устанавливаются на уровень верхнего среза в специальном защитном стакане. Электроды, находящиеся под воздействием высоких температур, подвергаются коррозионному воздействию. Этот факт приводит к частому выходу из строя и отказам подобных устройств розжига и невозможности дальнейшего воспламенения сбросных газов в необходимый момент.

Для дальнейшей необходимой замены конструктивных частей работа факела системы будет прекращена, а значит и вся система не сможет эксплуатироваться.

При применении метода розжига «бегущий огонь» в трубу ФС подается сбросной газ, в трубопроводы системы подаются горючая и запальная смеси. Часть сбросного газа отводят с линии сброса и переводят на линию горючей и запальной смеси, в которой газ уже предварительно смешивался с воздухом. В

линии запальной смеси устанавливается система розжига, которая осуществляет поджог горючей смеси. Пламя «бежит» через трубопровод к ФС, в которой в дальнейшем осуществляется розжиг линии горючей смеси. Эта конструкция не имеет тех проблем и недостатков, которые описывались в методе выше.

Тем самым удаляя системы розжига из зон с повышенными температурами осуществляется обеспечение простоты обслуживания, снижается время необходимое на замену элементов, которые вышли из строя, и обеспечивается большая надежность работы факельных систем. Метод обеспечения безопасности «бегущий огонь» требует при эксплуатации специальных навыков при пуско-наладочных работах.

В отечественной практике большое распространение находит второй метод, а в зарубежной – первый.

В последние годы все больше проявляется тенденция к замене на предприятиях устаревших устройств контроля, сигнализации наличия пламени на ФС на новые, разработанные типы, которые более стабильны в своей работе, надежны, имеют легкость аппаратурной реализации, на них требуется меньше материальных затрат, а так же у них меньше процент ложных срабатываний и отказов [19].

При разработке и создании новых средств контроля главными целями ставят:

- надежность и эффективность работы, выдачи сигнала о наличии пламени;
- защита пламени дежурных горелок;
- своевременная сигнализация при отсутствии или срыве факела горения.

Так же важным требованием является доступность технической составляющей, низкие затраты при изготовлении, контроля факела, а так же диапазон допустимых климатических условий, в которых возможна стабильная работа. Иногда несмотря на объем положительных качеств изделия или

технического решения от него приходится отказываться из-за трудностей в изготовлении, больших материальных затрат или же из-за узкого диапазона климатических и погодных условий, в которых возможна эффективная работа средств контроля.

Рассмотрим несколько вариантов наиболее распространенных сигнализаторов пламени в настоящее время:

- сигнализаторы пламени, которые используют ионизационные датчики, установленные в дежурных горелках;
- сигнализаторы пламени, которые используют термопар;
- сигнализаторы пламени, которые используют инфракрасные датчики, которые фиксируют инфракрасный диапазон излучения пламени и устанавливаются на земле в зоне факельных систем;
- пневматические системы контроля, наличия пламени.

Рассмотрим процесс эксплуатации ионизационных и температурных датчиков. Они состоят из сигнализатора пламени, в котором применяют ионизационные и температурные датчики, которые размещены на дежурных горелках с запальниками, которые установлены на факельном оголовке. Принцип работы датчиков заключается в том, что они контролируют составляющую проводимость пламени, при стабильном режиме горения. Чтобы избежать поступления ложных сигналов, необходима защита от ложных ветров. Для этого термопару располагают в надежном термопарном чехле, сохраняя возможность демонтажа и монтажа для замены с уровня земли при работающем факеле. Однако это может предоставить опасные технические проблемы и сложность аппаратурной реализации.

Дополнительные трудности и проблемы могут появиться, в случае если термопары и запальники установлены на дежурных горелках. Это связано с тем, что прокладка кабелей к запальнику и термопаре, кабелей и электропроводов необходима для их защиты от воздействия тепловых потоков факела.

Существует способ контролирования пламени с применением инфракрасного датчика. В зоне приближенной к факелам располагают несколько датчиков, которые осуществляют фиксацию инфракрасного диапазона излучения, которое сходит от пламени факела.

Недостатком этого способа являются высокие материальные затраты и повышенный процент ложных срабатываний. Датчики применяют для контроля дежурных горелок или общего факела.

1.2 Обзор научных исследований в области факельных систем

Технический процесс развивается и увеличивается активность исследований направленных к полной переработке на нефтехимических предприятиях газовых смесей. Факельные системы необходимы для предотвращения аварий, которые могут привести к трагичным последствиям. По этой причине ФС будут необходимы еще большой промежуток времени, для выполнения этой задачи на нефтехимических предприятиях.

Главной функцией в 20-х годах, которую выполнял факел, являлась сброс излишек газа для разгрузки напряжения и снижения давления, которое увеличивалось в установках или скважинах нефтехимических производств. ФУ тех лет по своей конструкции были примитивными и состояли из отрезка трубы и простого устройства розжига. Человек, которого называли запальником бросал кверху трубы зажженные промасленные тряпки.

Из-за частых несчастных случаев с летальным исходом появилась простейшая система из тросов и лебедок. К ним привязывалась горящая промасленная тряпка, и поднималась она уже к верхнему срезу трубы лебедками. Следующим этапом развития было ракетное поджигание. В направлении среза факельной трубы направлялась сигнальная ракета, которая использовалась в качестве запала горючей сбросной смеси. Однако при даже небольшом влиянии порывов ветра происходило отклонение газовой смеси от вертикальной оси. Попытки воспламенения измерялись десятками. Факелы того времени были крайне неэффективны и дымны.

Шум, запах, тепловое излучение, недопустимая яркость были основными недостатками конструкций того времени.

Далее к 40-м годам появился метод обеспечивающий безопасность с применением дежурных горелок. Так же разрабатывались пароинжекционные наконечники и запальные устройства. Они не только улучшали стабильность горения, но и увеличивали безопасность эксплуатации ФУ и снижали дымовые выбросы.

В 70-е годы проходило развитие законодательства в сфере охраны окружающей среды. Это повлияло и на развитие факельных систем. Началось развитие и создание новых технических решений, узлов и деталей. Были разработаны оголовки ФС с облегченным типом затвора, которые осуществляли бездымное сжигание. Так же, благодаря вычислительным программам появились каплеотбойники и гидравлические затворы. Происходил значительный технический прорыв. Одним из самых значительных открытий, стало оборудование, которое осуществляло сброс аварийных газов, кинетические затворы без движущихся частей. Они устраняли возможность обратного попадания газовой смеси в факельный ствол, что могло привести к возгоранию и детонации. Многосопловые кинетические затворы продлевали срок службы всей системы, но обладали большой массой. С ними стало возможным избавление от огнеупорной футеровки и газовых ловушек.

Следующим этапом развития стали 80-90-е года. Он обозначился изобретением инженерных решений, которые были направлены на увеличение времени безотказной работы. Минусами факелов данных устройств, было то, что они не предполагали ветрозащитных экранов, которые могли бы устранить возможность срыва пламени факела. Так же шла разработка способов контроля наличия пламени на дежурных горелках.

Во время стабильного состояния работы дежурных горелок их пламя остается не видимым для человеческого зрения. Этот факт привел к необходимости разработки термпарных датчиков. Их устанавливали на дежурной горелке. Однако из-за влияния высоких температур у них был

высокий процент перегорания, поэтому, не смотря на то, что их применяют и по сей день, они считаются ненадежными и малоэффективными.

Самым оптимальным техническим решением, обеспечивающим безопасную эксплуатацию на данный момент является факел закрытого типа. Данный факел имеет допустимые шум и тепловое излучение. Уровень шума не допустим для селитебных районов, но на безопасность эксплуатации это не влияет.

Изначально задачу по снижению шума от высотных факелов решали при помощи факельных оголовков малой шумности. Данное решение являлось начальным, но уже могло уменьшить уровень шума до 75 дБ при работе на расстоянии примерно 30 м. При эксплуатации ФУ закрытого типа верхний возможный уровень шума достигает 60 дБ. Это значение, возможно, снизить с применением дополнительных технических решений. При применении факельных систем на шельфовых объектах применяются закрытые факелы. Это связано с тем, что вырабатываемое тепловое излучение может создать риски для работающих сотрудников предприятия.

2. Методы обеспечения безопасной эксплуатации факельных систем

2.1. Особенности процесса обеспечения безопасной эксплуатации.

Современные технические решения и устройства по устранению выбросов продуктов сгорания в окружающую среду не всегда оказываются эффективными, из-за этого при локализации аварий могут возникать проблемы. Так же на взрывопожароопасных ОПО не всегда в полном объеме производят обеспечение средствами, позволяющими устранить и предотвратить аварийных взрывов в закрытых системах и залповых выбросов веществ в атмосферу. Эксплуатацию опасных промышленных объектов необходимо производить в соответствии с требованиями законодательства [1].

Разработано достаточное количество разных по конструктивному исполнению ФУ, которые активно применяются в технологических процессах в самых разных областях промышленности. При модернизации старых и создании новых ФУ решают несколько основных задач:

- повышение полноты сгорания газов сброса;
- повышение эффективности и стабильности процесса работы факела в случае если произойдет изменение составных параметров, расхода, и давления срабатываемого газа;
- снижение возможного влияния на процесс горения порывов ветра;
- развитие средств розжига;
- усовершенствование средств индикации, сигнализации и контроля пламени на дежурных горелках;
- устранение возможности возвращения взрывоопасного топлива обратно в факельную систему.

Приоритетные направления модернизации систем:

- ветрозащитные устройства;
- средства розжига;
- средства сигнализации, индикации и контроля пламени;

– математические решения для эффективной работы описанных выше направлений.

При строительстве, проектировании, реконструкции, перевооружении и эксплуатации ФС необходимо соблюдать требования и нормы установленные законодательством и другими нормативными актами, направленными на безопасность промышленных предприятий. Выбор модификации ФУ устанавливается проектной организацией. На выбор влияют условия эксплуатации, виды сбросов, состав сбрасываемых газов.

Все параметры обосновываются и излагаются в проектной документации:

«Технологический регламент на производство продукции химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств - основной технический документ, определяющий оптимальный технологический режим процесса, содержит описание технологического процесса и технологической схемы производства, физико-химические и взрывопожароопасные свойства сырья, полупродуктов и готовой продукции, контроль и управление технологическим процессом, безопасные условия эксплуатации производства, перечень обязательных производственных инструкций и чертеж технологической схемы производства (графическая часть). Технологический регламент на производство продукции разрабатывается на основании проектной документации на ОПО». [25]

Для безопасной эксплуатации факельных систем необходимо осуществлять выполнение процессов:

- в соответствии с инструкциями по безопасной эксплуатации;
- эксплуатация производится только обученным персоналом с необходимой квалификацией;
- обеспечивается наличие плана локализации и ликвидации возможной аварии на опасном производственном объекте, в котором излагаются предусмотренные действия по локализации, ликвидации и предупреждению аварии.

Инструкции необходимо пересматривать в случае, если изменены схемы или режим работы ФУ или существует другое основание для внесения дополнений и изменений.

Во время процесса сбросов из ФУ в окружающую среду необходимо придерживаться санитарных правил и типовых норм расчетов концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, которые содержатся в выбросах.

Факельные установки производят сжигание больших объемов пожаровзрывоопасных и токсичных газов. Поэтому вопрос безопасной эксплуатации и является столь важным. Правила эксплуатации устанавливают необходимые нормы и требования для безопасности промышленных производства с целью устранения риска аварий и производственного травматизма при эксплуатации ФС.

Объектам, которые эксплуатируют ФС, необходимо выполнять следующие пункты:

- разрабатывать и утверждать инструкции по безопасной эксплуатации ФС и их профилактическому обслуживанию;
- производить допуск для работы на факельных установках только персонал, получивший необходимую квалификацию, который прошел аттестацию и проверку знаний по направлению промышленная безопасность;
- разрабатывать и реализовывать мероприятия для предупреждению аварийных ситуаций и мероприятия по локализации аварий, а так же разработать план действий всего персонала по ликвидации аварии и ее последствий.

Для всех возможных источников паров и газов, которые поступают в факельные системы, определяются их параметры, и возможный состав:

- давление;
- температура;
- плотность;
- расход;
- временная продолжительность сбросов;

- параметры максимальных, средних, минимальных и общих сбросов.

Для того чтобы при эксплуатации факельной системе не образовывалась взрывоопасная смесь применяют продувочный газ.

Продувочный газ подразделяют:

- топливный;
- природный;
- инертный.

Объем воздуха в сбрасываемых, продувочных газах и парах не должно быть выше допустимой нормы, в том числе это относится к газам с комбинированным составом. Эта норма составляет 50% от минимально возможного взрывоопасного допустимого объема воздуха в сжигаемом газе. Норма в 2% содержания кислорода должна соблюдаться при сбросах этилена, окиси углерода, водорода и иных смесей. Вещества окислители и восстановители запрещено направлять в факельную систему, так как это может привести к взрыву.

Для решения проблемы содержания в сбрасываемых парах и газах твердых частиц и капельной жидкости во время сброса в общую факельную систему применяют сепараторные установки.

При сжигании газа, образуются продукты сгорания. Существует риск, что данные продукты начнут процесс кристаллизации в трубопроводах и коллекторе установки. Для устранения описанного риска применяют метод, контролирующей допустимые параметры пара и газа.

Углеводородные газы и пары с большим содержанием инертных газов не используют в качестве топливных газов при содержании больше 5% веществ, которым присвоены I и II классы опасности. Их подают в отдельные ёмкости с последующей переработкой или утилизацией.

Так же утилизируют и перерабатывают сбросы, в составе продуктов, сгорания которых сохраняются вещества I и II класса опасности.

Если среды работы оборудования не являются взрывоопасными, то такие сбросы разрешается сбрасывать в атмосферу через предохранительные

клапаны. Процесс и условия сброса должны поддерживать допустимое рассеивание паров и газов сброса, которое устраняет возможность накапливания взрывоопасных концентраций в области нахождения зданий, сооружений, а так же технологического оборудования.

Сбросы, которые поступают от предохранительных клапанов, в составе которых есть опасные вещества I и II класса больше 1%, необходимо направлять на обезвреживание и предварительную очистку:

- нейтрализация;
- поглощение;
- разложение;
- сжигание.

Для осуществления сбросов такого типа их направляют в специальные, обособленные ФС.

Ниже приведены необходимое количество коллекторов и факельных установок для различных факельных систем.

Таблица 1 – Особенности типов факельных установок

Тип факельной системы	Количество факельных коллекторов	Количество факельных установок
Отдельные	1	1
Специальные	1	1
Общие	2	2

Исключение допускается при сбросах паров, газов и смесей, которые не провоцируют процесс образования коррозии, превышающий 0,1 мм в год. Такие ФУ возможно оснащать одним коллектором, если это обосновано и закреплено проектной документацией.

При проектировании ФС разработчики стремятся к снижению количества поворотов на трубопроводах и коллекторах. На этапе стадии разработки стремятся к небольшим протяженностям трубопроводов. Как правило, на

данных конструктивных частях не устанавливаются сальниковые компенсаторы. Компенсация установки рассчитывают с учетом множества параметров:

- максимальные и минимальные температуры газов и паров сброса;
- максимальная температура пара, применяемого при пропарке;
- температура среды обогрева системы.

Трубопроводы и коллекторы ФС прокладывают, соблюдая уклон к сепараторам более 0,003.

Если описанный выше уклон не получается возможным соблюсти, в низших точках трубопроводов и коллекторов устанавливают отводящие конденсат устройства. Данные устройства обладают техническими особенностями. Которые позволяют устранить возможность уноса жидкости и соблюсти изоляцию от тепла и наружный обогрев ФС. Конденсатосборники обеспечены автоматическим опорожнением. Для откачки конденсата используют центробежные насосы. Для того чтобы жидкость не заполняла факельный коллектор, цеховые трубопроводы врезают в верхней части.

Для того чтоб избежать возникновения и образования взрывоопасной смеси реализуют постоянную подачу продувочного газ в начало коллектора ФС. При остановке подачи топливного газа, реализовывается автоматическая система подачи инертного газа.

Для безопасной эксплуатации факельных систем важно обеспечивать:

- постоянное горение в широком диапазоне расходов паров и газов;
- осуществление бездымного сжигания сбросов;
- устранение возможности попадания воздуха через верхний срез ствола ФС.

Для безопасной эксплуатации ФУ должна предусматривать основные следующие конструктивные решения:

- дистанционное электрозапальное устройство подачи топливного газа и горючей смеси;
- ствол ФС с оголовком и газовым затвором;

- сретсва и устройства автоматизации и контроля;
- устройство дистанционного розжига;
- дежурные горелки с запальниками.

Дополнительно в конструкции ФУ могут быть включены:

- насосами;
- гидрозатвором;
- огнепреградителем;
- устройством для отвода конденсата;
- сепаратором.

В некоторых случаях для сжигания применяют специальные наземные ФС с отсутствующим факельным стволом. Их применение запрещено, в случае если газы сброса, в составе которых есть твердые и смолистые вещества. Так как они, скапливаясь, сужают сечение газового затвора, уменьшая площадь прохода.

Для достижения задачи безопасной эксплуатации оголовка ФС, диаметр его верхнего среза необходимо рассчитывать исходя из определенных параметров. Расчет производят на основе максимальной скорости газов и паров, плотности газов и паров, плотности воздуха.

Для повышения полноты сжигания применяют метод с направлением дополнительных объемов воды, воздуха и пара. Данный метод применяют для углеводородных сбросных газов, а так же природных и некоптящих. Учитывая условия для бездымного сжигания, рассчитывают необходимое количество газа.

Дежурные горелки с запальниками устанавливают на факельном оголовке. В зависимости от диаметра оголовка определяют количество необходимых горелок.

Рассмотрим требования и рекомендации для вертикальных ФУ:

«59. Рекомендуется выбирать условия сброса (конструкция ствола и оголовка, скорость потока, плотность сбрасываемых газов и паров и др.), обеспечивающие стабильное (без срыва пламени) горение факела.

60. Для защиты пламени от ветрового воздействия рекомендуется использовать ветрозащитные устройства в целях повышения устойчивости пламени факела к ветровому воздействию. Не рекомендуется контакт пламени с корпусом оголовка.

61. В случае необходимости рекомендуется предусматривать устройства для предотвращения повреждения оголовка касающимся пламенем при снижении расхода сбросных газов, например оголовки переменного сечения.

62. Факельная установка оснащается сепаратором, гидрозатвором, насосами и устройством для отвода конденсата. При наличии в сбросных газах и парах твердых и смолистых веществ, которые, отлагаясь, уменьшают площадь проходного сечения газового затвора, последний не устанавливается (обосновывается в проектной документации).

63. В случае сброса газов, в которых пламя может распространяться вследствие их экзотермического разложения без окислителя (ацетилен, его гомологи, окись этилена и др.), факельная установка оснащается огнепреградителями.

64. При сбросе углеводородных газов и паров (за исключением некопящих газов) рекомендуется предусматривать решения, обеспечивающие их бездымное сжигание. Увеличение полноты сгорания может достигаться: подачей воздуха или водяного пара (количество пара определяется расчетом исходя из условия обеспечения бездымного сжигания постоянных сбросов); использованием оголовков кинетического сжигания с устройствами забора воздуха; регулированием соотношения скорости сброса к скорости звука, при котором обеспечивается интенсивное смешение с воздухом и необходимая полнота сгорания (рекомендуемое соотношение более 0,2); другими решениями, обеспечивающими бездымное сжигание сбросов. Технические решения, обеспечивающие бездымное сжигание сбрасываемых газов и паров, обосновываются в проектной документации.

65. Дежурные горелки с запальниками рекомендуется устанавливать на факельном оголовке». [41]

Количество горелок ФУ рассчитывают исходя из диаметра оголовка ФУ, в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 - Рекомендуемое число горелок

Диаметр факельного оголовка, мм	10 - 250	300 - 550	550 - 1000	1100 - 1600	Более 1600
Число горелок, шт	1 и более	Не менее 2	Не менее 3	Не менее 4	Не менее 5

Расчет горелок производится следующим образом:

«Количество горелок определяется и обосновывается разработчиком проекта с учетом нижеприведенных рекомендаций. При количестве горелок менее трех рекомендуется предусматривать ветровую защиту для предотвращения их погасания». [41]

Рассмотрим требования к вертикальным ФУ:

«66. К факельному стволу рекомендуется обеспечивать подвод топливного газа для дежурных горелок, а к устройству зажигания пламени - топливного газа и воздуха для приготовления запальной смеси. Для исключения конденсации паров воды и ее замерзания в трубопроводах в холодное время года топливный газ рекомендуется осушать или подавать по обогреваемому трубопроводу. Для дистанционного поджигания факела может использоваться специальное оборудование (специальное ружье или другое пиротехническое устройство), позволяющее надежно зажигать факел в случае его погасания с безопасного для оператора расстояния.

67. Высота факельного ствола определяется расчетом плотности теплового потока. Рекомендуемый расчет плотности теплового потока от пламени, минимального расстояния и высоты факельного ствола приведен в приложении № 7 к настоящему Руководству.

68. При определении высоты факельного ствола кроме плотности теплового потока рекомендуется также учитывать возможное загрязнение окружающей территории вредными продуктами сгорания согласно

требованиям нормативных технических документов, а также возможность зажигания пламенем факела выбросов горючих и взрывоопасных веществ при авариях на соседних технологических установках.

69. В целях предупреждения подсоса воздуха в факельный коллектор (трубопровод) перед факельным стволом рекомендуется устанавливать гидрозатвор с постоянным протоком затворной жидкости. Для предотвращения возможности замерзания затворной жидкости гидрозатворы рекомендуется оборудовать обогревающим устройством или размещать в отапливаемом помещении. При техническом обосновании в проекте гидрозатвор не рекомендуется устанавливать при следующих условиях: температура сбросных газов и паров близка к температуре замерзания или кипения затворной жидкости; разрежение у основания факельного ствола не более 500 Па.

70. Лестницы и площадки устанавливаются таким образом, чтобы обеспечить удобство и безопасность при монтаже и ремонте факельного оголовка и другого оборудования, расположенного на разной высоте факельного ствола.

71. Материал факельного оголовка, дежурных горелок, обвязочных трубопроводов, а также деталей крепления рекомендуется выбирать с учетом температуры возможного их нагрева от теплового излучения факела.

72. Обвязочные трубопроводы на участке факельного оголовка рекомендуется выполнять из стальных бесшовных труб.

73. Факельный ствол, сепараторы и гидрозатворы рекомендуется оснащать устройствами для отбора проб.

74. Сепаратор, устанавливаемый перед факельным стволом, рекомендуется предусматривать с наружным обогревом и оборудовать системой непрерывного удаления конденсата, исключающей возможность попадания сбросного газа в сборник конденсата и конденсата в факельный коллектор.

75. На факельных стволах устанавливаются дежурные горелки, выполняющие роль пилотных огней при работающей факельной системе; на

случай остановки факельной системы рекомендуется предусматривать световое ограждение верха факельного ствола переносными светильниками в соответствии с требованиями к маркировке и светоограждению высотных препятствий». [41]

Описанные выше условия должны быть обоснованы в технической документации согласно межгосударственному стандарту [14], составляемой техническим экспертом [16].

ФУ размещают в пограничных к предприятию территориях, учитывая розу ветров, минимально возможную длину факельных коллекторов. Размещение на территории технологической установки разрешается только специальных и отдельных ФУ.

При расчете безопасного расстояния между зданиями, факелами, сооружениями и стволами учитывают норму плотности возникающего теплового потока, а так же нормы пожарной безопасности.

При проведении работ по обслуживанию и ремонту оголовка ФС для безопасной работы необходимо соблюдать меры по защите от теплового воздействия, которое возникает, если до начала описываемых работ, эксплуатация других факелов не была остановлена. Основной мерой безопасности является соблюдения определенного расстояния между ремонтируемым и работающим факелами. Данная мера реализуется тем, что установка лестниц осуществляется на обратной стороне от факелов, которые продолжают свою работу. Так же при выполнении ремонтных и профилактических работ по обслуживанию необходимо применять оборудование, сооружение и инструменты, изготовленные из огнестойких материалов. Территорию, на которой производятся работы необходимо оборудовать ограждающими знаками.

На ФС может применяться дистанционное управление.

Дистанционное управление и контроль осуществляют в случаях:

– эксплуатации общей ФС. Осуществляется из отдельного помещения (операторной, пульта управления);

– эксплуатация отдельной или специальной ФС. Осуществляется из помещения управления какой-либо из эксплуатируемых установок по сбросу газа в ФС.

При эксплуатации ФС производят контроль и регистрацию данных:

«109. Факельные системы рекомендуется оборудовать техническими средствами, обеспечивающими постоянную регистрацию (с выводом показаний в помещение управления) следующих данных:

- расхода продувочного газа в факельный коллектор и газовый затвор;
- уровня жидкости в сепараторах, сборниках конденсата;
- уровня жидкости в факельном гидрозатворе;
- количества сбросных газов и паров, а также конденсата, возвращаемых с установки сбора углеводородных газов и паров;
- давления на различных участках факельного коллектора и у основания факельного ствола;
- концентрации кислорода или других компонентов, определяющих взрывоопасность сбросных газов;
- температуры газов и паров, поступающих в газгольдер;
- температуры жидкости в факельном гидрозатворе». [41]

ФС оснащают средствами сигнализации:

«110. Факельные системы рекомендуется оснащать средствами сигнализации (с выводом сигналов в помещение управления), срабатывающими при достижении следующих параметров:

- минимально допустимом расходе продувочного газа в коллектор и газовый затвор;
- минимально допустимом давлении или расходе топливного газа на дежурные горелки;
- погасании пламени дежурных горелок;
- образовании разрежения у основания факельного ствола, равного или более 1000 паскалей;

- минимально и максимально допустимых уровнях жидкости в сепараторах, сборниках конденсата;
- минимально допустимом уровне жидкости в факельных гидрозатворах;
- максимально допустимой температуре газов, поступающих в газгольдер;
- минимально допустимой температуре в факельных гидрозатворах;
- включении насосов по откачке конденсата;
- включении компрессоров;
- наличии горючих газов и паров в количестве 20 процентов нижнего концентрационного предела распространения пламени в помещениях компрессорной, гидрозатвора с дублированием звукового и светового сигналов и расположением указанных средств сигнализации над входной дверью, а также на наружных установках в местах размещения газгольдеров, сепараторов, насосов.

Средства сигнализации разрежения рекомендуются, если произведение разности плотностей воздуха (кг/м^3) и продувочного газа на высоту факельного ствола (м) превышает 100». [41]

Для того чтобы осуществить мониторинг наличия воздуха и топлива газа в системах зажигания, а так же в линиях регулировки клапанов и вентилей, давления пара, температуры, уровней жидкости в конденсатосборниках и сепараторах по месту необходимости мониторинга располагают дублирующие контрольные измерительные приборы.

В целях обеспечения безопасной эксплуатации важно контролировать давление топливной смеси и объемы подаваемого продувочного газа.

Для этого при разработке ФС, как правило, планируют систему автоматического регулирования этих процессов:

«114. Факельные системы рекомендуется оснащать блокировками (с учетом инерционности срабатывания контрольно-измерительных приборов и средств автоматики и времени открытия электроздвижки), обеспечивающими:

- подачу инертного газа в газовый затвор при разрежении в факельном коллекторе, равном или более 1000 паскалей;
- подачу инертного газа в начало факельного коллектора при прекращении подачи продувочного (топливного) газа (рекомендуется вариант работы с постоянной подачей азота с обязательным обоснованием в проектной документации);
- удаление конденсата из сепараторов и сборников конденсата, кроме имеющих постоянный слив через гидрозатвор, по достижении максимального уровня;
- открытие электрозадвижки на линии сброса газов в факельную установку при заполнении газгольдера на 85 процентов с одновременным закрытием электрозадвижки на линии поступления газа в газгольдер;
- открытие электрозадвижки на линии поступления газа в газгольдер при заполнении его на 70 процентов с последующим закрытием электрозадвижки на линии сброса газов и паров в факельный ствол;
- остановку компрессоров при уменьшении объема газа в газгольдере до 10 процентов;
- пуск компрессоров, схема управления которых предусматривает проведение этой операции автоматически, или подачу сигнала, разрешающего ручной пуск при заполнении газгольдера не менее чем на 25 процентов». [41]

Так же при эксплуатации ФС необходимо обеспечивать контроль над сбросами газа в установку. До начала эксплуатации ФУ производят процессы по продуванию установки азотом. Данный процесс производят для того чтобы свести содержание кислорода у основания к 50 % от минимального.

Во время осуществления процесса сброса смесей, в составе которых есть этилен, углерод и ее окись, водород, в их составе допускается не больше 2 % кислорода.

Во время осуществления продувки азотом технологических установок продувочные газы направляю в свечу для сброса в атмосферу. Это необходимо для устранения возможности попадания воздуха в ФС.

Если продувка азотом производится одновременно на всех ФУ и аппаратах, то возможен процесс устранения воздуха с помощью сбросов в ствол установки продувочных газов, даже при нерабочем статусе горелок.

Интервалы для осуществления анализов описывается и устанавливается в соответствии с техническим регламентом.

Продувочные газы запрещено сбрасывать в общую ФС.

Для устранения рисков попадания кислорода в ФС обеспечивают направление в систему продувочного газа с определенной интенсивностью, с помощью которой возможно получить необходимые скорости потока с учетом сечения ствола ФС, который располагается под оголовком.

Допустимые скорости:

- при эксплуатации газового затвора – не менее 0,05 м/с;
- при использовании газа продувки, с определенной плотностью и отсутствии устоя затвора – не превышает 0,9 м/с;
- при использовании газа продувки и отсутствии устройства затвора – не превышает 0,7 м/с.

Если ФС в своей конструкции не включает газового затвора, а плотность продувочного газа не соответствует нормам, то осуществление описанного выше процесса не допускается.

Для того чтобы устранить риск возникновения вакуума в ФС во время конденсации или охлаждения до остановки сброса горючих паров и газов с высокой температурой, дополнительно подают продувочный газ.

При возникновении необходимости проведения ремонтных работ на ФС необходимо произвести ряд процессов. Саму установку отключают от других систем с использованием заглушек. Далее запускают продувочный процесс с применением азота, что позволяет устранить горючие примеси. И завершают подготовку процессом продувания, используя воздух. Показатели используемого воздуха должны соответствовать нормам.

Из вышеописанных особенностей вытекают основные требования для безопасной эксплуатации ФУ:

- 1) достигнута необходимая полнота сжигания газов, при которой не возможен процесс образования и возникновения альдегидов и кислот;
- 2) устранение возникновения дыма и сажи;
- 3) безопасность сжигания в факеле газов сброса;
- 4) достижение устойчивой, стабильной эксплуатации факела и его работы во время изменения расхода, состава или давления газов сброса;
- 5) отсутствие яркого свечения;
- 6) достижение бесшумности при эксплуатации.

Главные направления исследований и разработок в сфере обеспечения безопасной эксплуатации направлены на увеличение полноты сгорания, эффективность работы и безопасность воспламенения и сжигания.

Для снижения взрывоопасности эксплуатации ФС:

«Для каждой технологической системы должны предусматриваться меры по максимальному снижению взрывоопасности технологических блоков, входящих в нее, направленные на:

- предотвращение взрывов и пожаров внутри технологического оборудования;
- защиту технологического оборудования от разрушения и максимальное ограничение выбросов из него горючих веществ в атмосферу при аварийной разгерметизации;
- исключение возможности взрывов и пожаров в объеме производственных зданий, сооружений и наружных установок снижение тяжести последствий взрывов и пожаров в объеме производственных зданий, сооружений и наружных установок». [4]

2.2 Аварии на факельных установках

Самую большую долю в причинах возникновения аварий на ФС занимает возможность попадания в систему веществ, которые могут нарушить безопасную эксплуатацию.

При оценки рисков возникновения аварии производят определение возможных сценариев:

«Определение возможных сценариев возникновения и развития аварий проводится исходя из:

- анализа произошедших аварий;
- свойств обращающихся опасных веществ;
- аппаратного оформления и компоновочных решений блока;
- технологических параметров процесса;
- места возникновения аварии (помещение или открытое пространство)». [2]

Все аварии на ОПО проходят расследование на выявление причин возникновения:

«Техническое расследование причин аварии проводится специальной комиссией, возглавляемой представителем федерального органа исполнительной власти в области промышленной безопасности или его территориального органа.

В состав указанной комиссии также включаются:

- представители субъекта Российской Федерации и (или) органа местного самоуправления, на территории которых располагается опасный производственный объект;
- представители организации, эксплуатирующей опасный производственный объект;
- представители страховщика, с которым организация, эксплуатирующая опасный производственный объект, заключила договор обязательного страхования гражданской ответственности в соответствии с законодательством Российской Федерации об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте;
- другие представители в соответствии с законодательством Российской Федерации». [1]

К опасным для нормальной эксплуатации веществам относятся:

- воздух;
- легкие углеводороды и др.

Если при эксплуатации ФУ концентрация воздуха превысит допустимые нормы в 50-70 %, то произойдет формирование взрывоопасной смеси, которая может стать причиной серьезной аварии:

«Анализ опасности аварии на ОПО проводится поблочно на основании физико-химических свойств веществ, обращающихся в оборудовании, аппаратного оформления, режимов работы оборудования, а также с учетом анализа аварий, имевших место на данном и на аналогичных объектах». [2]

Риск образования в ФУ взрывоопасной смеси, это следствие попадания кислорода воздуха внутрь установки. В некоторых обстоятельствах кислород уже содержится в газе еще до сжигания на факеле. Примером такого случая может быть процесс получения синтезированного газа через неполное окисление углеводородов кислородом. В случае нарушения режима технологического процесса концентрация кислорода может резко возрасти. Прежде всего, опасность [18] проникновения воздуха внутрь ФУ возникает при сильных порывах ветра, при низких скоростях сбрасываемого потока газа и при малой плотности сбросных или нагретых газов.

Проникновения кислорода в ФС происходит, как правило, по следующим причинам:

- через трубы факельной системы;
- через негерметичности;
- разреженная среда в факельной трубе.

Так же повышенная опасность эксплуатации ФУ объясняется тем, что факел установки осуществляет постоянное горение. Процесс продувки установки, является основной профилактической мерой по обеспечению безопасности.

Для осуществления предотвращения распространения пламени устанавливаются:

- гидрозатворы;
- лабиринтные уплотнители;
- огнепреградителии др.

Для повышения эффективности возможно использование сочетания этих устройств.

Необходимо тщательно разрабатывать методы испытания и проверки дренажных и сбросных факельных устройств, а так же осуществлять профилактические проверки технологического оборудования. Работы по ремонту и обслуживанию факельных установок планируются таким образом, чтобы максимально сократить время простоя в открытом не работающем состоянии трубопроводов системы, а так же максимально сократить число отверстий. При запуске производится продувание инертным газом до абсолютного вытеснения воздуха. После проведения ремонтных работ для устранения возможности образования горючих смесей в ФУ во время включения в работу части ФС, ее продувают инертными газами. До проведения ремонтных работ, для предотвращения образования вакуума, вследствие подсоса воздуха и процесса охлаждения, до остановки сброса газов в ФС подают азот. В дополнение к вышеизложенным методам, в качестве профилактики осуществляют продувание всей системы паром. Его проводят до полного удаления горючих газов с последующим направлением воздуха, пока концентрация кислорода достигнет 19 %, а концентрация токсичных веществ не придет в соответствие с допустимыми нормами.

При эксплуатации устройств системы утилизации и улавливания сбрасываемых газов может возникнуть ситуация, при которой через открытый конец ствола ФС попадет воздух. Это обуславливается риском возможной неудовлетворительной работой органов управления, вследствие чего, возникает разрежение в трубопроводе ФС.

При погасании пламени установку необходимо предварительно продуть инертным газом, после чего станет допустимым розжиг запального пламени.

Если количество сбрасываемого газа в ФС мало, то осуществляют постоянную продувку топливными и инертными газами.

Еще одним риском возникновения аварий на ФУ, является засорение или замерзание трубопроводов. По этой причине при их изготовлении проектируют необходимый наклон. Если существует возможность возникновения моментов, при которых попадание воды извне становится возможным, необходимо производить профилактические осмотры на отсутствие влаги. Если пар подается в небольшом объеме, а трубопроводы имеют большую протяженность, конденсат пара может превратиться в лед за небольшой промежуток времени. Так же конденсат может стать причиной разрежения в системе и подосу воздуха.

Если для процесса продувки применяется пар, необходимо осуществлять профилактические мероприятия с целью предотвращения аварийных ситуаций. Возможно возникновение ситуации, когда вследствие коррозии трубопроводов происходит попадание в ФС пара. Особо подвержены коррозии змеевики испарителей, выполняющие функцию выпарки легких углеводородов. Поступление пара в факельный трубопровод, конденсация и образование льда могут привести к крупным авариям в зимний период. Так же при попадании в трубопровод системы сырой нефти может произойти закупоривание. В целях устранения соединения факельной системы с технологическими аппаратами, которые содержат вязкие нефтепродукты, применяют специальные разделяющие приспособления, уровнемеры, пароспутники и др.

Скопление конденсата в ФУ может спровоцировать коррозионный процесс:

«Коррозия металлов - самопроизвольное разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с внешней средой. Коррозионный процесс - гетерогенный (неоднородный), протекает на границе раздела металл - агрессивная среда, имеет сложный механизм. При этом атомы металла окисляются, т.е. теряют валентные электроны, атомы переходят через границу раздела во внешнюю среду, взаимодействуют с ее

компонентами и образуют продукты коррозии. В большинстве случаев коррозия металлов при этом идет неравномерно по поверхности, имеются участки, на которых возникают локальные поражения. Некоторые продукты коррозии, образуя поверхностные пленки, сообщают металлу коррозионную стойкость. Иногда могут появляться рыхлые продукты коррозии, имеющие слабое сцепление с металлом. Разрушение таких пленок вызывает интенсивную коррозию обнажающегося металла. Коррозия металла снижает механическую прочность и меняет другие свойства его. Коррозионные процессы классифицируют по видам коррозионных разрушений, характеру взаимодействия металла со средой, условиям протекания». [24]

Рассмотрим некоторые аварии на факельных установках.

На предприятии при эксплуатации факельной системы, предназначенной для сжигания газообразующихся при переработке нефти и поступающих через предохранительные клапаны и из системы продувки газов, произошел взрыв.

На сжигание в установку направлялись легкие газообразные углеводороды и пары. Данные вещества способны вызывать коррозию. ФУ была оснащена факельной трубой высотой примерно 60 м, установленной на устройстве сбора конденсата. Верхняя часть трубы была жестко установлена, в ее металлоконструкции были размещены дежурные горелки. Комперсатор был расположен между трубой ФС и устройством сбора конденсата. Данная система постоянно, непрерывно продувала с применением природного газа. Его расход и концентрация были установлены таким образом, чтобы устранить опасность [18], при образовании горючей смеси, распространения пламени внутрь системы.

Незадолго до возникновения факта аварии, возник черный дым. В момент взрыва был сильный звук. Компенсационное соединение, устройство сбора конденсации, расположенное у основания трубы, были разрушены. Осколки от взрыва распространились до 9 м. В дальнейшем осмотр компенсационного соединения выявил отверстия, диаметр которых составил примерно 12 - 13 мм.

Данные отверстия были следствием протекания коррозии, и возникли задолго до взрыва. Сборник конденсата, который был установлен у основания трубы ФС, имел со своей конструкции дренажный трубопровод. Соединение между устройством сбора и трубопроводом тоже пострадало от процесса коррозии.

Ранее описывалось, что для устранения опасности попадания пламени в ФС система продувалась природным газом. За два дня до факта аварии продувание осуществлялось не природным газом, а азотом. Данный факт был мероприятием по подготовке к ремонтным работам в предохранительных клапанах. Ремонтные работы планировались проводить не останавливая эксплуатационный процесс, и описанная мера снижала возможность возникновения взрывоопасной смеси.

По окончанию работ клапаны были установлены обратно. Данная операция проводилась за 5 ч до факта аварии. В момент аварии, подача азота еще не была остановлена. Предположительно за 20 ч до взрыва, произошла временная остановка подачи электроэнергии на территории всего предприятия. Следствием этого стала остановка аппарата, который осуществлял продувку системы. Взрыв произошел при возвращении установки в действие. Остальные конструктивные и технические элементы работали в пределах нормы.

Проникновение воздуха в ФС и стало причиной аварии. Это могло произойти по двум причинам. Либо вследствие образования отверстий, которые являлись последствием процесса коррозии. Либо по причине подсоса в ФС из перегонной колонны во время прекращения подачи электроэнергии. Горючая смесь была воспламенена дежурными горелками. Тем самым можно выделить обстоятельства, которые способствовали образованию аварии:

- ремонтные работы;
- проведение работ не останавливая эксплуатацию;
- недостаточно стойкий к коррозионным процессам материал компенсатора;
- невозможность отключения клапанов от ФС.

Процесс возвращения факельной системы к эксплуатации является очень ответственным.

На нефтехимическом предприятии США произошел взрыв в ФС. Причиной возникновения аварии стало проникновение углеводородной смеси при мероприятиях по подготовки системы к продувочному процессу с применением азота.

Данная ФС предназначалась для сжигания газов, образующихся от продувочного процесса в технологических установках, а так же сбросов, поступающих из предохранительных клапанов. Конструкция была оснащена дежурными горелками и устройством по сбору конденсата. Устройство не было оснащено гидрозатвором.

В целях проведения текущего ремонта система была освобождена от газа, горелки погашены.

По окончанию работ начались мероприятия по запуску ФС в эксплуатацию. Произвели снятие заглушек и направили продувочный газ – азот. Произошел взрыв.

Во время следствия выяснились следующие факты:

- пробковый экран не был достаточно плотно закрыт, что привело к пропуску горючих газов;
- в процесс снятия заглушки по с клапана по ходу потока произошел подсос воздуха в ФС;
- факел, который обслуживал временную установку и находился рядом с оновным факельных стволом послужил воспламенителем смеси горючих газов.

Рассмотрим аварийную ситуацию при одновременной подачи в ФС газов, которые вступают во взаимодействие друг с другом. В эксплуатации производства находились две факельные системы. Одна установка обслуживала цех, который при нормальной работе сбрасывал в систему инертные газы. Вторая обслуживала цех, который направлял в систему этилен и инертные газы при нормальной эксплуатации, при отклонениях – хлор и инертные газы.

При проведении технического ремонта второго цеха, было решено не останавливать производство. Была разработана и смонтирована линия временного применения, в которую были подсоединены обе системы. Во время эксплуатации одной факельной трубы двумя установками произошел факт взрыва.

В результате расследования было выявлено, что во время описанной выше эксплуатации двух систем через общую трубу, вследствие нарушения рабочего процесса, одновременно были направлены газы в составе которых находились ацетилен и хлор. Их взаимодействие стало основной причиной взрыва.

На предприятии применялся метод предварительного прохождения стравливаемого газа через скрубберную насадку, где они промывались и охлаждались водой перед попаданием в факельную трубу. Избыточное количество воды скруббера постоянно переводили в подземный бетонный приемник. В нем произошел взрыв. Произошел процесс выделения из конденсата паров горючего газа. Они были легче воды, и был спровоцирован процесс их смешивания с воздухом, находящемся в приемнике:

«Смешение в начальном участке факела определяется действием трех основных механизмов различной значимости:

- конвективный перенос веществ;
- турбулентная диффузия;
- молекулярная диффузия.

Определяющим в формировании горючей смеси в реальных факельных процессах является крупномасштабный турбулентный перенос смешивающих сред со взаимным проникновением и рассредоточением». [11]

Причиной воспламенения стал перегрев насоса, который располагался в приемнике, и не герметичность устройства приемника.

В результате рассмотренных аварий на факельных системах можно сделать выводы. Чаще всего они возникают при допущении ошибок в:

- проектировании;

- монтаже;
- эксплуатации.

Основными причинами являются:

- подсос воздуха в ФС, как следствие рагерметизации;
- проникновение воздуха через открытый срез трубы ФУ;
- распространение в газовый коллектор пламени, по причине недостатка избыточного давления и недостаточной скорости подачи газа в трубопроводы;
- одновременный сброс в систему газов, которые могут взаимодействовать и приводить к образованию взрывоопасных смесей;
- не соблюдение норм уклонов при прокладке трубопроводов ФС;
- отсутствие конденсирующих устройств или не проведение работ по удалению конденсата;
- отсутствие на трубопроводах теплоспутников и теплоизоляции;
- отсутствие устройств для контроля и средств, обеспечивающих автоматическое регулирование давления газа в ФС.

2.3. Изучение методов безопасной эксплуатации.

Для обеспечения безопасной эксплуатации ФС разрабатываются и применяются различные методы и технические решения. Рассмотрим основные задачи, которые решаются для обеспечения безопасности и методы, которые направлены на их решение.

2.3.1. Основные задачи по обеспечению безопасной эксплуатации:

- устранение риска попадания воздуха в факельные трубы через верхний срез;
- обеспечение герметичной, надежной системы, недопускающей подсос воздуха и вследствие образования взрывоопасной смеси газов;
- не допущение сбросов, которые могут взаимодействовать и образовывать взрывоопасные смеси, в одну ФУ;

- осуществление контроля внутренних поверхностей трубопровода нормам чистоты и удаление отложений продувкой, промывкой, пропаркой;
- оборудование ФУ средствами автоматизации и контроля;
- регламентация параметров и составов газов сброса;
- при сбросе газов и паров температурой ниже 0°C, осуществлять предварительно нагрев их до температуры выше 0°C (если на входе в трубу обеспечивается положительная температура с помощью уже нагретых газов, то такой сброс с температурой до минус 30 °C допустим);
- нейтрализация кислых газов до подачи общезаводскую магистраль;
- предварительная очистка поступающих газов от примесей (существует риск образования вредных и токсичных веществ).

Далее мы рассмотрим основные методы решения данных задач.

2.3.2. Инертные газы

Метод продувки инертными газами применяется:

- для подготовки к ремонтным работам, а так же при их завершении перед запуском системы.
- для перемещения конденсата из сепаратора;
- устранение вакуума;
- устранение риска попадания жидкости в горючие жидкости (явление азотного дыхания).

После процесса смешивания и разбавления смеси, состоящей из горючих газов и воздуха, при помощи инертного газа происходит сужение пределов воспламенения. Так же при определенной концентрации смесь перестанет быть взрывоопасной. В качестве инертных газов применяют:

- азот;
- двуокись углерода;
- смеси азота и двуокиси углерода.

Рассмотрим меры безопасности при применении метода продувки инертным газом. Важно произвести профилактические меры, чтобы такие инертные газы как двуокись углерода и азот, ненесли вреда для персонала. Если нормы содержания азота в кислороде будут превышены, может наступить удушье.

Процесс устранения вредных горючих газов методом продувки инертными газами и последующий процесс удаления инертных газов при помощи воздуха, должны контролироваться. Во время остановки подачи азота в емкости продува необходимо тщательно проверять перекрытие вентилей и кранов.

Рядом с рабочими местами должны находиться готовые к эксплуатации противогазы, на случай необходимости проведения спасательных, или иных, работ. Необходимо применять только изолирующий тип противогазов.

Для осуществления контроля над устранением азота воздухом применяют газоопределители.

Данное устройство представляет собой прибор ручного действия, он направлен на решение задачи определения количества кислорода в атмосфере.

Для предотвращения образования взрывоопасных смесей применяют следующие методы:

«Предотвращение образования в горючей среде источников зажигания должно достигаться применением одного из следующих способов или их комбинацией:

- применением машин, механизмов, оборудования, устройств, при эксплуатации которых не образуются источники зажигания;
- применением электрооборудования, соответствующего пожароопасной и взрывоопасной зонам, группе и категории взрывоопасной смеси в соответствии с требованиями;
- применением в конструкции быстродействующих средств защитного отключения возможных источников зажигания;

- применением технологического процесса и оборудования, удовлетворяющих требованиям электростатической искробезопасности по;
- устройством молниезащиты зданий, сооружений и оборудования;
- поддержанием температуры нагрева поверхности машин, механизмов, оборудования, устройств, веществ и материалов, которые могут войти в контакт с горючей средой, ниже предельно допустимой, составляющей 80% наименьшей температуры самовоспламенения горючего;
- исключением возможности появления искрового разряда в горючей среде с энергией, равной и выше минимальной энергии зажигания;
- применением неискрящего инструмента при работе с легковоспламеняющимися жидкостями и горючими газами;
- ликвидацией условий для теплового, химического и (или) микробиологического самовозгорания обращающихся веществ, материалов, изделий и конструкций;
- устранением контакта с воздухом пирофорных веществ;
- уменьшением определяющего размера горючей среды ниже предельно допустимого по горючести;
- выполнением действующих строительных норм, правил и стандартов». [5]

2.3.3. Процесс продувки факельных труб

Одним из основных рисков возникновения аварийной ситуации на ФС, является возможность попадания воздуха внутрь системы. С целью устранения данного риска применяют метод продувки трубопроводов и резервуаров, тем самым созданная постоянный восходящий поток газа. Для осуществления процесса применяют продувочный газ. Этот метод предотвращает большую опасность [18] возникновения взрывоопасной ситуации.

Продувку необходимо осуществлять для всей системы полностью. Во время сжигания газов сброса, данный способ обеспечит нагревание, а значит увеличение объема продувочного газа. Проникновение воздуха в факельную

систему становится возможным в случае уменьшения объемов газа или во время сильных порывов ветра. Уменьшение объема может произойти из-за охлаждения сбрасываемых горячих газов. Резкие порывы ветра могут повлечь за собой снижение давления в трубе факельной установки.

Применение данного метода увеличивает стоимость эксплуатации системы. Так же стоимость будет расти пропорционально диаметру трубы. Нормы для расхода газа не разработаны. Продувочные газы легче кислорода тем самым они вымещают его. Кроме вытеснения происходит процесс смешивания продувочных газов с воздухом. Смешивание приводит к тому, что кислород распределяется по трубе. Более легкий продувочный газ, является менее эффективным, в связи с этим его расход будет велик.

При больших скоростях продувки, труба может полностью заполниться продувочным газом.

При снижении скорости продувки начинается процесс диффундирования воздуха через открытый конец трубы, вследствие того что плотности газа продувки и воздуха различны. Устанавливается стационарное содержание кислорода в трубе, максимум приходится на верхний край, а минимум на основание.

Существует понятие кислородный предел. Это норма, при которой взрыв не возможен. Он зависит от состава смеси. Данное понятие способствует оценки возможного риска возникновения взрывоопасной ситуации.

Применяется метод продувки паром. Его эффективность зависит от теплопотерь трубы факельной системы. Необходимые термические параметры создаются только на участке основания трубы, выше начинается влияние внешних факторов. Происходит охлаждение стенок трубы. Исследования показывают, что у основания, где соблюдаются температурные условия, содержание кислорода минимально. С увеличением высоты температура падает, из-за внешнего влияния, а концентрация кислорода увеличивается. Вследствие этого трубы необходимо оснащать дополнительной теплоизоляцией, и проектировать их с минимально возможной длиной.

Нельзя применять водяной пар в качестве продувочной среды на постоянной основе. Водяной пар применяется только, когда произошли нарушения в подаче продувочного газа, либо его подача не возможна из-за высоких концентраций в нем кислорода.

Факельные установки, при эксплуатации которых существует риск образования горючей взрывоопасной смеси необходимо обеспечивать специальными устройствами, которые будут осуществлять постоянный контроль над концентрацией кислорода в газе. Концентрацию, возможно, снизить путем добавления не содержащих кислород газов к основному потоку, либо перекрытия трубопроводов, по которым поступает газ, содержащий кислород. Для подачи продувочного газа необходимо использовать газоанализатор, который будет направлять соответствующий сигнал. Для проведения ремонтных работ на установке необходимо провести ряд мероприятий. Нужно погасить факел, дежурные горелки, удалить горючие газы методом продувки. В системе останется остаточная концентрация, ее необходимо контролировать и измерять с помощью специальных приборов или проведением химического анализа проб.

Если в качестве продувочного газа применяют природный газ необходимо обеспечивать такой объем поставки, при котором пламя будет хорошо видимым в дневное время суток.

2.3.4 Применение огнепреградителей на факельных линиях

Потенциальной опасностью [18] при эксплуатации факельных установок является возможность распространения пламени в трубопроводы системы от открытого конца трубы. Она может возникнуть при нарушении правил эксплуатации.

Для защиты могут применяться огнепреградители.

Рассмотрим насадочные огнепреградители. Их применяют при сжигании медленно горящих смесей. В этом случае предпочтение отдают насадкам по своей форме близким к шару. Их недостатком является высокое гидравлическое

сопротивление при максимальных сбросах в систему. Вследствие этого начинается процесс повышения давления, что уже представляет собой опасность.

Существуют ленточные огнепреградители. Их работа более эффективна. Их основная конструктивная особенность это пламегасящий элемент. Это плотно закрученный рулон из сложенных вместе гофрированных и плоских лент, обмотанных вокруг центрального стержня. Ленточные огнепреградители, как правило, оснащены прямыми, вертикальными и наклонными каналами. Они стабильны в работе при механическом и термическом воздействии. Их изготовление производится с малыми допусками по размерам каналов. Благодаря тому, что сечение занято лентами лишь на 20 %, сопротивление проходящему потоку становится минимальным. Насадку огнепреградителя изготавливают из материала, стойкого к термическому воздействию. Это обусловлено тем, что при стабилизации пламени вырабатывается большой объем тепла, его воздействие приводит к нагреву элементов огнепреградителя до высоких температур. Появляется риск воспламенения горячей смеси в трубопроводе факельной системы. По этой же причине широкое применение находят датчики, которые автоматически отключают подачу горючей смеси или активируют работу пламегасящего агента.

Ленточные огнепреградители устанавливают под горелкой факела. Насадочного типа обычно на трубопроводах сбросных газов.

В некоторых случаях огнепреградители оказываются неэффективными. Например, при сжигании водорода, этилена, ацетилен. Это связано с тем, что при нормальных условиях критические параметры горения малы, и данные вещества относятся к быстрогорящим газам. И в данном случае целесообразно применение лабиринтных уплотнителей.

Так же огнепреградители не эффективны в случае, если линии сброса загрязнены или запылены. Это влечет за собой повышенное гидравлическое сопротивление и засорение каналов элемента огнепреградителя.

2.3.5. Применение водяных предохранительных затворов и гидрозатворов

Данный метод использую с целью локализации возможного взрыва и детонации быстрогорящих смесей. Конструкция предохранительного затвора складывается из корпуса, с отводящими и приводящими трубками. Они заполнены жидкостью, через которую проходит горючий газ. Затворы подразделяют в соответствии с рабочим давлением:

- открытые (низкое давление);
- закрытые (среднее давление).

Диаметр предохранителя и глубина, на которую его необходимо погрузить рассчитывают исходя из рабочего давления, максимальных объемов сбрасываемого газа и прогнозируемого давления взрыва.

Для того чтобы в случае удара обратного направления пламя не проникло в защищаемое пространство корпус затвора оснащают газораспределительным устройством.

Для перекрытия газового потока используют обратный клапан. Механический обратный клапан применяют для устранения возможности выхода жидкости из затвора в подводящую газ трубу при обратном направлении поступления газа.

Недостатком данного метода является малая пропускная способность затворов. Это связано с малой доступной скоростью потока.

При превышении данных норм скорости может произойти вытекание жидкости, ухудшение работы пламягасящих способностей. Надежность эксплуатации затворов находится в зависимости от поддержания необходимых уровней затворной жидкости и исправности клапанов.

Необходимо избегать возникновения пульсации давления во время прохождения газа через жидкостный затвор.

Пульсация приводит к нарушению работы всей установки, возникают ритмичные вспышки и погасание пламени, нарушение эффективной работы дежурных горелок.

2.3.6. Приборы контроля наличия пламени

Все тепловые агрегаты, которые при эксплуатации используют природный газ, необходимо обеспечивать системой по контролю наличия пламени. Во время рабочего процесса существует риск возникновения ситуаций, во время которых пламя на горелке потухнет, а подача газа не будет остановлена. Вследствие чего будет происходить наполнение внутреннего пространства самого агрегата, а так же он начнет поступать в окружающую среду. При возникновении открытого огня или искры очень высок будет риск взрыва, вследствие воспламенения газа.

Методы контроля наличия пламени подразделяются:

- прямой контроль;
- косвенный контроль.

К прямому контролю:

- ультразвуковой контроль;
- термометрический контроль;
- ионизационный;
- фотоэлектрический.

К косвенному контролю:

- контроль за разрежением в топке;
- контроль подающегося давления в топке;
- контроль давление и его перепадов перед;
- контроль за стабильным наличием источника воспламенения.

Ионизационный метод основывается на электрических процессах, которые протекают в пламени:

- свойство пламени проводить ток;
- свойство выпрямление переменного тока;
- способность возбуждения в помещенных в пламя электродов возбуждать пламя.

Фотоэлектрический метод основывается в измерении фотодатчиками уровня видимого и невидимого излучения с внутренним или внешним фотоэффектом.

Методы контроль наличия пламени подразумевают большое количество конструктивных решений.

Рассмотрим факторы, которые обуславливают реакции горения:

«Основными факторами развития реакции горения горючей газовой смеси служат:

- температура реагирующей смеси;
- исходная концентрация реагирующих веществ;
- давление». [11]

В случае возникновения факта погасания пламени, температура термопары будет снижаться. Вследствие этого возникающая э.д.с. будет недостаточной, и клапан перекроет поступление газа.

Рассмотрим ионизационный метод контроля. Данный метод отражает собой электрические свойства пламени. Устройства обеспечения безопасной эксплуатации, которые основывают свою работу на данном методе, имеют преимущество. Оно состоит в безынерционности процесса. Оно достигается за счет того, что в случае факта погасания пламени, все ионизационные процессы будут прекращены, а вследствие этого прекращается поступление газа в горелки. Технические решения, которые базируются на данном методе, основываются на следующих принципах:

- электропроводность пламени;
- э.д.с. пламени;
- вентильный эффект пламени;
- явление электрической пульсации.

За пределами России широкое применение находит метод, использующий вентильный эффект. Это обусловлено тем, что при его применении в случае замыкания датчиков не произойдет факта подачи ложного сигнала. Данное техническое решение применялось на комплексной автоматике котлов

отопления. Переменное напряжение, между корпусом горелки и электродом, выпрямляется при действующем пламени.

При факте погасания пламени сигнал управления не поступает в усилительное устройство. Происходит автоматическое запираание лампы, обесточивание реле, поступает команда на прекращение подачи газа. Эти же процессы будут происходить во время замыкания электрода на корпусе. Схема имеет недоработку. Открытое положение рабочей, правой стороны электрода, возможно только с помощью закрытия другой, нерабочей.

Существует метод, который в своей работе использует свойство электрического потенциала. Оно возникает от горения факела установки. Когда происходит контакт электродов из металла и горящего факела возникает разность потенциалов, которые будут различны по амплитуде и стабильны по знакам. Значение э.д.с. пропорционально разности значений температуры между электродами и равно 2 В.

Существует метод, который в своей работе использует пульсационное свойство пламени. В данном случае за основу берут процесс горения факела установки, который и сопровождается пульсацией. На процесс не влияют разновидности газов сжигания и модификации горелочных устройств. К описываемым процессам относят:

- температура пламени;
- давление в камере;
- интенсивность излучения;
- ионизация пламени.

Амплитуда и частота находятся в зависимости от скоростных значений истечения смеси воздуха и газа, а так же условий при которых происходит процесс смешивания смеси. Если процесс перемешивания протекает не эффективно, горение может сопровождаться вспышками. Значение ионизационной пульсации измеряют с помощью гальванометра. Данное свойство позволяет обеспечивать автоматический контроль над риском факта замыкания в электро цепи датчика.

Рассмотрим метод контроля наличия пламени, основывающийся на применении технического решения – датчика. Исследуемый прибор производит постоянный контроль пламени. Во время планирования его применения необходимо определиться с видом и местом расположения.

Наиболее распространенные датчики:

- ионизационные;
- оптические.

Работа ионизационных датчиков основывается на электрической проводимости пламени.

Работа оптических основывается на свойствах оптики пламени. Во время процесса горения происходит излучение в видимом, ультрафиолетовом и инфракрасном спектрах. Инфракрасный спектр представляет собой волны в промежутке от 0,8 мк до 0,8 мм. Видимое излучение находится в диапазоне от 0,4 мк до 0,8 мк. Ультрафиолетовое от 20 нм до 0,4 мк. Для каждого диапазона в фотоприемном устройстве есть необходимый чувствительный элемент. В соответствии с определенной чувствительностью датчики подразделяют на инфракрасные, ультрафиолетовые и датчики светимости. Горящий факел представляет собой горящую турбулентную струю, внутри которой происходит пульсация параметров и смешивание. Излучение от пламени так же имеет пульсирующий характер. Разработаны чувствительные элементы, которые способны зафиксировать пульсацию излучения во всех спектрах.

Для осуществления контроля наличия пламени применяют:

- ионизационный электрод;
- фотодатчик.

Фотодатчики активно находят свое применение в процессе контроля основных горелок, так как при небольших размерах пламени установки, их работа становится неэффективной.

Так же их подразделяют по чувствительности в соответствии с длиной светового потока:

- реагирующие на видимый и инфракрасный спектр;

– реагирующие на ультрафиолетовую составляющую.

Рассмотрим основной фоторезисторный фотодатчик (ФДЧ). Фоторезистор датчика принимает световой поток, усиляет и преобразует в выходной сигнал, который должен соответствовать освещению. Либо он подает поток на обмотку реле. В случае если освещенность выше установленной нормы, контакты реле замыкаются. Конструктивные особенности датчика дополнительно определяются типами сигнала и контактами используемого реле. ФДЧ обычно эксплуатируют совместно с вторичным устройством. Он обеспечивает основной датчик постоянным питанием. Если применяется датчик с токовым выходом, то на дополнительном устройстве настраивают пороги срабатывания. Существуют различные типы дополнительного устройства, которые позволяют осуществлять контроль над сигналом ионизационных электродов от запальной горелки, а также осуществлять контроль над работой горелки и розжигом с применением встроенных реле.

Фотодатчики имеют недостатки в эксплуатации. Один из них, это реагирование на все источники передачи света (свет фонаря, излучение нагретых объектов, и др.). Данная особенность ограничивает возможность их применения в стендах нагревания, по причине того что будут происходить ложные срабатывания и блокировка автоматической работы. Широкое применение ФДЧ обретают в процессах, на которых температура не превышает допустимых значений (300-400 °С).

Рассмотрим ультрафиолетовые датчики (УФД). Датчик UVS-1 распознает при своей эксплуатации только незначительную часть общего потока, ультрафиолетовую. Данное излучение хорошо выявляется только при горящем пламени, от нагретых тел и конструкций оно будет столь незначительным, что не вызовет срабатывания датчика. Этот факт повышает эффективность работы.

Основная конструктивная особенность рассматриваемого датчика вакуумная лампа, которая выполняет фотоумножительную функцию. Необходимое напряжение составляет 220 В. Недоработкой в работе такого

датчика, является сокращенный срок эксплуатации. С течением лет лампа теряет эмиссионные свойства, и датчик прекращает свою работу.

Для эффективного контакта с пламенем, как датчики размещают в зоне приближенной к горелкам с наклоном в 20 - 30 °С относительно оси. Фотодатчики подвергаются сильному воздействию теплового излучения, исходящего от стенок агрегата, и нагреву от излучения, поступающего от визирного окна. Для решения этой проблемы датчики обеспечивают защитными стеклами и постоянным обдувом. Стекла изготавливают с применением жаропрочных кварцевых стекл. Их установку производят в зоне перед визирным окном датчика. Обдув производят либо сжатым воздухом низкого давления, либо воздухом от вентилятора. С помощью обдува происходит охлаждение и запускается процесс теплоотдачи и возникает область высокого давления, которая не подпускает к датчику горячий воздух.

Как обозначалось ранее, для контроля пламени на запальниках, как правило, свое применение находят ионизационные электроды. Во время процесса сжигания газов происходит образование свободных частиц.

Для осуществления контроля пламени на запальниках применяют ионизационный датчик с имеющим в своей конструкции электрод. Работа этого датчика состоит в том, что во время сжигания топливного газа образуются свободные частицы ионы и электроны. Ионизационный электрод их притягивает, вследствие данного процесса вызывает ток ионизации. Величина протекаемого тока составляет десятки микроампер. Датчик соединен с автоматом горения. В случае если при горении количество свободных выделяемых частиц соответствует норме, то автомат срабатывает на разрешение работы основной горелки. Если количество ниже нормы, то автомат подаст команду на отключение основной горелки.

Ионизация может быть недостаточна в данных случаях:

- если нет соответствующей концентрации газа с воздухом;
- если в процессе эксплуатации электрод обгорает, либо загрязняется;

– если в процессе эксплуатации снижается сопротивление между конструктивными частями датчика.

Снижение сопротивления может происходить вследствие оседания на запальное устройство пыли, которая может проводить ток.

Широкое применение находят автоматы горения. Плюсом данного устройства является то, что оно позволяет осуществлять полное автоматическое управление процессом розжига факельной установки.

Ионизационный электрод устанавливают вдоль оси запального устройства, таким образом, чтобы конец располагался в коре пламени. Возможно совмещение функций, а именно использование его и как часть запального устройства. При совмещении за определенный промежуток времени на электрод направляется напряжения для последующего розжига. После поджига запальника, он возвращается к своей основной функции, контролю ионизации. При использовании данного метода возможно возникновение ситуации, когда вследствие обрыва вторичной обмотки трансформатора сигнал может пропасть. Данную ошибку иногда трудно выявить вследствие того, что искра может продолжать генерироваться.

Концентрация газа с воздухом имеет важное значение для безопасной работы. Обычно параметры концентрации и давления указываются в паспорте запальной горелки, устанавливаются изготовителем. Для настраивания необходимых объемов газа и воздуха к запальнику используют манометр, подключенный к газовому и воздушному тракту.

Установку ионизационного электрода к запальнику осуществляют через изолирующую трубку, изготовленную из керамики, и подсоединяют к входу автомата горения. Если контролирующая функция электрода совмещается с зажигающей, то его соединяют при помощи высоковольтного кабеля с трансформатором запальника. Ионизационный электрод изготавливают из сплава металлов стойкого к высоким температурам и электрохимической коррозии.

С целью достижения эффективной работы и снижения риска отсутствия ионизации, которое ведет за собой остановку установок, применяется схема «ИЛИ». Данная схема позволяет осуществить постоянный контроль. Если температура установки превысила $750\text{ }^{\circ}\text{C}$, и сигнал от запальника перестал поступать, то работа основной горелки не прекратит свою работу.

Существует огромный диапазон возможных датчиков. Важно правильно подобрать прибор, так как обратное может стать причиной аварийных ситуаций.

При проектировании установки с ионизационными датчиками необходимо учитывать, что от типа пламени зависит количество ионов, которые должны сформировывать ток и которые должен считывать датчик. На пламя напрямую влияет тип используемого топлива.

Неэффективная эксплуатация возникает при горении окиси углерода, газа ферросплавных печей, который содержит большое количество CO . Использование этих газов повлечет за собой отказы [19] системы контроля. Для работы в этих диапазонах необходим оптический датчик.

Большое значение имеет материал, который применялся для изготовления электрода. Материал должен соответствовать нормам жаростойкости и сопротивления окислению. Устройство должно быть оптимальных размеров. При избыточном значении длины электрод будет подвергаться сильному тепловому воздействию, что приведет к скорой деформации и перегреву. При недостаточном значении возникает риск отказа [19], из-за большого расстояния между электродом и кромкой корпуса горелки. Необходимое же значение определяется опытным путем.

При правильно спроектированной системе соединение корпуса и горелочного камня обеспечивает скрытие факела, горящего в топке. В данном случае необходимо провести дополнительный заземляющий контур и вывести его на горелочный камень.

Одной из причин неэффективности ионизационного датчика может стать запыленность атмосферы в рабочей области.

Преимущество оптического датчика пламени является двояким. Датчики, работающие с инфракрасным излучением, эксплуатируются в устройствах с охлаждаемыми стенками, которые не создают излучения. Частотные датчики эффективно применяются в средах, где действуют пульсирующие свойства. Остальные факторы являются стационарными.

На производстве во время остановки эксплуатации горелки, в амбразуру продолжает поступать воздух. Данный воздух запускает процесс охлаждения футеровки системы, что приводит к ее пульсации светимостью. Последствием этой ситуации будут ложные сигналы о работе горелки.

Вернемся к риску возможной запыленности среды. На производстве огнеупорной промышленности производился обжиг глины. Атмосфера не была запыленной, факел установки был видимым. Контролирующую функцию выполнял оптический ультрафиолетовый датчик. В дальнейшем тип глины был изменен, и при ее обжиге установка стала образовывать пыль. Атмосфера стала загрязненной, и эффективная работа датчика стала невозможной.

Наиболее эффективными являются датчики, работающие в диапазоне от 0,4 до 0,01 мкм, и не реагирующие на разогретые поверхности. Однако выбор места установки требует экспериментальных исследований.

При установке датчиков необходимо соблюдать определенные нормы, при которых фотодатчик мог отслеживать лишь контролируемое пламя и не мог реагировать на пламя приближенных к нему горелок. Данное условие имеет большую важность для безопасной эксплуатации.

Большое значение имеет установленное устройство розжига пламени, его конструктивные особенности и место нахождения. Важность объясняется тем, что большинство аварийных ситуаций возникает при пуске, начале эксплуатации систем. Существуют стандарты пусковой мощности горелки. Данные нормы определяют минимальные мощности выработки тепла, во время которой производится эффективное зажигание топливных газов. Значение не должно быть более 50 % от номинально возможной мощности горелки. Однако данное значение трудноопределимое из-за того, что при пуске горелок

начинается автоматический процесс открытия отсечного клапана, и реальный расход топливных газов в момент воспламенения почти не определим. Возможно измерение мощности экспериментальным методом при ручном розжиге, данный процесс необходимо отражать в технической документации горелки.

Минимальная энергия зажигания, определяют как наименьшее измерение электрического заряда, при котором возможно эффективное воспламенение топливной смеси. Данное понятие тяжело в применении по причине того, что для измерения и выводов необходимы дополнительные предварительные данные о месте расположения электроразрядного устройства, отражающие местонахождение точки или область сечения выходного сечения горелки, а так же предполагаемый состав топливной смеси в определяемых координатах зажигания.

Рассмотрим пример неэффективного расположения запальника в топочной камере (Рисунок 1):

«Пример неудачного расположения газового запальника в топочной камере показан на рисунке. На одном торце цилиндрической футерованной камеры сгорания установлена вихревая горелка с тангенциальными подводами газа и воздуха. На другом торце камеры выполнен отвод продуктов горения. На торце вихревой горелки, по ее оси, установлено газовое запальное устройство.

При работе горелки создается интенсивный вихревой поток как в самой горелке, так и в камере сгорания. Причем весь основной поток воздуха движется по спирали вдоль футеровки. На оси камеры и горелки при этом формируется зона возвратного течения, в которой сначала воздух, а после воспламенения и поток продуктов горения движется в обратную сторону от дымоотводящего торца топки к горелке. Такая схема ввода газа и воздуха способствует интенсивному перемешиванию реагирующих потоков и полному выгоранию горючих компонентов. Однако такая схема ввода энергоносителей и расположения запального устройства опасна в период розжига горелки». [10]

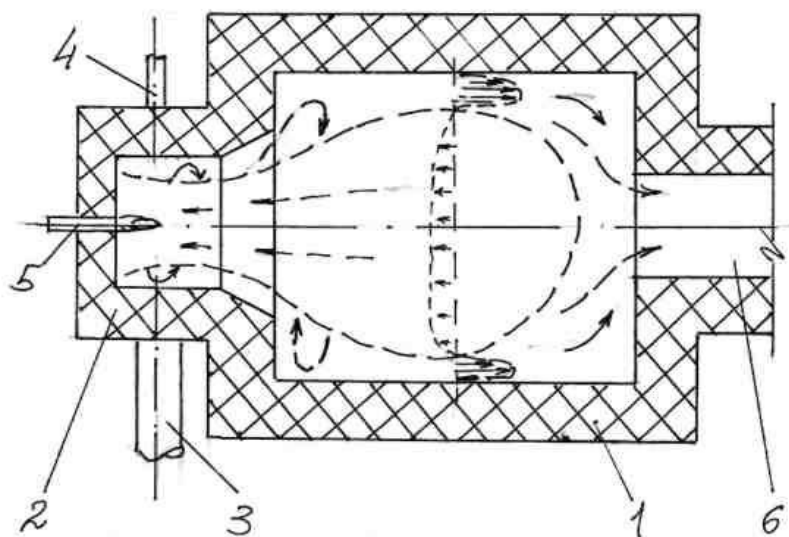


Рисунок 1 - Схема неудачного расположения запальника в вихревой топке

1 – топка; 2 – вихревая (или циклонная) горелка; 3 – тангенциальный ввод воздуха; 4 – тангенциальный ввод газа; 5 – газовый запальник; 6 – дымоотвод (стрелками обозначены линии тока газа и воздуха и эпюра скоростей в среднем сечении топки)

Во время начала подачи топливного газа в горелку, он тоже начинает движение вдоль стены камеры спиралью. Эти процессы образуют газоздушную смесь. Из-за того, что на оси горелки в этот момент есть воздух, воспламенение не происходит. Начинается процесс смешивания газа и воздуха, снижение скорости. Далее образовавшаяся смесь поступает в центр камеры и продолжает свое движение к горелке. В момент попадания смеси в запальник, топочный объем оказывается заполненным смесью. Воспламенение смеси приводит к взрыву во всем топочном объеме.

Если ионизационный датчик и запальное устройство будут установлены ближе допустимых норм, появится риск дачи ложных сигналов о наличии пламени, в тот момент, когда факта воспламенения нет.

2.3.7. Системы подавления взрыва

Для того чтобы предотвратить возможное разрушение конструкции установки при воспламенении горючей смеси используют метод обеспечения безопасности - систему подавления взрыва.

Рассматриваемая система представляет собой взрыворегистрирующую и взрывоподавляющую части. В состав первой включены преобразующий датчик и установка, осуществляющая пусковые сигналы. Вторая часть оснащена побудителем и аккумулятором огнетушащего вещества.

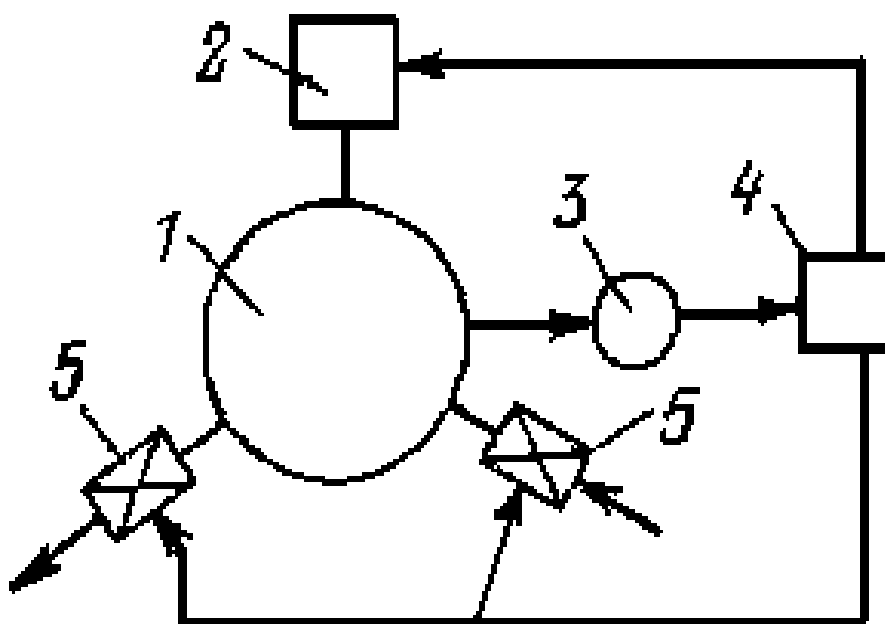


Рисунок 2 – Схема системы автоматического подавления взрыва

Конструктивные части схемы:

- 1 – объект защиты;
- 2 – взрывоподавляющее устройство;
- 3 – датчик;
- 4 – сигнально-пусковая установка;
- 5 – устройства блокировки.

Суть метод состоит в том, что он позволяет регистрировать минимальные очаги возгорания, при помощи преобразующего датчика. Далее происходит

усиление импульса управления в сигнально-пусковую установку. При получении импульса начинается процесс подачи и распыления огнетушащего вещества со скоростью 100-200 м/с во внутреннюю часть аппарата. Данные процесс приводят к полной остановке горения.

В конструкцию входит сосуд полусферической формы, изготовленный из стекла, и наполненный галоидопроизводными веществами. Так же внутри находится горючее вещество, которое воспламеняется по сигналу соответствующего датчика. После поступления сигнала происходит разрушение исследуемого сосуда и выход содержимой жидкости с высокой скоростью. Данный метод позволяет в короткие сроки предотвратить дальнейший рост давления в взрывоопасной ситуации.

Были проведены опыты по гашению взрыва в трубе длиной 30 м и диаметром 300 мм, имитирующей факельную установку. Труба соединялась с емкостью, в которой горючее смешивалось с воздухом перед каждым испытанием. Труба была рассчитана на давление 700 кПа. Смесь содержала 5% пропана и 95% воздуха; состав смеси контролировали на хроматографе. Перед воспламенением трубу продували до тех пор, пока она полностью не заполнялась горючей смесью указанного состава. Труба была оснащена ионизационными зондами для определения положения фронта пламени и датчиками для определения профиля давления в трубе в зависимости от местонахождения фронта пламени. Для воспламенения смеси использовали искру с энергией 105 Дж.

Первоначальные опыты с трубами длиной 6, 11 м показали, что при воспламенении смеси у открытого конца средняя скорость пламени составляла 1,8 м/с, а на последних метрах трубы увеличивалась до 25 м/с. Рост давления начинался при скорости пламени примерно 3 м/с. В трубе длиной 30 м происходило дальнейшее ускорение пламени с переходом в детонацию. Об этом свидетельствуют повреждения у закрытого конца трубы и зарегистрированные значения давлений 1000-1400 кПа. Эти величины

значительно превышают максимальное давление взрыва стехиометрической пропано-воздушной смеси в сферическом сосуде.

В трубе длиной 30 м устанавливали два гасящих устройства на расстоянии 7 и 22 м от открытого конца. Детектор состоял, из диафрагмы с электроприводом к взрывателю тушащего вещества через Т-образный насадок вниз и вверх по трубе.

Данный метод увеличивает надежность эксплуатации, производит полную локализацию очага возгорания и останавливает увеличение давления.

2.3.8. Применение лабиринтных уплотнителей

Для того чтобы уменьшить расход продувочного газа используют метод эксплуатации молекулярных уплотнителей, иначе лабиринтных. Они представляют собой затворы, устанавливаемые в верхней части факельной трубы.

Данный метод уменьшает необходимые объемы поступающего продувочного газа в 10 раз и тем самым обеспечивает экономическую эффективность эксплуатации, особенно для труб, имеющих большой диаметр.

Лабиринтные уплотнители предупреждают попадание воздуха внутрь трубы. Данный эффект достигается за счет воздействия скорости напора и ветровой нагрузки. При охлаждении горячих газов сброса метод неэффективен. Вследствие этого предусматривается дополнительная подача газа продувки, до окончания сброса горячих газов.

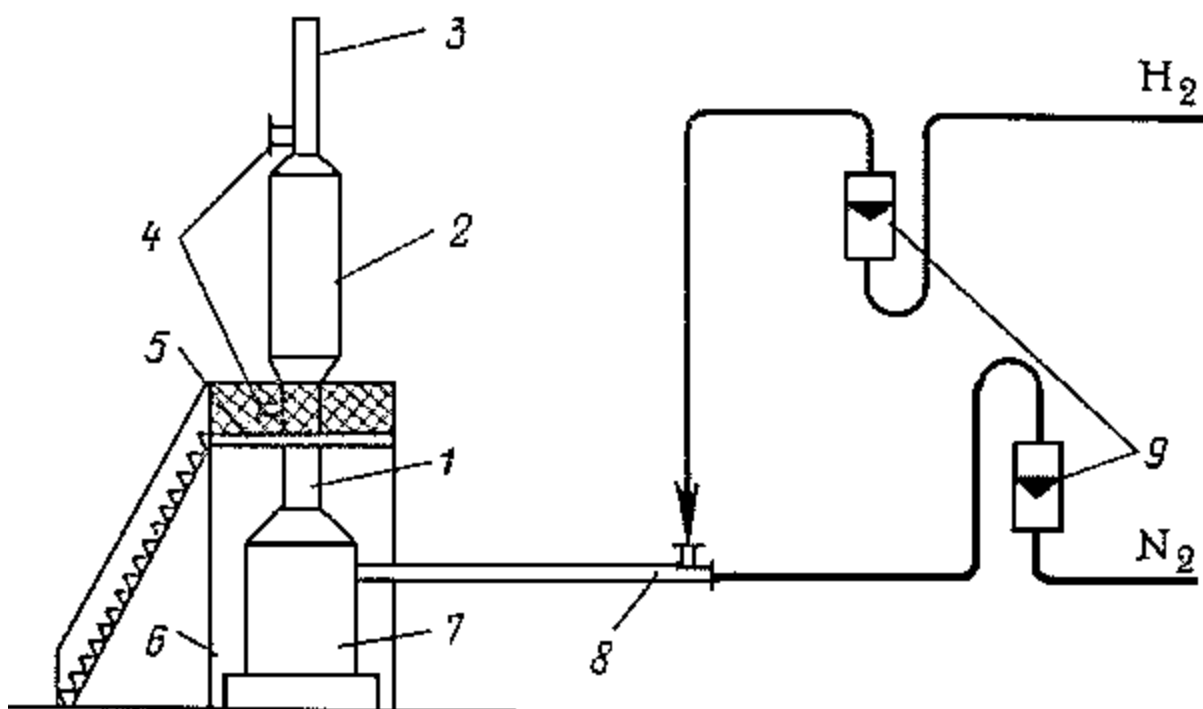


Рисунок 3 – Схема установки для определения условий безопасной продувки факельных труб

Конструктивные элементы схемы:

- 1 - факельная труба;
- 2 - лабиринтный уплотнитель;
- 3 - патрубок;
- 4. - штуцер для отбора проб;
- 5 - площадка для обслуживания;
- 6 - металлоконструкции;
- 7 - сепаратор;
- 8 - факельный трубопровод;
- 9 - ротаметры.

Рассмотрим эксплуатацию установки с применением лабиринтного уплотнителя:

«Установка состояла из факельной трубы, лабиринтного уплотнителя 2, патрубка 3, сепаратора 7 и факельного трубопровода 8. Для сравнительных

опытов на сепаратор 7 устанавливали факельную трубу без лабиринтного уплотнителя. Штуцеры 4 для отбора проб были расположены рядом с присоединительными фланцами лабиринтных уплотнителей. Газы подавали через ротаметры 9. Набор комплектующих элементов позволял установить на емкости факельные трубы диаметром 50, 100 и 250 мм и соответствующие им лабиринтные уплотнители, в которых отношение высоты-перепада газа к диаметру трубы составляло 10: 1.

Были определены скорости заполнения воздухом факельной трубы после продувки ее азотом, зависимость содержания кислорода в трубе от скорости продувки, а также влияние сброса водорода на содержание кислорода в трубе при минимально необходимой скорости продувки азотом.

В первой серии опыты проводили следующим образом: трубу продували азотом до установления неизменного содержания кислорода в ее нижней части, затем прекращали подачу азота и через определенные промежутки времени одновременно из всех штуцеров, расположенных на различной высоте, отбирали пробы из факельной трубы для определения изменения содержания кислорода в зависимости от времени. Анализ проводили на хроматографе.

Во второй серии опытов устанавливали по ротаметру требуемый расход продувочного азота и через определенные промежутки времени отбирали пробы из факельной трубы. Опыты проводили до установления стационарного распределения содержания кислорода по высоте трубы.

В третьей серии опытов в трубу с заданной скоростью подавали водород и одновременно с переменной скоростью азот.

Скорость диффузии кислорода воздуха в трубу без лабиринтного уплотнителя в несколько раз превышает скорость диффузии кислорода воздуха в трубу с лабиринтным уплотнителем, т.е. лабиринтный уплотнитель эффективно замедляет проникновение кислорода воздуха в трубу и наделяет предотвращает образование взрывоопасных смесей даже в случаях малой скорости сброса водорода при скоростях продувочного азота порядка 0,05 м/с.

Изменение содержания кислорода вследствие диффузии воздуха в трубу без лабиринтного уплотнителя и в трубы, на которые были установлены лабиринтные уплотнители. Предварительно перед каждым опытом трубу продували азотом и отбирали пробу под лабиринтным уплотнителем для определения содержания кислорода». [32]

3. Внедрение метода обеспечения безопасной эксплуатации с использованием струйного затвора на примере ПАО «Тольяттиазот»

3.1 Анализ факельной системы ПАО «Тольяттиазот»

Рассмотрим действующую факельную установку на химическом производстве ПАО «Тольяттиазот».

Факельная установка предназначена для сжигания сбросных газов из отделения сероочистки, конверсии метана и окиси углерода, очистки газа от диоксида углерода и метанирования, отделения компрессии и синтеза, отпарной газ из установки разгонки газового конденсата и АВС в аварийных случаях, а так же в пусковой период.

Факельная установка обслуживается оператором ДПУ очистки газа от диоксида углерода.

В факельную установку входят:

- трубопроводы сбросных газов на факел;
- сепаратор с системой обогрева;
- лабиринтный затвор;
- факельный наконечник;
- четыре дежурных горелки;
- система зажигания.

В целях поддержания нормального технологического режима в течение смены оператор следит:

- за постоянной работой дежурных горелок, поддерживая давление природного газа на горелки 0,2-0,25 МПа (2,0-2,5 кгс/см² в квадрате), за постоянной подачей природного газа в линию 4» V401;
- за расходом азота в коллекторы факельной установки, не допуская падения расхода до минимального значения;
- за уровнем в сепараторе факела и за переливом через гидрозатвор в конденсатоотводчик;

- за содержанием кислорода в нижней части ствола факела (лабораторный анализ газа);
- за наличием постоянного давления топливного газа и воздуха в линиях подачи их в запальное устройство;
- за составом газового конденсата при сбросе его в канализацию (лабораторный анализ на токсические примеси);
- за работой системы обогрева в зиме время;
- за исправным состоянием горелок и качеством сбрасывания газа;
- за размером пламени факела, интенсивностью и характером горения;
- при необходимости определяет характер выбросов и анализирует состав выбросов, если место сброса газа неизвестно и его невозможно определить другим путем.

Состав:

1. Сепаратор.

Назначение – для отделения сконденсировавшейся влаги от газа и обогрева ее в зимнее время.

Рабочее давление – 0,7 кгс/см в кВ

Расчетное давление – 2 кгс/см в кВ

Рабочая температура – до 450 °С

В сепараторе расположен змеевик.

Длина трубки змеевика – 10,66 м

Диаметр трубки – 38 мм

Рабочее давление – 3,5 – 4,0 кгс/см в кВ

Габариты сепаратора:

Высота – 8534 мм

Диаметр – 2743 мм

2. Труба факельная.

Назначение – транспортирование газа после сепаратора к головке факела.

Рабочее давление – до 2,0 кгс/см в кВ

Рабочая температура – до 450 °С

Рабочая среда – газ технологический.

Высота трубы 31 м

Диаметр наружный 1076 мм

3. Затвор лабиринтный.

Назначение – предохраняет факельный ствол трубы от попадания атмосферного воздуха.

Рабочее давление – 0,7 кгс/см в кВ

Расчетное давление – 2 кгс/см в кВ

Рабочая температура – до 450 °С

Высота – 5791 мм

Диаметр 2133 мм

4. Наконечник.

Имеет четыре инжекционные горелки.

Диаметр трубки горелки – 2,08 мм

Высота наконечника – 3657 мм

Диаметр наконечника – 1244 мм

Наконечник внутри футерован в соответствии со стандартом ИЕД-27.

Проволочная сетка имеет размеры 2-х2-0,63.

Краткая характеристика оборудования факельной установки:

Факельная установка поз. D-801;

Вертикальный сварной аппарат, состоящий из 4-х элементов:

Сепаратора, трубы, лабиринтного (газового затвора), наконечника;

Высота всей установки – 50 м;

Рабочее давление – 0,7 кгс/см в кВ;

Расчетное давление – 2,0 кгс/ см в кВ;

Рабочая температура – до 450 С.

На исследуемой факельной установке эксплуатируется лабиринтный затвор или иначе лабиринтный уплотнитель. Он находится в верхней части факельной трубы под факельной горелкой. С помощью лабиринтного затвора

затрудняется проникновение воздуха в факельную трубу, которое может происходить за счет за счет скоростного напора и ветровой нагрузки. При этом при охлаждении сбрасываемых газов он не защищает. Поэтому при эксплуатации лабиринтных затворов предусматривают подачу дополнительных объемов продувочного газа, до остановки сброса горячих газов.

Таблица 3 - Перечень контролируемых параметров

№ п/п	Позиция прибора	Контролируемая среда, место контроля	Единица измерения	Частота и способ контроля	Система контроля	Норма и технические показатели	Кто контролирует
1	2	3	4	5	6	7	8
1	PI-0213	Топливный газ к дежурным горелкам факела	кгс/см в кВ	Контроль по месту периодически	Технический манометр	2,0-2,5	оператор
2	PI-0217	Воздух к запальнику	кгс/см в кВ	Контроль по месту периодически	Технический манометр	2,0-2,5	оператор
3	FR-2801	Топливный газ в линии 2 FG-7	м в кубе/ час	Контроль в ЦПУ постоянно	Регистратор расхода	50-220	оператор

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
4	FI-2802	Топливный газ в линии 1 FG-13	м в кубе/ час	Контроль по месту периодически	Индикатор расхода	30-50	оператор
5	FR-2804	Азот в линии 1Т-911	м в кубе/ час	Контроль в ЦПУ постоянно	Регистратор расхода	90-110	оператор
6	FR-2803	Азот в линию 1 N-15	м в кубе/ час	Контроль в ЦПУ постоянно	Регистратор уровня	90-110	оператор
7	LR-2805	Газовый конденсат в кубе факела	%	Контроль в ЦПУ постоянно	Регистратор температуры	25-75	оператор
8	TR-2805	Газовый конденсат в кубе факела	С	Контроль по месту периодически	Технический манометр	0-200	оператор

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
9	PI-2806	Разряжение в стволе факела	Мпа (кгс/см в кв)			10+(-)5 Мпа 100+(-)50 кгс/см в кв	оператор

3.2 Применение факельного оголовка со струйным затвором с целью повышения безопасной эксплуатации факельной системы ПАО «Тольяттиазот»

В процессе эксплуатации ФУ с применением лабиринтного затвора существует риск прохождения воздуха внутрь ствола. Данное явление может спровоцировать внутреннее возгорание системы. В процессе работы процент кислорода в составе образуемой газовой смеси на дне исследуемого устройства может достигать примерно 6%. Такой состав приводит к риску возникновения взрывоопасной смеси и может спровоцировать внутреннее горение. Горение внутри оголовка ФС отрицательно сказывается на реальном сроке службы установки.

Даже использование рекомендуемых расходов затворного газа не предотвращает внутреннего горения.

Происходят следующие процессы:

- процесс внутреннего горения оголовка ФУ;
- сокращение срок эксплуатации оголовка, вследствие теплового воздействия;
- высокое тепловое воздействие на оголовок;
- необходимость подачи дополнительных объемов затворного газа.

Метод обеспечения безопасной эксплуатации факельных систем с использованием струйного затвора позволит решить эти проблемы. Предлагаемый струйный затвор трубы повышает эффективность функционирования оголовка. Полезная модель факельного оголовка с факельным затвором описывается в исследованиях к патенту РФ RU №176876 U1, опубликованному 31.01.2018 г., «Оголовки факельной установки» [42]. Данная модель возможна к применению к оголовкам факельных установок с постоянным, периодическим и аварийными сбросами, с последующим сжиганием утилизируемых паров и газов. Оно может быть использовано в нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей,

нефтехимической и химической отраслях. Безопасная эксплуатация достигается за счет оголовка, внутри которого находится цилиндрическая труба, с установленными внутри прямоточным струйным затвором и заслонкой, состоящей из двух частей, между которыми находится центральный зазор. Центр тяжести заслонки в откинутом положении смещен относительно оси поворота к оси рабочего элемента с самопроизвольным возвратом заслонки в исходное положение. Диаметр трубы больше диаметра заслонок на 5-10 мм. Струйный затвор выполнен в виде усеченного конуса, который обращен меньшим диаметром к выходной части. Он же является упором для заслонок в закрытом положении.

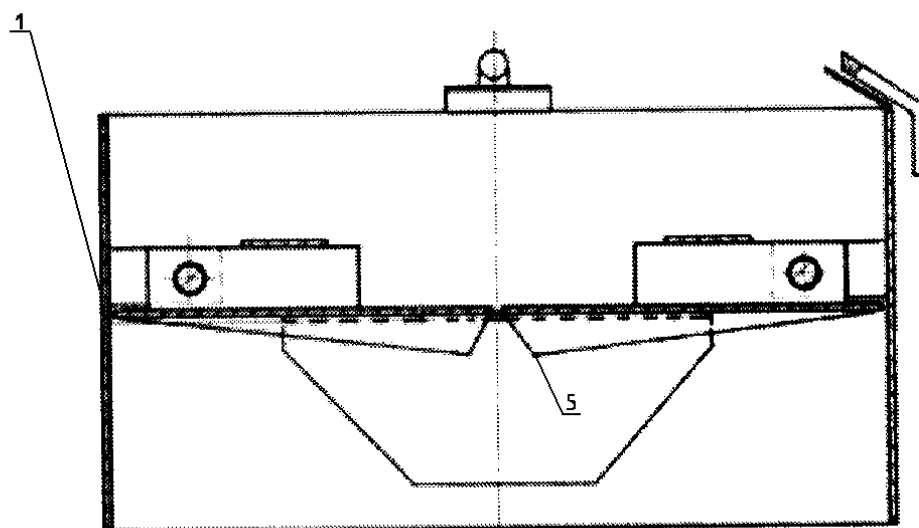


Рисунок 4 – Осевой разрез оголовка факельной установки

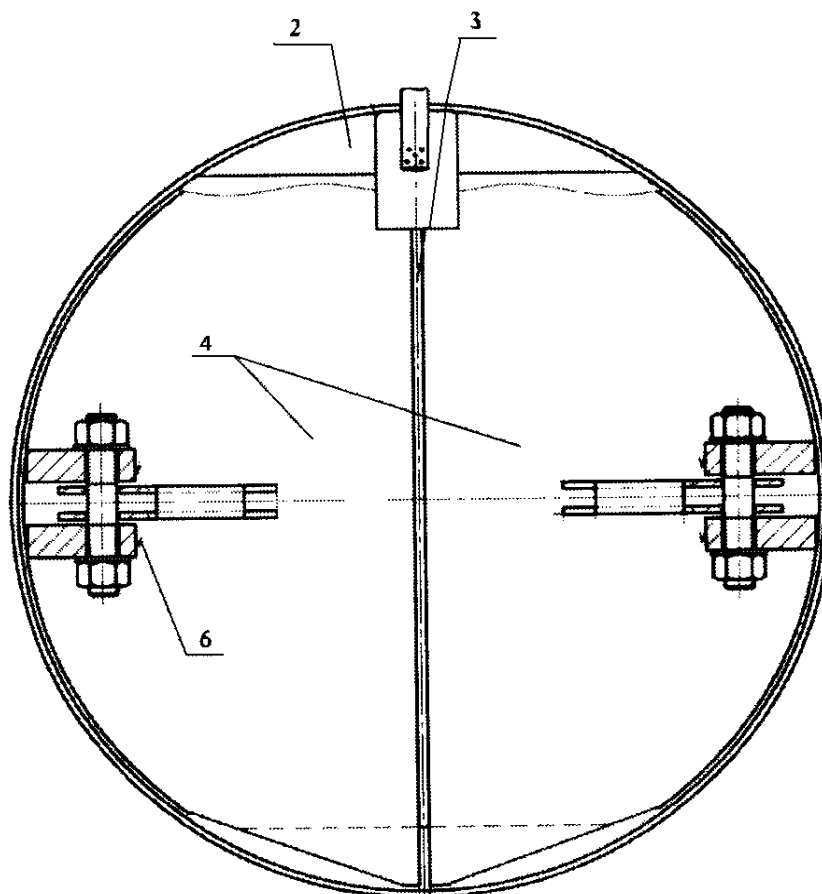


Рисунок 5 – Оголовок факельной установки. Вид сверху

На рисунке 4, 5 графически изображены виды оголовка факельной установки.

Рассмотрим оголовок ФУ, из предлагаемого метода:

«Оголовок факельной установки включает цилиндрическую трубу 1 и установленный в ней прямоточный струйный затвор 2 в виде усеченного конуса, обращенного меньшим диаметром к выходной части. Внутри цилиндрической трубы 1 по окружности над прямоточным струйным затвором 2 расположены с центральным зазором 3 заслонки 4. Позицией 5 обозначен центр тяжести на заслонках 4. На креплении заслонок 4 находится амортизатор 6, например, пружина.

Оголовок факельной установки работает следующим образом.

При поступлении сбросного газа (в том числе резком, возникающем при аварийных сбросах) в цилиндрическую трубу 1 оголовка, газ попадает в

прямоточный струйный затвор 2. За счет того, что прямоточный струйный затвор 2 выполнен в виде усеченного конуса, обращенного меньшим диаметром к выходной части, на выходе давление газа увеличивается, воздействуя на заслонки 4, поворачивает их до соприкосновения с амортизатором 6. При этом струи газа при открытых заслонках 4, которые в откинутом положении не препятствуют потоку выходящего газа, выбрасываются в атмосферу. Разность диаметра заслонок и диаметра трубы на 5-10 мм обеспечивает возможность свободного поворота заслонок, при этом если разность диаметров будет менее 5 мм, то заслонки при открытии будут упираться в цилиндрическую трубу, что препятствует их открытию. При разности диаметров заслонок и цилиндрической трубы более 10 мм - функция заслонок не эффективна. Чтобы заслонки 4 не соприкасались с трубой 1, заслонки 1 срезаны (вид сверху). При полном открытии верх заслонок 4 находится выше среза трубы 1 не зависимо от их диаметра.

При отсутствии же давления газа заслонки 4 за счет того, что в откинутом открытом положении ее центр тяжести 5 смещен от оси поворота к оси затвора 2, самопроизвольно возвращаются в исходное положение (закрываются), опираясь на прямоточный струйный затвор 2 во избежание провисания.

Незначительные расходы газов (постоянные затворные, технологические продувки и т.д.) могут выходить в зону горения через конструктивные зазоры между цилиндрической трубой 1 оголовка и заслонками 4, а также центральный зазор 3. Струи газов с низкими скоростями, но тонкие или плоские, с высокой удельной поверхностью хорошо смешиваются с воздухом и сгорают бездымно». [42]

Расходы газов (технологические продувки, постоянные затворные и т.д.) будут минимальными. Тонкие или плоские струи, с небольшими скоростями легко смешиваются с воздухом, и сгорание происходит бездымно, в соответствии с требованиями федерального законодательства [8] и требованиями государственного стандарта [9]. Таким образом,

эффективная работа предлагаемого метода эффективна, как при низких, так и при высоких давлениях газа.

Струйный затвор является альтернативой используемого лабиринтного. Благодаря тому, что он, устанавливается у верхней части оголовка, он устраняет внутреннее горение, с использованием минимальных объемов продувочного газа.

Так же он позволяет отказаться от футеровки и дренажных устройств. Из-за воздействия теплового излучения происходит разрушение футеровки. Ее части отпадают и скапливаются в дренажной отверстии, тем самым его забивая. Данный процесс в свою очередь приводит к риску невозможности отвода жидкости и образованию конденсата внутри установки. Газ начнет поступать через образовавшуюся пробку. Прохождение газа через жидкость приведет к образованию и выбросу горящих капель через оголовок трубы. Другая опасность образования описанной пробки заключается в возможности ее замерзания при холодных температурах. В данном случае подача газа станет невозможной. Для защиты от замерзания, ФУ дополнительно оборудуют электро или пароподогревом. При эксплуатации струйного затвора его устанавливают максимально близко к срезу оголовка факельной трубы, что позволяет отказаться от подвергающейся разрушению футеровки, электро и пароподогрева и дренажных устройствах.

Из описанных выше процессов следуют выводы о неэффективности эксплуатации лабиринтного затвора. Его эксплуатация предполагает постоянный профилактический контроль над разрушением и скоплением футеровки в затворах. Предлагаемый метод обеспечения безопасной эксплуатации исследуемой факельной системы является эффективной альтернативой рассмотренных выше сложностей.

Так же при эксплуатации лабиринтных затворов, из-за описанных выше пробок жидкости, запускается процесс конденсирования, который в свою очередь провоцирует коррозии. Лабиринтные уплотнители, как правило, изготавливают с применением низкоуглеродистой стали, которая

подвергается коррозионному воздействию. Коррозия затвора влечет к его обгоранию. Предлагаемый, альтернативный затвор изготавливается из нержавеющей стали, которая не поддается коррозионному воздействию. Сам затвор требует меньших объемов расходов металла на изготовление.

В конструкции струйного затвора предусмотрен конический козырек. Это устройство положительно влияет на срок эксплуатации. Его функция заключается в защите пламени ФУ от бокового ветрового воздействия, так как оно отрицательно влияет на уклон факела. Так же, козырек уменьшает тепловое воздействие, путем образования воздушной камеры. Она осуществляет отвод тепла от металла, сохраняя тем самым низкую температуру. Так же, использование козырька защищает пламя дежурной горелки при боковом ветре, которое может спровоцировать срыв пламени ФУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе представленной диссертации было рассмотрено понятие факельная система. Был проведен обзор научных исследований в области обеспечения безопасной эксплуатации факельных систем. А так же подробно рассмотрены основные технологические элементы системы. На этапе первой главы было теоретически и комплексно рассмотрено понятие эксплуатации факельной системы.

Во второй главе рассматривались методы обеспечения безопасной эксплуатации. Изучались особенности обеспечения безопасной эксплуатации, а так же опыт аварийных ситуаций. Изучались методы обеспечения безопасности с использованием, как различных конструктивных решений, так и методы осуществления технологических процессов. Вторая глава дополнила теоретические исследования первой главы и позволила изучить риски аварийных ситуаций и методы их предотвращения.

Третья глава была посвящена внедрению метода обеспечения безопасной эксплуатации факельной системы с применением струйного затвора на основе патента РФ RU №176867 U1, на предприятии ПАО «Тольяттиазот». В этой главе была рассмотрена действующая факельная система на предприятия. Ее конструкция, особенности эксплуатации, методы обеспечения безопасной работы. Изучен метод с применением лабиринтного затвора. Предложен альтернативный метод, позволяющий получить большую эффективность, долговечность и безопасность эксплуатации факельной системы. Проведен сравнительный анализ действующего метода с лабиринтным затвором с предлагаемым методом, в котором применяется прямоточный струйный затвор.

Предложенный альтернативный метод: позволит сократить риски возникновения аварийных ситуаций, увеличит срок службы факельной установки, снизит уровень теплового излучения, снизит расход затворного газа для предотвращения внутреннего горения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон РФ от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» // Справочно–правовая система «Консультант плюс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/
2. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26.12.2012 №781 «Об утверждении Рекомендаций по разработке планов локализации и ликвидации аварий на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах» // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.entd.ru/document/902389563>
3. Приказ Ростехнадзора от 21.11.2013 №559 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности» Правила безопасности химически опасных производственных объектов» // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.entd.ru/document/499061805>
4. Приказ Ростехнадзора от 11.03.2013 №96 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических и нефтеперерабатывающих производств» // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.entd.ru/document/499013213>
5. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ), Пожарная безопасность. Общие требования // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.entd.ru/document/9051953>
6. ГОСТ 12.1.011-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний (С

изменениями 1, 2) // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001049>

7. ГОСТ 12.1.018-93 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200318>

8. Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/901808297>

9. ГОСТ Р 56061-2014 Производственный экологический контроль. Требования к программе производственного экологического контроля // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200111619>

10. А.А. Винтовкин, В.В. Деньгуб, В.В. Татарников, А.В. Чистополов Анализ ошибок в выборе средств розжига и контроля пламени // Электронный научный архив «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/37287/1/978-5-9907151-1-0_2015_046.pdf

11. Назаров А.А., С.И. Поникаров Факельные установки // Бесплатная электронная библиотека – Научные публикации [Электронный ресурс]. Режим доступа - URL: <http://os.x-pdf.ru/20himiya/284316-1-aa-nazarov-ponikarov-fakelnie-ustanovki-monografiya-kazan-kgtu.php>

12. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 01.06.2009 №290н «Об утверждении Межотраслевых правил об обеспечении работников специальной одеждой, обувью и другими средствами индивидуальной защиты (с изменениями на 12

января 2015)» // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/902161801>

13. ГОСТ 12.0.003 – 2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071>

14. ГОСТ 12.1.007 – 76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2) // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200233>

15. ГОСТ Р 12.0.008-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы управления охраной труда в организациях. Проверка (аудит) // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200073864>

16. ГОСТ Р ИСО 19011 – 2003 Руководящие указания по аудиту систем менеджмента качества и/или систем экологического менеджмента. Руководящие указания по аудиту систем менеджмента качества и/или систем экологического менеджмента (с Поправкой) // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034758>

17. ГОСТ 12.0.230 – 2007 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы управления охраной труда. Общие требования (с Изменением N 1) // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200052851>

18. ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем (с Поправкой) // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200030153>

19. ГОСТ 27.004 – 85 Надежность в технике (ССНТ). Системы технологические. Термины и определения // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200009412>

20. Клюев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х., Клюев А. А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие. 2-е изд., переработки и доп. М. : Энергоатомиздат, 2000. 464 с.

21. С.В. Белов Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды : учебник для вузов – М. : Изд-во Юрайт, 2013. 671 с.

22. Руководство по безопасности факельных систем. Серия 03. Выпуск 68. М. : Закрытое акционерное общество «Научно технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. 48 с.

23. Ю. Н. Безбородов, Н. Д. Булчаев, Л. Н. Горбунова, Н. Н. Позднякова Безопасность и экологичность проекта: учеб. пособие. М. : Красноярск, Сиб. федер. ун-т, 2015. 148 с.

24. Коррозия и защита оборудования при переработке нефти и газа: учебное пособие для вузов нефтегазового профиля. М. : ФГУП ; «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2005. 312 с.

25. ПБ 09-540-03 Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (с изменениями на 26 ноября 2015 года) // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/499013213>

26. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.7 Заземление и защитные меры электробезопасности (Издание седьмое) // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200030218>

27. В. Л. Шульман, А. Ф. Рыжков, Т. Ф. Богатова Развитие топочных технологий в российской энергетике : учебное пособие Министерства

образования и науки Российской Федерации. Уральский федеральный университет. М.: Издательство Уральского университета ; Екатеринбург, 2016. — 504 с.

28. СП 4156-86 Санитарные правила для нефтяной промышленности // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200138945>

29. Physical Acoustics Corporation (PAC) : Авторская перепечатка из книги Металлы (METALS HANDBOOK). 9-ое издание. М. : ASM International, 1989. 294 с.

30. Оценка влияния факельных установок на окружающую среду // Фед. Гос. Проф. Образ [Электронный ресурс] – Режим доступа - URL:<http://works.doklad.ru/view/rSOIHm8eHrw/all.html>

31. Влияние факельных установок на состояние воздуха, почвы, растительности. ПГСХА. Пермь, 2010 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: http://www.studmed.ru/vliyanie-fakelnyh-ustanovok-na-sostoyanievozduha-pochvy-rastitelnosti_4c91c03a5ed.html

32. Стрижевский И.И., Эльнатанов А.И. Факельные установки. М. : Химия, 1979. 184 с.

33. Е.М. Степанов Ионизация вещества в разных видах пламени и в электрическом поле. М. : Metallurgiya ; Москва: 1968. 312 с.

34. Health and Safety at Work etc. Act 1974 // [Электронный ресурс].- Режим доступа - URL: <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/2141056>

35. Process equipment safety management system and techniques based on failure risk criteria, Joint stock company, 2006 // [Электронный ресурс]. - Режим доступа - URL: <http://www.tdiag.ru>

36. Веселов В. И., Мелигман Л. М. Автоматическая пожаро и взрывозащита предприятий химической и нефтехимической промышленности. М. : «Химия», 1975. 280 с.

37. СНиП 11-Г.12 Строительные нормы и правила. Газоснабжение, газораздаточные станции. Баллонные и резервуарные установки сжиженного газа. Нормы проектирования. М. : Стройиздат, 1972. 30 с.

38. Methods for safety assessment of geological disposal facilities for radioactive waste, Radioactive waste management, 2012 // [Электронный ресурс]. - Режим доступа - URL: <http://www.oecd-nea.org>

39. Safe storage of hazardous chemicals in stockrooms, workshops and laboratories , Chemical safety guidance, Occupational Health and Safety Service, 2017 // [Электронный ресурс]. - Режим доступа - URL: <http://safety.admin.cam.ac.uk>

40. Mark A. Friend, James P. Kohn Fundamentals of occupational safety and health, fourth edition, Government Institutes, 2007 // [Электронный ресурс]. - Режим доступа - URL: <http://www.ohshub.com>

41. Руководство по безопасности факельных систем. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2012 г. N 779 // Справочно-правовая система «Техэксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107649>

42. Патент RU 176867 U1, 31.01.2017 // Справочно-правовая система «ФИПС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528221813643