

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

Институт инженерной и экологической безопасности

(наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки)

Управление промышленной безопасностью, охраной труда и окружающей среды в
нефтегазовом и химических комплексах

(направленность(профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта
нефти, нефтепродуктов и газа»

Студент

А.С. Забоева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.б.н., доцент Н.Ю. Мичурина

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

Тольятти 2022

Содержание

Введение.....	5
Термины и определения.....	10
Перечень сокращений и обозначений.....	11
1 Исследование аварийности в системах транспорта нефти, нефтепродуктов и газа	12
1.1. Транспортировка углеводородов.....	12
1.2 Анализ аварийности на объектах магистрального трубопроводного транспорта.....	14
1.3 Сведения о наиболее крупных авариях, произошедших на объектах магистрального трубопроводного транспорта в период с 2018 по 2019 гг.....	19
1.3.1. Авария произошедшая 18.01.2018 г.	19
1.3.2 Авария произошедшая 23.10.2020 г.	20
1.3.3 Авария произошедшая 20.08.2019 г.	20
1.3.4 Авария произошедшая 06.05.2019 г.	21
1.3.5 Авария произошедшая 28.08.2018 г.	22
1.4 Сведения о нарушениях промышленной безопасности на объектах магистрального трубопроводного транспорта.....	23
1.5 Нормативная документация, определяющая безопасную транспортировку нефти, нефтепродуктов и газа.....	25
1.5.1 Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 N 116-ФЗ.....	26
1.5.2 Постановление Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2017 года N 1083 «Правила охраны магистральных газопроводов».....	27
1.5.3 ГОСТ Р 55989-2014 Магистральные газопроводы.....	27
2 Исследование существующих проблем в системах транспорта углеводородов и способов их решения.....	29

2.1	Причины, приводящие к аварийности.....	29
2.1.1	Нарушения при эксплуатации трубопроводов транспортировки углеводородов.....	32
2.1.2	Ошибки проектирования трубопроводов для транспортировки углеводородов.....	34
2.1.3	Дефекты трубопроводов.....	35
2.2	Коррозия трубопроводных систем.....	39
2.2.1	Мониторинг внутренней коррозии.....	43
2.3	Инспекции безопасности при проведении строительного-монтажных работ	46
2.3.1	Задачи инспекций безопасности	46
2.3.2	Обследование линейной части	47
2.3.3	Проверка материалов строительства и монтажа.....	49
2.3.4	Подземная прокладка линейных участков трубопроводов.....	50
2.3.5	Контроль сварочных работ и изоляции линейных участков.....	51
2.3.6	Проверка работоспособности катодной защиты трубопроводов...	52
2.3.7	Контроль укладки и засыпки трубопровода.....	54
2.3.8	Приемочные испытания.....	55
2.3.9	Инспекторская документация.....	57
3	Применение инновационных методов для обеспечения надежности и безопасности в системах транспорта нефти, нефтепродуктов и газа.....	60
3.1	Методы оценки технического состояния систем транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа	60
3.1.1	Техническое диагностирование трубопроводов транспортировки углеводородов	64
3.2	Современные методы обеспечения надёжности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа.....	66
3.2.1	Определение трещин в трубопроводах ультразвуковыми методами.....	68

3.2.2 Диагностика определения вмятин в трубопроводах.....	70
3.2.3 Инновационные методы обнаружения утечек нефти, нефтепродуктов и газа.....	76
3.3 Разработка инновационной системы контроля безопасности транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа	81
Заключение	92
Список используемой литературы и используемых источников.....	93

Введение

Актуальность и научная значимость настоящей работы состоит в исследовании существующих систем транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа, применении методов бесперебойного и безаварийного транспортирования углеводородного сырья для нужд производства и общества.

Объект исследования: в данной работе будут являться нефтегазопроводы и продуктопроводы существующих линейных объектов и производственных предприятий, как на территории Российской Федерации и других стран мира.

Предмет исследования: является процесс детального анализа существующей статистики аварий и инцидентов, произошедших за последние годы, определение основных причин и последствий аварий на предприятиях нефтегазовой отрасли, провести изучение применяемых в настоящее время методов обеспечения надежности и безопасности при транспортировке углеводородного сырья.

Цель исследования: состоит применении методов для повышения безопасности доставки углеводородного сырья по трубопроводным системам транспорта нефти и газа к различным производствам отрасли при условии применения современных методов, обеспечивающих бесперебойную и устойчивую работу.

Гипотеза исследования состоит в том, что будет обеспечено повышение безопасности доставки сырья по трубопроводным системам транспорта нефти и газа к различным производствам отрасли если:

1. Будут определены недостатки в существующих методах обеспечения безопасности работы систем транспорта нефти и газа систем транспортировки углеводородов;

2. Будут найдены современные средства диагностики линейной части трубопроводов с целью своевременного выявления потенциальных дефектов на опасных и аварийных участках нефтегазопроводов;

3. Будут представлены инновационные системы контроля процессов транспортировки углеводородов для применения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить существующие системы транспорта нефти, нефтепродуктов и газа;
- рассмотреть статистику аварийности на опасных производственных объектах трубопроводного транспорта углеводородов, определить наиболее значимые факторы аварийности;
- изучить действующую нормативно-техническую документацию определяющую безопасную транспортировку нефти, нефтепродуктов и газа в Российской Федерации;
- проанализировать произошедшие случаи аварийности на производственных объектах предприятий транспорта нефти, нефтепродуктов и газа;
- произвести исследование существующих проблем в системах транспорта углеводородов и способов их решения.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: исследование нормативно-технической документации в области транспортировки углеводородов в части обеспечения безопасности, представленных программ проведения обследований трубопроводов экспертных организаций, информационных ресурсов ПАО «Транснефть» и дочерних обществ по транспортировке газа ПАО «Газпром». Труды отечественных научных деятелей в области изучения систем транспортировки углеводородов и промышленной безопасности в данной сфере, в том числе Алисова Е.М., Аликов Э.А., Савина Е.А., Тарарычкин И.А, законодательная и нормативная база Российской Федерации в области нефтегазовой отрасли,

патентная база существующих разработок направленных на совершенствование систем безопасности нефтегазопроводов.

Базовыми для настоящего исследования явились также: исследования методов, применяемых для обеспечения защиты трубопроводного транспорта, предназначенных для наблюдения, обнаружения и локализации утечек углеводородов, в том числе от несанкционированных врезок, а также гидратных или парафиновых пробок, автоматизированных систем контроля состояния линейной части магистрального трубопроводного транспорта, а также системы основанной на изменении температуры грунта вблизи места возникновения утечки нефтепродуктов и дистанционных средств контроля.

Методы исследования: для данной работы выбран эмпирический метод исследования, в основном базирующийся на анализе данных собранных из научно-технической литературы, существующей патентной базы, а также сведений, получаемых при проведении неразрушающего контроля, собранных на предприятии по месту прохождения производственной практики в экспертной компании. Исследование и анализ аварийной ситуации на объектах и причин, вызывающих аварии. Изучение и оценка существующих систем безопасности и контроля, систем транспортировки нефтепродуктов.

Опытно-экспериментальная база исследования данной работы основана на методах проведения неразрушающего контроля в лаборатории неразрушающего контроля и фактическом участии по проведению технического диагностирования трубопроводов в качестве наблюдателя.

Научная новизна исследования заключается в: представлении для производственных предприятий новых методов и инновационных устройств безопасности для отрасли с учетом производственных особенностей с целью последующего внедрения к применению, в особенности включение новых методов – периодических инспекций в период строительно-монтажных работ линейной части объектов транспортировки и применении современных технических устройств диагностики трубопроводов.

Теоретическая значимость исследования заключается в: анализе собранных сведений о существующем состоянии аварийности на объектах систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа, изучении причин и последствий аварий в отрасли и поиске необходимых путей решения проблем, влияющих на безопасность при транспортировке.

Практическая значимость исследования состоит в применении новых инновационных методов и устройств, которые смогут рассмотреть, изучить, запустить в опытную эксплуатацию и внедрить на производственных предприятиях, эксплуатирующих трубопроводы транспортировки углеводородов. Важным элементом практической значимости является в представленной работе разработка собственного инновационного технического устройства на основе интеграции других технических устройств в единый комплекс, который будет обеспечивать постоянный дистанционный контроль охранной зоны трубопровода и выявлять утечки углеводородов в режиме реального времени.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

- применением официальных информационных ресурсов, размещенных на сайте Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. В ходе проведенного исследования обработаны отчеты произошедших авариях в системе транспортировки углеводородов на линейных производственных объектах за последние 5 лет. Были проанализированы материалы расследований аварий, установлены причины и способы недопущения повторных нарушений, приводящих к авариям;
- рассмотрением представленных в поисковых ресурсах Федерального института промышленной собственности патентных изобретений, с целью интеграции существующих изобретений для обеспечения безопасности при транспортировке углеводородов;

- применением полученных сведений, касающихся вопросов безопасной транспортировки нефти, газа и нефтепродуктов из иностранных информационных ресурсов в сети интернет при помощи перевода;
- разработкой актуальных предложений по обеспечению безопасности опасного производственного объекта.

Апробация и внедрение результатов работы исследования производились в виде получения от экспертной организации акта о внедрении научно-исследовательской работы и использовании ее результатов.

На защиту выносятся актуальность применения инновационных средств диагностики и новейших методик контроля систем транспортировки углеводородов, в условиях труднодоступности и высокой удаленности объектов.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, содержит 10 рисунков, список используемой литературы и используемых источников (30 источников). Основной текст работы изложен на 97 страницах.

Термины и определения

Нефтяная и газовая промышленность - отрасль экономики, которая отвечает за добычу, переработку, транспортировку, хранение и продажу нефти и нефтяных продуктов.

Магистральные трубопроводы — трубопроводы и отводы от них диаметром до 1420 мм включительно с избыточным давлением среды свыше 1,18 МПа до 15 МПа, предназначенные для транспортирования углеводородов от места производства к месту потребления.

Углеводороды - органические соединения, состоящие из атомов углерода и водорода. Большинство углеводородов в природе Земли встречаются в сырой нефти.

Нефтепродукты - смеси углеводородов, а также индивидуальные химические соединения, получаемые из нефти и нефтяных газов.

Квадрокоптер - беспилотный летательный аппарат, он управляется дистанционно, чаще всего с пульта или со смартфона. В воздухе держится за счет нескольких винтов, крутящихся в разных направлениях.

IP видеочамера - цифровая видеочамера, особенностью которой является передача видеопотока в цифровом формате по сети Ethernet и TokenRing, использующей протокол IP. Являясь сетевым устройством, каждая IP-чамера в сети имеет свой IP-адрес.

Перечень сокращений и обозначений

ООО – общество с ограниченной ответственностью;

ОПО – опасный производственный объект;

ММТ - многониточные магистральные трубопроводы;

ГОСТ – государственный стандарт;

Ростехнадзор – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору;

ФЗ – федеральный закон;

БПЛА – беспилотный летательный аппарат;

СИЗ - средства индивидуальной защиты.

1 Исследование аварийности в системах транспорта нефти, нефтепродуктов и газа

1.1 Транспортировка углеводородов

Транспортировка нефти и нефтепродуктов представляет собой сложную комплексную систему, в которой нефтегазовые компании требуют увеличения мощности и срока службы оборудования для транспортировки углеводородов, выходящего далеко за рамки оригинальных конструкций в связи с увеличением растущих объемов транспортировки.

«На сегодняшний день для решения задач в нефтяной отрасли России потребуется для поддержания добычи нефти и газового конденсата в период до 2024 года в диапазоне 555 - 560 млн. тонн, а в период до 2035 года - в диапазоне 490 - 555 млн. тонн, из которых в 2021 году было добыто 524,05 млн тонн» [23].

В связи с поддержанием заявленных объемов добычи углеводородов и соответственно последующей их транспортировкой, необходимо поддерживать функционирование текущих и создания новых мощностей по транспортировке углеводородного сырья.

Транспортировка нефти, газа и других опасных грузов происходит несколькими способами. Они транспортируются по трубопроводам, наземным транспортным средствам, таким как железнодорожные цистерны и автомобильные цистерны, по водным транспортным средствам, такими как океанские судовые танкеры, или более мелким танкерам или баржам в прибрежных водах и реках.

Любая транспортная система всегда может выйти из строя вовремя своей эксплуатации, и этот отказ связан с риском потери жидкости и ущерба жизни и имуществу, поэтому тут очень важна разработка планов и методов сдерживания серьезности риска от возможных аварий в нефтегазотранспортной отрасли, так и регулирующими органами как способ

повышения производственной безопасности, а также оптимизации всех аспектов проектирования, эксплуатации и технического обслуживания трубопроводов. По этой причине очень важно оценить существующие риски, связанные с отказом трубопровода или оборудования в трубопроводной системе, или системы в целом. Следовательно, необходимо понимать, что такое неудача в эксплуатации линейных объектов транспорта углеводородов. Отказ трубопровода может быть вызван непреднамеренным выбросом углеводородного продукта, потерю целостности трубопровода, неспособностью выполнить свою предназначенную функцию, в виде нарушения герметичности из-за внутренней коррозии, внешней коррозии, неправильной эксплуатации или повреждения, вызванного третьей стороной.

Очень важно понимание ответственности владельца трубопроводной системы, которая ведет к безопасной эксплуатации трубопровода, проходящего через местности насыщенными пресными водами, сельскими поселениями, сельскохозяйственными полями и другими важными территориями. Отказ трубопровода в непосредственной близости от районов с высокой плотностью населения может привести к взрыву и разрушению трубопровода, приведя к значительным человеческим жертвам и большому ущербу имуществу. В связи с этим, владельцу нужно оказывать помощь, в виде оказания поддержки в виде обеспечения эффективной государственной нормативной документацией и оказанию экономических дотаций для реализации инновационных, и дорогостоящих в применении методов по обеспечению надежности по транспортировке углеводородов.

Ключевая обязанность владельца каждого предприятия системы трубопроводов по транспортировке углеводородов обеспечить создание и эффективное функционирование на своих производственных и линейных участках системы управления производственной безопасности. С развитием инспекционных (контрольных проверок производства) технологий, ожидания от профессионалов в области обеспечения производственной безопасности соответственно возросли. Очень важно, чтобы специалисты отрасли

предоставляли точные и эффективные программы управления производственной безопасностью на вверенных им производственных зонах. Совершенство управления производственной безопасностью при эксплуатации линейных участков систем транспорта углеводородов — это гораздо больше, чем просто проведение проверок и назначение интервалов проверок. Совершенство достигается благодаря пониманию механизмов ответственности по обеспечению безопасности, в применении строительных материалов при проектировании линейных объектов и широкого спектра методов контроля надежности. Но не менее важно понимать и недостатки инструментов, используемых для проведения проверок и контроля строительства трубопроводов транспортировки углеводородов. Обработка всей этой информации для создания стратегического плана управления производственной безопасностью предприятий может быть сложной задачей, но наличие плана обеспечит планирование и проведение необходимых проверок для предотвращения и исключения вероятных аварий.

«Несмотря на растущие объемы, энергетический сектор уже является источником около трех четвертей выбросов парниковых газов, сегодня это является ключом к предотвращению наихудших последствий изменения климата. Исходя из принципов принятой резолюции Парижского соглашения, сокращение глобального диоксида углерода и выбросов должно произойти до нуля к 2050 года, поэтому объемы транспортировки углеводородов будут постепенно идти в сторону уменьшения» [29].

1.2 Анализ аварийности на объектах магистрального трубопроводного транспорта

В различных климатических и географических территориях нашей страны эксплуатируются более 4000 ОПО расположенных объектах нефтегазового линейного транспорта разного класса опасности.

На сегодняшний день протяженность участков магистральных трубопроводных систем нефтегазовой отрасли набирает обороты с каждым годом и уже, составляет более 250 тыс. км, как раз из которых магистральные газопроводы составляют около 180 тыс. км, магистральные нефтепроводы более 50 тыс. км, и магистральные продуктопроводы (конденсатопроводы, трубопроводы дизельного топлива и т. п) более 20 тыс. км.

На рисунке 1 изображена динамика происходивших аварий на объектах производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта в период с 2010–2020 годы.

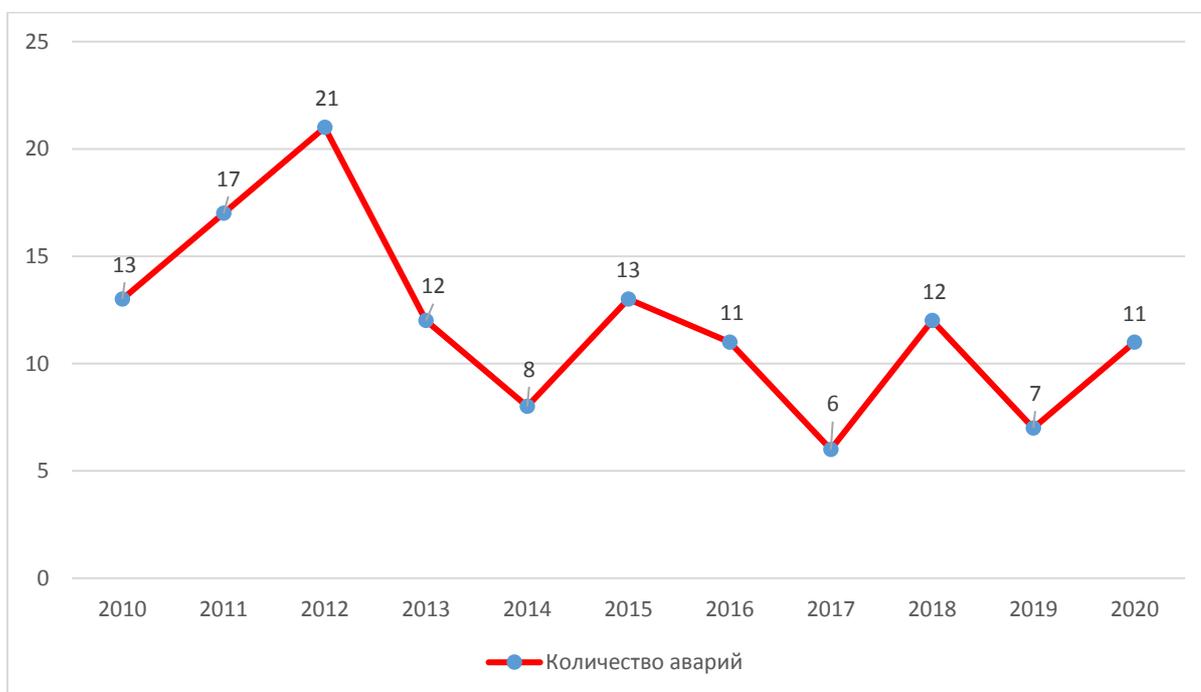


Рисунок 1 – График динамики аварийности на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта в период с 2010–2020 годы

В ходе проведенных исследований статистической информации на данный момент, начиная с 2016 наблюдается средний тренд аварийности на линейных участках систем транспорта нефти, газа и нефтепродуктов. Стоит заметить еще и о скачкообразной волновой динамике начиная с 2012 года, которое чередуется резким снижением к 2014 у году и увеличением в 2015

году, так в 2017 году с 6 случаев на 12 в 2018 году, а это уже увеличение на 50%.

Рассмотрим состояние аварийности по видам произошедших аварий в период с 2010 – 2020 гг. на диаграмме рисунка 2.

Исходя из данных диаграммы можно увидеть, что основной объём аварий приходится на образующуюся коррозию трубопроводов, что достаточно логично в условиях самого процесса транспортировки нефтепродуктов, а также агрессивного внешнего воздействия особенно в условиях удаленного доступа.

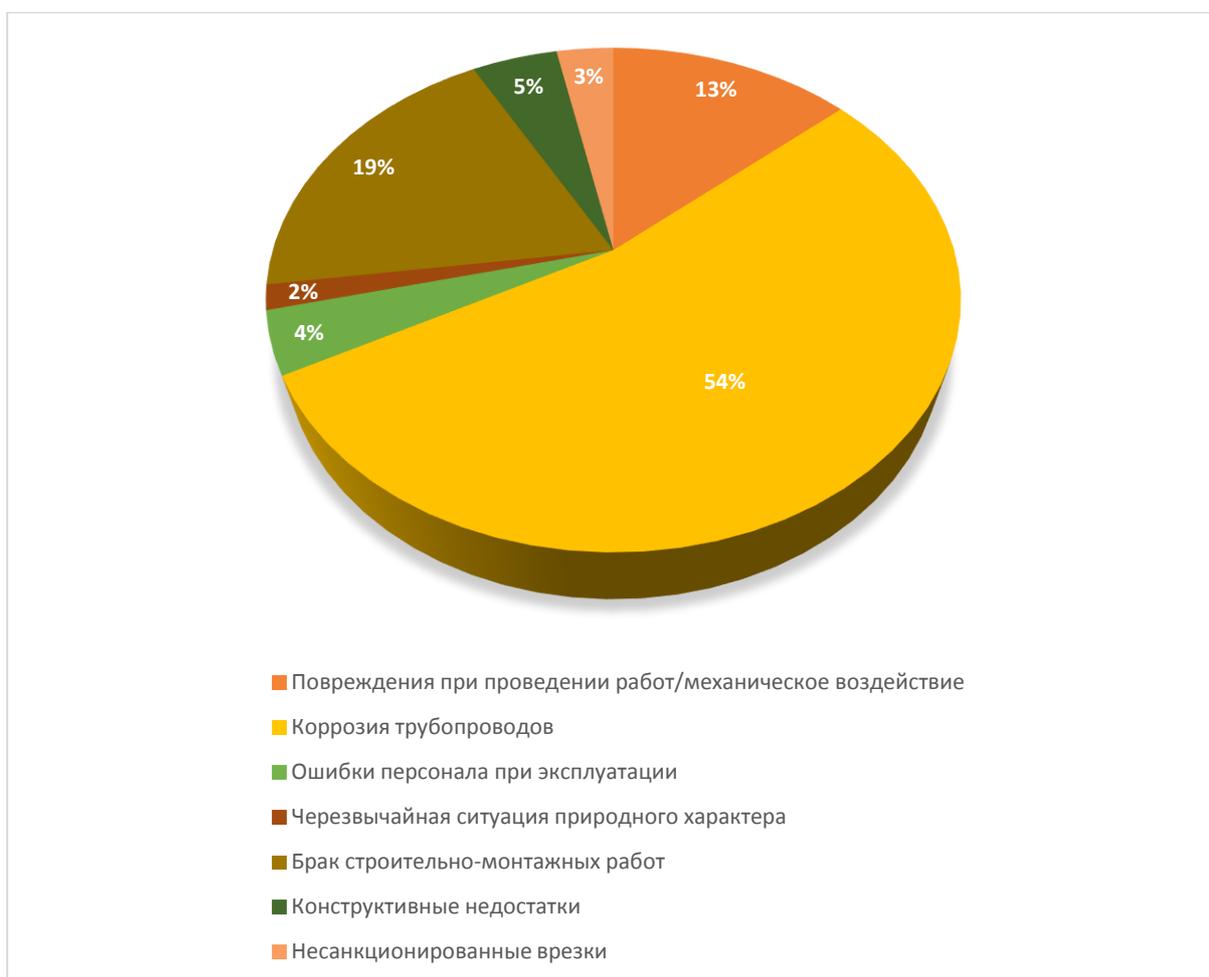


Рисунок 2 – диаграмма состояния аварийности по видам произошедших аварий за 2010 – 2020 гг.

Второй причиной является брак строительно-монтажных работ, то есть при строительстве и монтаже данных систем в виду ненадлежащего контроля процесса строительства и не соблюдения инженерно-технических указаний, не исполнения проектных требований, безусловно возникают возможности для развития аварий на данных объектах.

Еще одной из основных и часто встречающихся причин называются повреждения при проведении работ, соответственно механическое воздействие, что говорит о недостаточном контроле охранных зон вокруг протяженности трубопроводов. Такие случаи, конечно, происходят зачастую на участках, которые наиболее удалены и там, где нет возможности проводить постоянные наблюдения, обходы или не контролируется информирование на месте.

Остальные причины с небольшим процентом случаев это – конструктивные недостатки, ошибки персонала, ситуации природного характера, несанкционированные врезки. Случаев аварий по данным причинам намного меньше, чем при первых трех, но последствия и ущерб от таких аварий совсем не меньше.

Таким образом из приведенных значений, указанных на рисунке 2, основными видами аварийности на опасных производственных объектах линейных трубопроводных систем в период с 2010 по 2020 гг. являются коррозия трубопроводов, более 50%, брак при проведении строительно-монтажных работ 19% и повреждения при проведении работ, связанные с механическим воздействием на оборудование 13%.

«Повышение промышленной безопасности на ОПО достигается эксплуатирующими организациями при реализации планов модернизации, включающих работы по реконструкции действующих и строительству новых объектов магистрального трубопроводного транспорта» [6].

В настоящее время в установлено, что аварийность систем транспорта нефти и газа полностью зависит от их длины, состава материала и характеристик скорости коррозии. Еще совсем недавно, в 2000-х годах

лидирующими показателями в отрасли транспортировки, являлись аварии от несанкционированных врезок и ошибок персонала, но как мы видим из приведенных значений основная тенденция по видам аварийности крайне изменилась.

Прежде всего увеличение аварийности от коррозионного износа связана с эксплуатационным износом трубопроводов, вследствие по большей степени с экономическими соображениями. Наибольшая доля существующих магистральных трубопроводов системы транспорта нефти и газа была введена в эксплуатацию в начале девяностых годов, и естественно у каждого оборудования со временем появляются дефекты, там, где трубопроводы в основном проложенных в подземной прокладке.

Увеличение возраста систем транспорта нефти и газа постепенно приводит к незапланированным выходам из строя линейных участков системы транспорта, а также аварийным ситуациям. К большому сожалению, в производственной деятельности различных предприятий отрасли транспорта нефти, нефтепродуктов и газа, происходят аварии и со смертельными случаями. В основном это происходит при взрывах паров газозооушной смеси, образующихся при разливах нефтепродуктов или разгерметизации газопроводов, чаще всего из-за образования искры при проведении каких-либо работ вблизи трубопровода транспортировки углеводородов.

«Химическая реактивность может привести к значительным опасностям, если они не поняты должным образом и не контролируются. Химические реакции могут быстро высвободить большие количества тепла, энергии и газообразных побочных продуктов. Неконтролируемые реакции приводят к серьезным взрывам, пожарам и отравлениям. Воздействия могут быть серьезными с точки зрения смерти и травм людей, повреждения физического имущества и последствий на окружающую среду» [26].

Взрывы и пожары, являются главной опасностью для персонала объектов и окружающих поселений, находящихся вблизи охранных зон магистральных трубопроводов углеводородов, поэтому необходимо создание

безопасных условий эксплуатации для недопущения аварий или их минимизации в случае их происшествия.

1.3 Сведения о наиболее крупных авариях, произошедших на объектах магистрального трубопроводного транспорта в период с 2018 по 2019 гг.

1.3.1 Авария произошедшая 18.01.2018 г.

На участке 413 км магистрального нефтепровода Куйбышев-Тихорецк, 1974 г. ввода в эксплуатацию, произошел выброс опасного вещества, приведшего к пожару и разрушениям. При перекачке в нормальном технологическом режиме необходимого количества нефти случился порыв и нарушение герметичности у нефтепровода. В тот день попало существенного количества нефти на территориальные участки непосредственно самого села Красноармейского с последующим возгоранием.

Технические причины аварии:

- разрушение кольцевого сварного стыка трубопровода вызвано формированием крупнозернистой структуры хрупкого феррита квазиэвтектоида, что привело к полному разрушению сварного соединения по оси шва;
- несоответствие механических свойств металла сварного шва нормативному значению возникло в результате скрытого брака сварки, допущенного в период строительства участка трубопровода, которое осуществлялось в 1973 году.

Организационные причины аварии не установлены, так как проводимые диагностические обследования с использованием существующих внутритрубных приборов не позволяют выявить несоответствие механических свойств металла сварного шва нормативному значению.

Последствия аварии: пострадавших нет, экономический ущерб составил - 68 789 тыс. руб., экологический ущерб составил - 1 796 тыс. руб.

1.3.2 Авария произошедшая 23.10.2020 г.

В ХМАО-Югра, Нижневартовский район, на Варьеганском месторождении при эксплуатации нефтесборного трубопровода «Куст 101 – точка врезки (задвижки 72, 73)», (введен в эксплуатацию в 1993 году, длина 422 м, диаметр, толщина стенки: 159*5 мм, 159*8 мм, рабочее давление 1,6 МПа), произошел разрыв продольного заводского шва трубопровода, выброс перекачиваемого продукта и его возгорание.

Краткое описание аварии: при эксплуатации нефтесборного трубопровода «Куст 101 – точка врезки (задвижки 72, 73)», (введен в эксплуатацию в 1993 году, длина 422 м, диаметр, толщина стенки: 159*5 мм, 159*8 мм, рабочее давление 1,6 МПа) произошел разрыв продольного заводского шва трубопровода, выброс перекачиваемого продукта и его возгорание. Технической причиной аварии явилась внутренняя коррозия заводского монтажного шва трубопровода.

Организационными причинами аварии при строительстве трубопровода явилось пренебрежение требованиями по размещению заводского продольного шва трубопровода. Периодичность и объем диагностических обследований трубопровода, отработавшего нормативный срок службы, установлены без учета скорости коррозионных процессов, анализа выполненных ремонтов и срока службы трубопровода. Нарушения требований нормативных и локальных документов при диагностике трубопровода с шурфованием в 2 местах для проведения неразрушающего контроля. Последствиями аварии стало загрязнение нефтепродуктами территории на площади 100 м², а прямые потери от разлива нефти из нефтепровода составили 0,05 тонн.

1.3.3 Авария произошедшая 20.08.2019 г.

20.08.2019 г. проводились работы по укладке электрокабеля. В результате проведения земляных работ по прокладке оптоволоконного кабеля,

буровая грунторезная машина БГМ-2 на базе трактора Беларусь МТЗ 82.1 режущим цепным оборудованием повредила полиэтиленовый газопровод высокого давления, что привело к выбросу природного газа в атмосферу без последующего возгорания. Технической причиной аварии явилось основное механическое повреждение участка газопровода, которое произошло при прокладке кабеля рабочим органом режущего цепного устройства буровой машины в охранной зоне.

Организационными причинами явилось то, что строительная организация, проводившая строительно-монтажные работы по прокладке оптоволоконного кабеля, не произвела необходимую организационную работу при проведении земляных работ в охранной зоне подземного распределительного газопровода, а именно:

- не получено разрешение эксплуатирующей организации на проведение земляных работ в охранной зоне подземного газопровода;
- работы производились без соответствующих специалистов газового хозяйства;
- земляные работы проводились спец. техникой, а не ручным способом.

Последствиями аварии явился экономический ущерб, составляющий 23, 981 тыс. руб.

1.3.4 Авария произошедшая 06.05.2019 г.

На участке 1158,2 км. - 1181,1 км. магистрального газопровода Ямбург-Поволжье обнаружен выход газа с возгоранием.

Произошел неконтролируемый взрыв и разрушение сооружения. По системе линейной телемеханики было зафиксировано падение давления, визуально наблюдалось возгорание. Разрушение произошло на прямолинейном участке подземной прокладки 3 категории магистрального газопровода Ямбург-Поволжье, км. 1161,79. При разрушении газопровода образовался котлован.

Техническими причинами аварии явилось развитие взаимодействующих продольных трещин, образовавшихся по механизму коррозионного растрескивания под напряжением в основном металле трубы. Несовершенство конструкции сканеров-дефектоскопов, применяемых при выполнении внутритрубной дефектоскопии в 2014 году, в части обнаружения дефектов в виде трещин небольшой глубины в стенке.

Организационными причинами явилось непринятие дополнительных мер диагностики и обследования, позволяющих установить опасные участки и опасные факторы эксплуатации.

Последствиями аварии явился экономический ущерб с учетом затрат на ликвидацию, который составил 18 454,9 тыс. руб.

1.3.5 Авария произошедшая 28.08.2018 г.

На 321 км магистрального газопровода Ухта-Торжок (2 нитка), 1976 г. ввода в эксплуатацию. В процессе эксплуатации магистрального газопровода Ухта-Торжок (2 нитка), произошел разрыв газопровода с воспламенением и разрушением части стенок на участках с последующим разлетом металлических кусков газопровода на расстояние до 250 м.

Техническими причинами аварии явилось развитие продольных трещин в виде коррозии в результате деятельности газопровода под воздействием коррозионного фактора и нагрузок эксплуатации.

Организационные причины аварии:

- сроки и методы обследования (диагностирования) определенные в заключении экспертизы промышленной безопасности приняты без учета технического состояния участка магистрального газопровода Ухта-Торжок (2 нитка);
- эксплуатирующей организацией не проведена диагностика участка магистрального газопровода Ухта-Торжок (2 нитка) 303 - 331 км путем пропуска внутритрубных средств диагностики.

Последствия аварии:

- экономический ущерб составил 9 966 тыс. руб.;
- экологический ущерб составил 0,15 тыс. руб.

Расследование аварий и установленные мотивы, произошедших за последние два года аварий показывает о том, главными причинами стали внутренние опасные факторы, находящиеся внутри трубопроводов, из-за нарушения герметичности. Также нарушения при проведении строительно-монтажных работ в зоне прохождения трубопроводов.

1.4 Сведения о нарушениях промышленной безопасности на объектах магистрального трубопроводного транспорта

«В рамках осуществления режима постоянного государственного контроля (надзора) на объектах магистрального трубопроводного транспорта, характерными и часто встречающимися нарушениями требований промышленной безопасности являются:

- недостаточность главных кадастровых документов, необходимых для использования земельных участков и строений, на которых размещаются эксплуатируемые опасные производственные объекты;
- выполнение работ по обследованию магистральных трубопроводов, испытаний и освидетельствований сооружений и технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, нарушение сроков проведения экспертиз промышленной безопасности зданий, сооружений и технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте с нарушением сроков» [6];
- ошибки в обнаружении замечаний при проведении проверок на различных линейных объектах;
- низкая квалификация необходимого штата специалистов, занятых в организации и работе системы управления производственной безопасностью;

- не проводится работа по расследованию на производственных участках инцидентов с предложениями и выводами;
- дефицит различных электронных приборных технических средств для своевременного систем контроля за технологическими процессами на производственных объектах;
- игнорирование и непринятие необходимых мер вовремя проведения планово-предупредительных ремонтов на оборудовании. «Осуществление деятельности в области проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта комплексов СПГ требует свидетельства на допуск к работам, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства» [3];
- нарушение главных требований по охране участков вдоль, проложенных магистральных нефтегазопроводов от участия различных организаций в части выполнения своих работ без согласования с линейными подразделениями к этому относятся: земляные работы, грузоподъемные операции в случае надземной прокладки на участках, беспрецедентная постройка частных домов без согласования;
- нарушение основных принципов оформления необходимой для различных работ необходимой документации;
- проведенные работы по самостоятельному изменению конструкции технических устройств, различной прокладки участков нефтегазопроводов без согласования с генеральным проектировщиком без проведения различных, необходимых экспертиз и согласования с соответствующими органами по надзору отрасли;
- отступления от стабильной работы технологических производственных процессов, относящиеся к отказу по разным экономическим причинам в предотвращении на объекты свободного доступа посторонних физических лиц.

Главными недостатками структуры управления по проведению на объектах и линейных участках плановых проверок оказались:

- несоблюдение установленных сроков проведения проверок, а также формальный характер их проведения;
- отступление от контроля по выполнению замечаний, в установленные сроки на производственных линейных производственных участках;
- недостаточное управление по контролю сроков прохождения экспертизы промышленной безопасности технических устройств, зданий, сооружений.

Кроме того, при эксплуатации нефтепроводов, компании нарушают условия подключения к системам транспорта нефти в части отступления от «требований к составу сооружений и технологическому оборудованию, автоматизации и связи, системе обнаружения утечек нефти подводящего трубопровода от приемо-сдаточного пункта до точки (узла) подключения, которые обеспечивают безопасный прием нефти от объекта нефтедобычи и направлены на безаварийную работу нефтепроводов и соблюдение экологической безопасности» [7].

1.5 Нормативная документация, определяющая безопасную транспортировку нефти, нефтепродуктов и газа

В настоящее время существует необходимая нормативная документация, которая обеспечивает безопасное проектирование, строительство и эксплуатацию магистральных нефтепроводов и газопроводов. Предусматривает регламенты охраны данных опасных объектов, взаимодействие с иными организациями в части эксплуатации, защиты и предупреждения возможных аварий и потерь.

Основные принципы, разрабатываемых нормативных документов, сосредоточены на создание в организациях необходимых требований для обеспечения устойчивого тренда в части обеспечения безопасности и

осуществлению правильных действий при эксплуатации, строительстве и других значимых видов производственной деятельности.

1.5.1 Федеральный закон «О промышленной безопасности Опасных производственных объектов» от 21.07.1997 N 116-ФЗ

«Настоящий Федеральный закон определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности эксплуатирующих опасные производственные объекты юридических лиц и индивидуальных предпринимателей (далее также - организации, эксплуатирующие опасные производственные объекты) к локализации и ликвидации последствий указанных аварий» [8].

«Основной целью 116-ФЗ является обеспечение необходимого уровня безопасности в процессе производства. Закон содержит как общие требования к организации работ в области промышленной безопасности, так и специальные правила для следующих областей:

- требования по проектированию опасных производственных объектов;
- требования по строительству опасных производственных объектов;
- требования к эксплуатации опасных производственных объектов;
- требования к реконструкции опасных производственных объектов;
- техническое перевооружение опасных производственных объектов;
- консервация опасных производственных объектов;
- задачи по ликвидации опасных производственных объектов» [8].

Также закон содержит требования по осуществлению деятельности в области промышленной безопасности к техническим устройствам, применяемым на опасном производственном объекте:

- по изготовлению технических устройств, устанавливаемых на опасном производственном объекте;

- установка технических устройств, устанавливаемых на опасном производственном объекте;
- настройка и регулирование оборудования, эксплуатирующегося на опасном производственном объекте.

Представленный закон, является основополагающим при решении вопросов в области промышленной безопасности на предприятиях. В большинстве случаев, многие спорные вопросы, которые возникают между проектировщиками, строителями и представителями эксплуатации на опасных производственных объектах, решаются основываясь на статьи и пункты настоящего закона, потому что в них отражена полнота и объективность технических основ и юридических аспектов для принятия, соответствующих решений.

1.5.2 Постановление Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2017 года N 1083 «Правила охраны магистральных газопроводов»

Данные правила устанавливают порядок охраны магистральных газопроводов. Обозначаются охранные зоны, правила использования охранных зон основных газопроводов и состоящих линейных участков. Все эти требования регламентируют аспекты между владельцем, установленных в них объектов и организациями или физическими лицами, производящими различные виды работ на территориях и охранных зонах. Правила предусматривают действия собственника газопровода при повреждениях и утечках.

1.5.3 ГОСТ Р 55989-2014 «Магистральные газопроводы»

«Настоящий стандарт распространяется на проектируемые и реконструируемые магистральные газопроводы и ответвления от них номинальным диаметром до DN 1400 включительно с избыточным давлением среды свыше 10 до 25 МПа включительно» [5].

В разделе данного стандарта рассмотрены вопросы по защите газопроводов от коррозии защитными покрытиями в зависимости от типа прокладки, использования, диаметров труб.

Также устанавливаются типы и классы покрытий и требования к электрохимической защите трубопроводов от коррозии при проектировании и строительстве газопроводов, требования к коррозионному мониторингу.

Выводы по разделу

В данном разделе приведена структура современных систем транспортировки нефти, газа и нефтепродуктов на территории Российской Федерации и за рубежом. Собрана статистика по произошедшим авариям в трубопроводном транспорте за последние годы и определены основные причины, приводящие к авариям. Обозначен прогноз в части увеличения объемов транспортировки в условиях растущего спроса на нефть и газ при одновременном продолжении использования постоянно стареющих активов линейной части трубопроводных систем, также в настоящем разделе отражены основные понятия нормативной документации определяющей условия безопасной транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа в Российской Федерации.

2 Исследование существующих проблем в системах транспорта углеводородов и способов их решения

2.1 Причины, приводящие к аварийности

Процесс транспортировки углеводородов, а также их конечного распределения это очень серьезные отрасли в том числе в отношении безопасности всех этапов. Достаточное количество, происходящих аварий, технологических сбоев на объектах магистральных трубопроводов говорит о том, что существует конкретная необходимость в решении вопросов промышленной безопасности, обеспечении данных объектов новейшими системами.

«Технологические системы (технологическое оборудование, трубопроводы, аппараты, технологические линии), в которых при отклонениях от регламентированного режима проведения технологического процесса возможно образование взрывоопасных смесей, обеспечиваются системами подачи в них инертных газов (инертных сред), флегматизирующих добавок или другими техническими средствами, предотвращающими образование взрывоопасных смесей или возможность их взрыва при наличии источника инициирования» [9].

Все происходящие инциденты составляют аварийную статистику, которая предоставляет информацию о количестве и качестве нанесенных ущербов в сферах экономики, экологии, жизни и здоровья людей. Все это ложится безусловным бременем на репутацию компаний, а также приносит значительный материальный ущерб в виде расходов на ликвидацию, срочный ремонт, восстановительные процессы, и компенсации пострадавшим лицам.

«Существует несколько рисков, связанных с эксплуатацией трубопровода, которые следует учитывать. Регулярный износ трубопровода, в следствии коррозии, может привести к выходу трубопровода из строя и протечкам. Непреднамеренное повреждение третьими лицами, особенно

закопанных трубопроводов, может также привести к повреждению трубопровода, а преднамеренное повреждение трубопроводных систем может произойти в результате кражи нефтепродуктов» [25].

Опасность представляют в том числе трубопроводы, проходящие в морях и вдоль берегов. Происшествия и аварии также имеют многочисленный характер. Исходя из данных о причинах можно назвать не только неисправность оборудования, но и происходящие вокруг природные процессы, к примеру штормы и т.п., что снова приводит к жертвам среди персонала, экологическим катастрофам и экономическим проблемам предприятий. Но необходимость трубопроводов, протянутых к определенным регионам, не вызывает вопросов, так как это может быть единственным источником энергоснабжения, у которого есть постоянные потребители.

Большинство операторов трубопроводов проводят исследования опасности и работоспособности трубопровода вместе с проектом и до начала его строительства. Информация, полученная в результате этого исследования, является важным источником данных для оценки рисков.

Вопросы безопасности при разработке проектов обсуждаются на различных совещаниях многопрофильной группы. При таком подходе на ранних стадиях начала проектирования проводится участниками группы анализ потенциальных сбоев в работе системы трубопроводов нефти и газа, а также их последствия.

Модель исследования опасности и работоспособности, состоящая из двух частей, определяет ошибки и дефекты системы (режим сбоя), а вторая часть (анализ последствий) определяет последствия такого сбоя. Данные инструменты классифицируются сбой по степени серьезности и вероятности.

Режим отказов и цикл анализа последствий осуществляется путем:

- проверки проектной документации;
- выявлением режимов, при которых возможны сбои в работе;
- установления степени серьезности;
- анализ процента вероятности;

- определения степени обнаружения;
- выбора приоритета риска.

Представленная модель является очень полезным инструментом, особенно по распространению оценки рисков на наземные объекты, такие как резервуарные парки и насосные станции систем транспортировки нефти и других жидких углеводородов. Для надлежащего изучения риска система часто делится на сегменты. Эти сегменты изучаются индивидуально. Сегментирование часто производится на основе изменения переменной риска. Другой альтернативой является использование сегментирования с фиксированным интервалом, например, сегментирование на каждом участке магистрального нефтепровода или на каждой насосной станции. Преимущество использования сегментов с переменным риском заключается в том, что каждый сегмент представляет возможный риск и каждому потенциальному риску уделяется одинаковое внимание.

Вероятность негативного события в работе системы транспортировки углеводородов или угрозы ведущие к риску, могут привести к потенциальной аварии. Например, сбой в работе транспортирующего трубопровода может привести к выбросу газа или нефти, которые могут привести к повреждению. В безлюдной местности, где конечное воздействие выброса невелико, в то время как в густонаселенной местности последствия могут быть очень высокими, такие районы называются районами с высокими последствиями.

Очень важно понимать, какие угрозы повышают вероятность риска в трубопроводной системе транспортировки углеводородов и как их оценить. Как правило, для трубопроводной системы существует около семи основных выявленных угроз. Некоторые из этих опасностей зависят от времени, поскольку они возникают после некоторого времени службы трубопровода:

- внутренняя и внешняя коррозия;
- коррозионное растрескивание под напряжением;
- врожденные дефекты материала.

Также присутствуют и другие опасности, которые независимо от времени службы представляют угрозу по нарушению стабильной работы системы:

- повреждение третьей стороной (наезд механизированной техники, нарушение ведения земляных работ);
- аварии, вызванные дефектами трубопроводов;
- взрывы с последующим разрушением технических устройств;
- разгерметизация трубопровода при нарушении производственного процесса и ошибках оперативного персонала;
- брак при выполнении строительно-монтажных работ;
- причинение вреда окружающей среде, включая токсичность, воспламеняемость;
- влияние погодных условий (ураганы, стихийные бедствия, оползни);
- отсутствие предупреждающих информационных табличек о проложенном подземном трубопроводе.

2.1.1 Нарушения при эксплуатации трубопроводов транспортировки углеводородов

Нарушения при эксплуатации трубопроводов транспортировки углеводородов не редкость, о чем свидетельствуют регулярные информационные сообщения из различных источников, особенно из ресурсов сети интернет. Причинами аварий являются разные обстоятельства, и когда в новостях из средств массовой информации, нередко до проведения расследования сообщают о причинах. Само расследование аварий включает в себя множество действий, начиная от обследования места, на котором произошла авария и до опроса эксплуатационного персонала, об их действиях в период произошедшей аварии. В результате рассмотрения многих случаев аварийных ситуаций выявлено, что большинство аварий происходят из-за неправильных действий эксплуатационного персонала и не всегда оперативного. Организация обеспечения безопасной эксплуатации является

большим комплексом мероприятий по обеспечению надежной работы всей системы транспорта углеводородов.

В период эксплуатации трубопроводов, по которым происходит транспортировка углеводородов, оборудование в комплексе всей системы подвергается постоянным динамическим нагрузкам, в следствии больших скоростей и давлений, к примеру нефтепроводы воспринимают нагрузки давления от 5,5 МПа до 6,5 МПа при перекачке. Конструкция линейных объектов транспортировки углеводородов как правило, имеет большую протяженность из-за географического расположения нашей страны, поэтому гидравлические удары являются нередким явлением. Происходят гидравлические удары из-за резкого изменения скорости движения продукта, например, при переходе с одного перекачивающего насоса на другой или при очень резком закрытии задвижки, причем в современные линейных системы оснащены запорной арматурой с электрическим приводом, что в свою очередь вызывает быстрое закрытие. Опасность этого явления представляет собой угрозу целостности трубопровода и последующей разгерметизации, что может способствовать к образованию розливов нефти на различном рельефе местности, а это уже экологическая катастрофа. В целях упреждения гидравлических ударов в трубопроводных системах используются различные клапана, колпаки, промежуточные резервуары и другие технические устройства для компенсации в случае резкого повышения давления и скорости нефтепродукта.

Технологические особенности при эксплуатации продуктопроводов, так же имеют свое влияние на конструктивную безопасность, в период запуска, из опустошенного (холодного состояния) трубопровода, по которому пойдет нефть с температурой +40 градусов, в моменте может быть образоваться перепад температур в стенке трубопровода, приводящий к внутренним напряжениям с последующим негативным влиянием по образованию микротрещин, а в случае имеющих микротрещин, приводит к их увеличению. В свою очередь, чтобы исключить подобные внутренние

факторы, необходимо оперативному персоналу в своей боте важно понимать все эксплуатационные особенности по эксплуатации систем транспортировки углеводородного сырья и не допускать нарушений инструкций и установленных регламентов, а проектировщикам делать упор на правильность и надежность подбора материалов, применяемых в конструкции трубопроводов.

2.1.2 Ошибки проектирования трубопроводов для транспортировки углеводородов

Проектирование систем транспортировки нефти и газа, это сложный процесс, под час, требующий труда тысяч человек. Начало долгого пути от листа бумаги технического задания до запорной арматуры эксплуатирующей линейной системы транспортировки углеводородов, могут пройти годы. Наиболее важным моментом на начальном этапе всегда является выбор способа прокладки, или надземным или подземным способом, так же этот выбор характеризуется учетом местности и рельефа, так как в последующем для обслуживания должен быть обеспечен доступ персонала и соблюдены экологические требования.

Современные геодезические приборы, способны выстраивать плоскость местности в 3D модели, что увеличивает шансы проектировщиков определить проблемные участки рельефа на проектируемом участке, на практике это особенно важно, так как обеспечение гидравлического режима при движении нефтепродуктов, в последующем обеспечит экономичность и эффективность эксплуатации. После определений выбора участков прокладки и проведения гидравлических расчетов с соответствующей пропускной способностью, производится выбор материалов трубопроводов для прокладки. Зачастую ошибки происходят в выборе необходимой стали и материала изоляции, так как большинство аварий на линейных участках происходят из-за внутренней и наружной коррозии металла. Так же случаются ошибки и в выборе места положения трубопровода, места пересечения железнодорожных путей, вблизи

смежных коммуникаций, вблизи автодорог и производственных объектов. Все эти факторы в последствии будут влиять на нарушение охранной зоны трубопровода.

Ошибки, допускаемые проектировщиками, не подлежат исправлению после окончательного утверждения проекта и рабочей документации, так как все проекты проходят соответствующие сметные расчеты, согласования, различные экспертизы, допуски, разрешения и после окончания монтажа, что-либо изменить практически невозможно.

В процессе строительно-монтажных работ во время обнаружения неточностей проекта по прокладке или выбора проектировщиком не того, что нужно материала, исправить сложившуюся ситуацию крайне сложно, так как на проект выделено соответствующее финансирование, а также внесение изменений в исполнительную документацию в случае необходимости, в отступлении от проекта строительно-монтажная организация производить не станет. Зачастую на практике случается, что ошибки проектирования переходят в разряд ошибок проведения строительно-монтажных работ, в связи с этим возникают противоречия при определении истинной причины при расследовании аварий. Все эти немаловажные моменты ошибок проектирования, могут оказать свое скрытое негативное влияние спустя годы эксплуатации, которые могут привести к авариям в системах транспорта нефтепродуктов.

2.1.3. Дефекты трубопроводов

Целостность трубопровода может быть нарушена из-за дефектов, возникающих по нескольким причинам: событиями, связанными с вспомогательным эксплуатационным оборудованием трубопровода, или событиями, связанными с эксплуатационными нарушениями работы. Двадцать две категории причин отказа признаны отраслевыми экспертами, и эти причины были сгруппированы в девять категорий угроз целостности трубопроводов:

- внешняя коррозия;
- внутренняя коррозия;
- стресс-коррозионное растрескивание;
- производственные дефекты (производственные дефекты);
- строительные дефекты (дефекты сварки / изготовления);
- нарушение работы вспомогательного оборудования;
- сторонние механические повреждения (немедленные и отложенные отказы);
- неправильный порядок работы;
- погодные условия и внешнее воздействие.

Дефекты, возникающие при производстве, стали или производстве линейных труб, попадают в определенные общепризнанные категории, которые определены в широко признанных стандартах трубопроводов, в которые входят типичные дефекты швов в трубах, сваренные внахлест, сварные швы оплавлением, хотя опыт показывает, что большинство проблем связано с более старыми материалами, особенно при низкочастотной сварке швов и сварных швах внахлест.

Таким образом в бесшовных трубах так же могут возникать самые серьезные производственные дефекты, как и в шовной трубе, хотя случаи отказов из-за таких дефектов гораздо реже, чем отказы из-за дефектов шва в старых трубных материалах, это объясняется дефектами корпуса трубы, например, связанными с растрескиванием твердых участков.

Основными дефектами при изготовлении трубопроводов как правила являются: пережоги, перегревы, закаты, науглероживание, разность толщин, микротрещины, раковины, царапины, вмятины, задиры и т. п. Все эти перечисленные дефекты выявляются при хорошем входном контроле перед проведением монтажа, но производящий осмотр не всегда способен обнаружить визуальными методами наличие дефектов в трубе. Первоочередная ответственность все же ложится на изготовителя трубопровода, поэтому в настоящее время на заводах изготовителях

применяются аппараты неразрушающего контроля, через которые проходят трубы и с помощью необходимых операций, в т.ч. с помощью рентгенографии выявляется брак.

Отсутствие дефекта конструкции за исключением, сварки может так же вывести из строя трубопровод, при перемещении и движении. Ограничение перемещения подземного трубопровода, возможно только при ограничении трения с грунтом, в случаях, когда сама почва сдвигается в результате оседания, оползней, промывки, асейсмические движения разломов или сейсмические явления.

После того, как труба покидает трубопрокатный завод, она может быть повреждена во время транспортировки, погрузки, разгрузки до окончательной укладки вдоль канавы на строительной площадке трубопровода. Дефекты, которые, как известно, возникли в течение этого периода, включают выбоины, вмятины от ударов, вибрации, динамических нагрузках от железнодорожного транспорта. Можно смело предположить, что осмотнительный оператор по перевозке отклонит любой механически поврежденный трубопровод при получении, так как связанные с ним вмятины и вмятины могут быть легко обнаруженным компетентным инспектором.

Известные случаи приобретенных дефектов труб при транспортировке железными дорогами в качестве первопричины приобретены начальные усталостные трещины, которые слишком малы, чтобы вывести из строя на начальном этапе подготовки к эксплуатации трубопровод. В истории случались сбои работы в результате значительного увеличения начальных усталостных трещины после транспортировки железной дорогой, из-за агрессивных циклов нагрузки трубопровода свыше рабочего давления.

Исходя из собранной информации об эксплуатации нефтегазопроводов, проявилась определенная система зависимостей деструкций трубопроводов от циклов их нагрузок. То-есть разрушения, приводящие к разливам нефтепродукта, зачастую происходят во время очередных запусков после остановок и изменении транспортировки продуктов нефти и газа.

В настоящее время при оценке целостности различных трубопроводов для транспортировки углеводородов, производится исследование в отношении управления рисками, связанными с производством труб и трубопроводов, а также рассматриваются строительные угрозы. Эти угрозы могут возникнуть из-за дефектов, возникших при производстве линейных участков магистральных трубопроводов. Как правило, такие дефекты не представляют угрозы безопасности трубопровода, до тех пор, пока они остаются стабильными и не увеличиваются в размерах в процессе эксплуатации. Условия эксплуатации, особенно колебания рабочего давления или повышение давления, превышающее фактическое значение, установленное проектом, может отрицательно повлиять на стабильность производственного дефекта, вызывающие их разрастание до отказа. Один фактор, обеспечивающий стабильность не появления таких дефектов — это выполнение на завершающем этапе строительно-монтажных работ гидравлических испытаний с достаточно высоким поднятием давления выше максимального рабочего.

Опыт показывает, что испытательное давление обеспечивает стабильность и гарантию надежной работы трубопровода. Кроме того, гарантия стабильности, продемонстрированная успешными испытаниями трубопроводов, создает дополнительную гарантию для предполагаемого срока службы большинства трубопроводов. Трубопроводы, которые не были испытаны до максимальных значений, или трубопроводы, которые не были испытаны, но испытали последующие скачки давления в процессе эксплуатации, превышающие установленные значения проектом, но уверенность в стабильности работы таких трубопроводов может все еще существовать.

Устойчивость дефектов конструкции во многом определяется продольным напряжением (или деформацией), а не за счет кольцевого напряжения (т. е. внутреннего давления). Соответственно, строительные дефекты встречаются редко, вызывать отказы трубопроводов, проложенных в

устойчивых грунтах, где продольные или поперечное расположение допускается проектом. Кроме того, применение гидравлических испытаний к трубопроводу имеет мало или нет положительного влияния на стабильность дефектов конструкции, поскольку гидравлические испытания могут не вызывать увеличения нагрузки на дефекты.

Основные дефекты остаются, не выявленными до тех пор, пока он не доведен до состояния, близкое к отказу, в результате проведения гидравлического испытания, если давление не было больше в течение срока службы трубопровода (например, из-за усталости, вызванной циклом давления), и пока происходит случайное превышение давления до уровня, близкого к давлению отказа. Поврежденные давлением дефекты, которые выдерживают определенный уровень давления, могут выйти из строя при более низком уровне давления, если оно увеличивается после того, как выдержат начальный уровень давления.

Строительные дефекты, как правило, остаются стабильными в эксплуатации если трубопровод не смещается в продольном или поперечном направлении из-за оседания, оползней, землетрясения или другие явления движения почвы.

2.2 Коррозия трубопроводных систем

Коррозия — это ухудшение качества материала, возникающее в результате взаимодействия с окружающей средой. Для металла, находящегося в контакте с водным раствором, реакция представляет собой электрохимическую реакцию, включающую перенос электрического заряда (электронов) через границу раздела раствора металла. Энергия, которая содержится в металлах и вызывает их самопроизвольную коррозию, возникает в результате процесса превращения руды в металл.

Причин внутренней коррозии много, и в целом их можно разделить на следующие области:

- химический состав (H_2O , H_2S , CO_2 , растворенные твердые вещества, органические и неорганические кислоты, соединения серы, бактерии и их побочные продукты, углеводороды);
- физические факторы (температура, давление, вибрация, твердые вещества);
- физические факторы конструкции системы (строительные материалы, остаточные напряжения, влияние атмосферы на поверхность).

Взаимодействие всех вышеперечисленных факторов, может вызвать коррозию системы транспорта углеводородов. Динамические системы постоянно меняются, меняются типы, скорости и местонахождения коррозии. Системы транспортировки газа и нефтепродуктов постоянно меняются, так ставятся новые задачи по разработке и применению новых методов для контроля коррозии. Как правило продукты, поступающие в трубопроводные системы различны по своему процентному химическому составу в зависимости от месторождения.

Не менее важным является тот факт, что для экономически эффективной эксплуатации трубопроводных систем транспорта углеводородов, сегодня в трубопроводах необходимо размещать различные продукты, чтобы экономически обосновать использование существующих мощностей и строительство новых объектов. В трубопроводных операциях продукт также меняется с течением времени. Кроме того, экономика эксплуатации трубопроводов в настоящее время требует транспортировки нескольких различных продуктов по трубопроводам. При смешивании продуктов возникают новые ситуации, в которых негативные факторы коррозии могут быть значительно выше.

В большинстве причин образования коррозии практических во всех случаях является вода. Вода, даже в виде тонкой пленки, содержится в большинстве систем транспортировки по всему миру. Кроме того, сбор воды в определенных частях трубопроводных систем также приводит к изолированным коррозионным очагам.

Существует несколько способов борьбы с коррозией, все они используются либо исключительно, либо в комбинации, чтобы дополнять способность друг друга контролировать коррозию.

«Применяемые средства защиты от возможных видов коррозии должны обеспечивать безаварийное (по причине коррозии) функционирование ПТ в соответствии с условиями и сроком эксплуатации, установленными проектной документацией (документацией). Способы и средства противокоррозионной защиты должны обеспечивать защиту от внешней (атмосферной) и подземной коррозии, коррозии блуждающими и индуцированными токами, внутренней коррозии (ингибиторная защита, внутренние защитные покрытия, коррозионностойкие стали)» [10].

Подход к борьбе с коррозией в основном подразделяется на два, в зависимости от того, где происходит коррозия, то есть внутри трубопровода или на внешней поверхности трубопровода. Обе эти группы используют специальные методы для оценки, идентификации и контроля коррозии.

Методы борьбы с коррозией подразделяются на следующие категории:

- изоляционное покрытие;
- электрохимическая защита;
- применение ингибиторов;
- применение коррозионностойких материалов;
- своевременные ремонты и замены трубопроводов.

Борьба с внутренней коррозией ведется с помощью контроля внутренней среды, который включает в себя изменение внутренней среды с помощью различных типов ингибиторов, которые выполняют функции по задержке химических реакций по образованию коррозии, а также обеспечивают допуск на коррозию и установку различных устройств мониторинга. Внутренние покрытия, облицовка также эффективно используются в различных средах, однако их применение не является общим и ограничено конкретными условиями и имеют ограниченный эффект.

«На линейных объектах следует применять средства защиты от возможных видов коррозии, в том числе внешней (атмосферной) и подземной коррозии, внутренней коррозии, коррозии блуждающими и индуцированными токами, в соответствии с условиями и сроком эксплуатации, установленными проектной документацией (документацией), а также проводить мероприятия, обеспечивающие защиту технических устройств от внешних воздействий электростатических разрядов и электромагнитных полей» [12].

Надежность эксплуатации систем транспортировки углеводородов, связано с ценностью доверия и способностью доверять тому, что ожидается от применяемых методов по обеспечении безопасной работ, тем самым вероятность того, что компонент или сама система будут выполнять требуемую функцию в течение заданного времени при использовании в заданных условиях эксплуатации.

Обеспечение надежности с точки зрения безопасности систем транспортировки углеводородов отражает усилия, прилагаемые к постоянным инициативам по улучшению методов безопасной эксплуатации, в которых составной частью являются работы по техническому обслуживанию и ремонтам, ориентированные на надежность.

Для того чтобы производственный процесс был надежным, надежность технологического оборудования и его техническое обслуживание занимают главное место. Операции сосредоточены на надежном технологическом процессе, а техническое обслуживание сосредоточено на надежности оборудования. Очень важно обеспечить на предприятии, чтобы подразделения эксплуатации и технического обслуживания систем транспортировки углеводородов имели общее связующие между собой по обеспечению безопасности работы систем транспортировки. Если надежность рассматривается как показатель доверия к системе или оборудованию, то существует способ узнать, насколько надежна система. Надежность любой системы может быть оценена количественно. Из приведенных выше определений, можно с уверенностью сказать, что надежность — это сочетание

качества производительности, которое является одним из компонентов надежности, времени, необходимого для получения надежных результатов, и повторяемости этих качественных показателей.

Наиболее распространенным способом измерения общей надежности производства является измерение качества, времени и скорости. Производительность по времени должна включать все доступные часы за вычетом простоев, связанных техническим обслуживанием и ремонтом.

2.2.1 Мониторинг внутренней коррозии

Какие бы методы борьбы с коррозией или комбинация методов не использовалась, мониторинг коррозии необходим при любой эксплуатации систем транспортировки углеводородов. Например, если используются покрытия для защиты от коррозии, то без мониторинга, невозможно определить вышли ли покрытия из строя или когда окружающая среда изменяется при повышении температуры, как узнать, приближается ли данный участок трубопровода к критическому порогу коррозии. Постоянное проведение мониторинга линейных участков, может дать ответы на все эти вопросы.

При эксплуатации трубопроводов для транспортировки углеводородов, необходимо создавать систему контроля в режиме реального времени, чтобы знать и понимать, что происходит внутри трубопроводной системы, прежде чем она однажды выйдет из строя.

Системы мониторинга включают в своем составе высокотехнологичные электронные устройства для мониторинга в режиме онлайн и из удаленных мест, состоящие:

- визуальный осмотр;
- ультразвуковой контроль;
- электромагнитный (вихретоковый) контроль, в виде контроля на утечку сетевого потока, испытания на проникновение жидкости и испытание магнитными частицами;

- электрохимический (линейное поляризационное сопротивление, спектроскопия электрохимического импеданса, электрохимический шум);
- химический анализ;
- анализ отложений (взвешенные твердые вещества, окалина, микробиологическое загрязнение).

Современные методы мониторинга и первое поколение накладных или внешних устройств увеличили стоимость программ внутреннего мониторинга коррозии. В дополнение к растущей стоимости, истинное измерение фактической внутренней коррозии по-прежнему ускользает от тех, кому нужны эти данные.

Новейшие разработки оборудования, контрольно-измерительных приборов и программного обеспечения для измерения внутренней коррозии и контроля внутренней коррозии теперь предлагают операторам точную и удобную для пользователя альтернативу тому, что использовалось ранее. Приборы и программное обеспечение, вводя другие параметры, вызывающие возникновение или усиление коррозии, теперь позволяют операторам связывать коррозию с событиями, вызывающими коррозию.

Мониторинг, осуществляемый почти в режиме реального времени, даст данные о том, что происходит сейчас. Получая данные, близкие к данным в реальном времени, можно связать данные о коррозии с событиями, вызвавшими коррозию, тем самым скорректировав или устранив события, вызвавшие коррозию. Примеры очевидных событий, вызывающих коррозию, может быть вызвана отключением насоса впрыска химических веществ, попаданием промывочной воды в систему или утечкой насоса, всасывающего воздух (кислород) в закрытую жидкостную систему. Как только нарушенное состояние выявляется мониторингом по различным показателям, эти события могут быть остановлены или изменены таким образом, чтобы они не вызывали коррозию.

Однако обследования технического состояния трубопроводов не следует упускать из виду, которые следует использовать в сочетании с мониторингом.

Мониторинг не охватывает всю систему, и даже лучшие инженеры, которые имеют многолетний опыт и различное дополнительное обучение могут пропустить фактические места, где может происходить коррозия. Визуально, при проведении осмотра могут влиять очень много различных факторов, таких как светлое или темное время суток, направление лучей солнечного света и остальные, различные аспекты. Основными недостатками онлайн мониторинга является то, что коррозия часто не возникает там, где у нас есть удобный к наблюдению, коррозия продолжается в других местах системы, где мы не осуществляем мониторинг. Одной из главных причин недостатков, является тот факт, что датчики по контролю параметров мониторинга необходимо периодически менять, так как они выходят из строя или передают неверные данные, а также необходимо осуществлять периодическую поверку и калибровку для подтверждения исправной работы и точности показаний приборов, в аккредитованных, специализированных лабораториях метрологии.

В связи с большой протяженностью линейных систем транспорта углеводородов, оперативно заменить вышедшие из строя датчики контроля в большинстве случаев невозможно. На установку датчиков для мониторинга внутренней коррозии обращается особое внимание, но угадать необходимое точное расположение крайне сложно, поэтому информирование об образовании коррозии происходит не своевременно и соответственно не обязательно, что будет подтверждено данными используемых датчиков, которые не показали наличие коррозии, которая просто образовалась совсем в других местах и привела к порывам трубопровода. Произведены подобные датчики из материалов, отличных от материалов контролируемой конструкции, и расположены в местах, не похожих на корродирующие поверхности трубопровода.

2.3. Инспекции безопасности при проведении строительного-монтажных работ

2.3.1 Задачи инспекций безопасности

Инспекция на месте строительного-монтажных работ трубопроводов является важным структурным элементом в общем звене подготовки проекта к вводу в эксплуатацию.

Задачи инспекций:

- содействие созданию безопасной рабочей среды для непрерывного совершенствования посредством информирования о проблемах проекта и их решениях;
- проверка и контроль качества строительного-монтажных работ подрядчиком;
- обеспечение соответствия требованиям безопасности и планов безопасности для конкретных линейных участков трубопроводов и производственных площадок;
- проведение еженедельных аудитов безопасности на объекте проекта и предоставление планов корректирующих действий для информирования вопросов безопасности для подрядчиков;
- контроль за соблюдением правил техники безопасности на объектах и контроль за соблюдением требований к средствам индивидуальной защиты (СИЗ).

Очередные обязанности инспекций, заключаются в помощи строительным-монтажным компаниям по обеспечению безопасности для их сотрудников, так и проведения монтажных и строительных работ на высоком уровне. Таким образом, все инспекционные группы на месте имеют право «останавливать работу» в случае возникновения ситуации, связанной с безопасностью. Инспекторам группы необходимо убедиться, что каждый член рабочей группы понимает свою роль и ответственность в отношении безопасности при выполнении работы. Постоянное планирование до начала

работ, связанных с безопасностью (например, врезки, раскопки, отливка опалубки, горячая резка) обязаны быть в расписании для инспекционной группы, тем самым быть в курсе изменений в рабочей деятельности или условиях на объекте, которые не были выявлены на ежедневном совещании, а также любые изменения в мерах предосторожности, которые необходимо предпринять в результате этих изменений.

Инспекционные группы (надзор за строительством) должны понимать свою роль в установленной цепочке подчинения и расплзании ситуаций, которые, возможно, потребуются обострить в лучших интересах Компании-владелец. Это важно не только для повседневной работы, но и для повседневной работы, становится особенно важным при устранении недостатков и несоответствий.

Инспектор по строительству трубопровода играет важную роль в управлении качеством работы, выполняемых при строительстве трубопровода. Таким образом, инспектор должен признать, что инспекция требует контроля за регулированием, а также критически важных элементы системы менеджмента качества. Поскольку инспектор выступает в качестве уполномоченного представителя компании-владельца трубопровода, мониторинг работ на соответствие спецификациям компании-владельца имеет решающее значение не только для соответствия требованиям безопасности на объекте и окружающей среде. Это критически важно для обеспечения качества строительства, необходимого для долгосрочной безопасности, а также для экологической и экономической эффективности трубопроводного актива.

2.3.2. Обследование линейной части

Геодезические изыскания являются неотъемлемой частью строительства трубопровода и относятся к установке визуальных ориентиров и маркеров (например, столбов, штифтов, планок и ступиц), которые будут определять пределы полосы отчуждения и руководить строительством

трубопровода, также подбирать необходимые приспособления согласно требованиям к строительству. Знаки отмечают безопасные пределы рабочих зон полосы отвода. Если территория для утвержденного маршрута трубопровода засажена деревьями, инспекторы по строительству обычно первыми отмечают деревья, чтобы подрядчики по могли их срезать вниз и установить полосу отвода под строительство трубопровода.

В рамках подготовки к проверке во время процесса обследования инспектор постоянно знакомится с соответствующими аспектами ключевых документов, чертежей и техническими характеристиками проекта. Расчистка и сортировка — это важный этап строительства трубопровода после обследования, где подготовлена полоса отвода трубопровода для предстоящего трубопровода и проведения монтажных работ. Пока работа ведется, инспектор обязан контролировать качество изготовления и предоставлять периодический отчет о проделанной работе.

Инспектору необходимо следить за соблюдением условий, указанных во всех выданных разрешениях и согласованиях, так как расчистка ограничивается растительностью в пределах утвержденной полосы отвода и утвержденных рабочих зон. Нужно обращать пристальное внимание за правильным размещением всех удаленных деревьев и кустов в полосе отвода и рядом с ним, определять любые области, в которых может потребоваться дополнительная очистка (ранее, выходящая за рамки работ).

Инспектор обязан проводить выездные совещания с производителями работ и обсуждать экологические вопросы по снятию и утилизации верхнего слоя почвы перед выравниванием полосы отвода и хранения его вдоль полосы отвода, важно убедиться в том, что верхний и нижний слои почвы хранятся в отдельных хранилищах, потому, после монтажа в почве могут остаться трудно разлагающиеся материалы (шлак, куски электродов, обрезки металла, изоляционный материал) которые могут нанести вред экологии. В связи с этим инспектору необходимо осуществлять качественный контроль передачи территории от подрядчика к эксплуатирующей организации.

2.3.3. Проверка материалов строительства и монтажа

По проектам значительного размера предоставляются материалы, предоставленные Компанией-Собственником на сортировочной станции или складской площадке, обычно расположенной, для временного хранения.

Инспектор обычно отвечает за:

- проверку всех полученных материалов и регистрации в приемке материалов;
- возврат любых материалов, которые повреждены или не соответствуют требованиям спецификации.

В момент получения материалов и деталей на месте, инспектор и подрядчик проводит проверку необходимых компонентов для монтажа и строительства. Важным звеном так же является и обвязка материалов, которая предусматривает размещение стыков труб встык вдоль полосы отвода трубопровода, в том числе размещение опор трубных секций (например, деревянных салазок или пластиковых ванн) рядом с предполагаемым котлованом трубопровода (в некоторых случаях траншеях). Транспортировка трубы с покрытием со складских площадок и установка трубы наверх полостей, включает в себя выкладку материала для прохождения конкретных переходов (например, вода, дорога, железная дорога), при транспортировке к месту строительно-монтажных работ.

Особенно важным необходимо учитывать надлежащее хранение труб (например, стратегическая укладка на основе номера детали), а также участки трубопровода в правильной последовательности размещаются на землеотводе с соответствующими опорами на месте подготовке к сварке. Важно убедиться, что труба, полученная в месте отвала, сопоставляется с ведомостью учета труб (количество и длина каждой трубы отправил трубный завод) и убедиться, что все соединения труб имеют торцевые заглушки.

Перед разгрузкой необходимо убедиться, что труба проверена на наличие повреждений в соответствии со спецификациями компании-поставщика материалов, не имея дефектов таких как:

- скошенные концы;
- внешний корпус трубы не имеет овальности, вмятин, выбоин и царапин;
- внутренний корпус трубы от овальности, вмятин, выбоин, царапин и мусора;
- повреждения из-за попадания предметов между стыками.

В процессе отбраковки необходимо уделять внимание тому, что вся поврежденная труба маркируется как поврежденные товары и хранятся отдельно на сортировочной площадке для утилизации.

2.3.4 Подземная прокладка линейных участков трубопроводов

Рытье котлована и земляные работы являются важным этапом строительства трубопровода, и, как правило, предполагает рытье траншеи в полосе отвода для прокладки труб. Обычно рытье канав выполняется после натяжки, гибки, сварки, и неразрушающего контроля. Там, где встречаются скальные породы, траншею можно взорвать и вырыть, а вот в населенной местности или других районах, где много подземных коммуникаций и могут существовать препятствия следует отметить, по-прежнему требуется рытье канав, и земляные работы, так же можно использовать метод наклонного бурения. Механический колесный экскаватор траншеекопатель или экскаватор с обратной лопатой с траншеекопателем, как правило, используется для создания траншеи одинаковой глубины и ширины, однако более специализированные методы и оборудование могут потребоваться в зависимости от типа почвы и конструкционной прокладки труб.

Во всех местах врезки, где сварщикам требуется дополнительная ширина и глубина необходимо выбирать безопасные стабильные почвенные условия. В рамках подготовки к осмотру во время рытья котлована и выемки грунта инспектор будет постоянно знакомиться с соответствующими аспектами ключевых документов чертежей и технических спецификаций проекта производства работ. Пока работа ведется, необходимо

контролировать качество изготовления и составлять периодический отчет о проделанной работе участниками строительства и монтажа линейной части трубопроводов.

Пересечение подземных сооружений, включая трубопроводы третьих лиц, силовые кабели, кабели связи, кабели для катодной защиты, и все общественные работы должны быть идентифицированы, исследованы и разбиты до любого нарушения грунта поблизости от места производства работ.

2.3.5 Контроль сварочных работ и изоляции линейных участков

Сварка при строительстве трубопровода выполняется для соединения отрезков трубы между собой, при движении строительной бригады по полосе отвода трубопровода. Сварка — это процесс, который используют для соединения двух или более материалов вместе.

В трубопроводной промышленности процесс дуговой сварки используется для соединения трубы с трубой и соединения трубы с компонентами вместе для формирования конвейера. Хотя сварка требует специальных знаний, не только для выполнения работ, но и осмотра работы, есть ряд пунктов, которые подвергаются инспекторскому осмотру, тем самым осознавая это как часть эффективного выполнения своей роли в обеспечении безопасности после запуска линейной части трубопровода.

Представитель заказчика в лице инспектора (инженера по промышленной безопасности) не уполномочен проводить детальную проверку сварки с выдачей заключения.

Поскольку сварка и осмотр — это особая роль, порядок контроля сварных соединений ориентирован на элементы, которые обычно требуют специальных знаний в области сварки. Сварочный контроль выполняется специальной лабораторией неразрушающего контроля в составе специалистов, имеющих квалификацию и специальное обучение в части контроля. Пока ведутся сварочные работы линейной части магистральных

трубопроводов, инспекторская группа по обеспечению промышленной безопасности обязана контролировать качество изготовления и составлять периодический отчет о проделанной работе.

Все инспекторы должны знать об опасностях, присутствующих на различных этапах сварки. К ним относятся, но не ограничиваются горячими поверхностями (предварительный нагрев или послесварочный шов), острые кромками (снятие фаски), точки заземления между концами труб, сварные швы, баллоны с воспламеняющимся газом под давлением, требующие специальной транспортировки и хранения, работающие вблизи к движущемуся оборудованию. Дополнительные требования безопасности требуют участия специализированного инспектора по сварке.

Изоляция трубопровода обеспечивает защитный барьер от повреждения трубопровода, например, коррозия, царапины и т.д. Большинство операций по нанесению покрытия трубопровода происходит централизованно на трубном заводе, однако, поскольку отдельные стыки труб свариваются вовремя в процессе строительства область (кольцевого) сварного шва требует покрытия в полевых условиях.

В то время как для покрытия изоляции трубопровода требуется специальные знания, а не только для выполнения конкретного небольшого участка этой работы, но также осмотр и работы, то есть ряд пунктов, которые инспектор по контролю должен осознавать, как часть эффективного выполнения своей роли в важном процессе монтажа. Инспектор согласовывает рабочую документацию монтажа, поэтому для инспектора необходимы широкие познания в областях по изоляции трубопроводов.

2.3.6 Проверка работоспособности катодной защиты трубопроводов

Катодная защита — это метод, используемый для контроля коррозии трубопроводов, металлической поверхности, сделав трубопровод катодом электрохимической ячейки.

Другими словами, катодная защита является простым методом защиты, когда трубопровод подключается более легко корродируемый (жертвенный) металл (например, магний), который действует на анод. Тогда жертвенный металл подвергается коррозии вместо трубопровода. Однако для длинных трубопроводов, эта пассивная гальваническая катодная защита активна и внешний источник постоянного тока может использоваться и обеспечить дополнительный электрический ток для защиты трубопровода. Как часть системы испытательные станции катодной защиты должны снимать периодические показания. Обычно эти испытательные станции устанавливаются с интервалом от двух до трех километров, но не более пяти километров друг от друга. Обеспокоенность инспектора должна быть направлена не только на новые установки катодной защиты, нужно провести тщательный контроль к существующим заглубленным объектам третьих лиц и их системам катодной защиты, где есть вероятность повреждения во время раскопок. В рамках подготовки к проверке в процессе катодной защиты инспектор будет постоянно знакомиться с соответствующими аспектами ключевых документов, чертежей и технических спецификаций проекта строительства.

Очень важно обеспечить установку станций катодных испытаний рядом с существующими дорогами для облегчения доступа во время последующих периодических испытаний в местах, указанных на чертежах проекта. Необходимо подтвердить, что существующие выпрямители должны быть отключены в районах, где выполняются существующие программы технического обслуживания трубопроводов. Инспектору необходимо убедиться в том, что измерительные провода засыпаны тщательно, чтобы избежать разрыва соединений провод-труба и не закопать провода отведений до завершения подключения к распределительным коробкам. Проверить, что оба конца кабеля, ведущего к распределительной коробке, развернуты, тем самым необходимо удалить любые заусенцы, которые могут вызвать короткое замыкание в проводах измерительных выводов и что испытательные провода

проверены электрически (прозвон) после засыпки и убедиться, что соединения провод-труба не нарушены.

2.3.7 Контроль укладки и засыпки трубопровода

Под опусканием понимается подготовка основания траншеи (при необходимости из-за наличия камней или камней), сняв трубу с временных опор необходимо размещение его в вырытой траншеи после сварки, и проведения неразрушающего контроля для оценки свойства сварного шва и проверки его повреждений.

Основное внимание уделяется мониторингу труб и целостности покрытия при опускании. Для подъема трубы с помощью значительного объема планирования и навыков требуется боковые стрелы (бульдозерное колесо или гусеничный трактор с краном приспособление с левой стороны, позволяющее поднимать непрерывную длину трубы и помещая его в траншею) и другую технику. Размер, количество и расстояние между боковыми штанги должны быть рассчитаны, чтобы гарантировать, что труба не будет подвергаться чрезмерному напряжению и сохранится устойчивость оборудования в процессе опускания.

В период данной работы, инспектор обязан контролировать качество изготовления и составлять периодический отчет о проделанной работе, указывать предметы, которые во время процесса опускания были идентифицированы в серии контрольных списков и сверены с сертификатами на материалы.

Особое внимание перед опусканием трубы нужно уделить тому, что траншея для трубы была обезвожена (осушена) там, где это требуется по проекту прокладки, и то, что она не уплывет с основания траншеи. Проверка подключения электрических кабелей проводов катодной защиты, и проверка ее функционирования является приоритетной задачей инспекции на данном этапе проведения работ.

Обратной засыпкой называется повторное заполнение траншеи ранее выкопанной или новой засыпкой. Подпочвы после опускания участка трубы в траншею. В результате засыпки, почва возвращается в траншею в обратном порядке, при этом сначала необходимо положить обратно подпочву, а затем - верхний слой почвы. Это гарантирует, что верхний слой почвы вернулся в исходное положение.

«Обратная засыпка и подсыпка должны производиться с целью предложить твердую поддержку для структуры трубопровода. Некоторые виды засыпного материала, такие как камни или твердые комки, могут повредить трубу или покрытие трубы, в процессе засыпки может произойти удар о стенку трубопровода, образовав вмятину или трещину на поверхности изоляционного слоя» [28].

Инспектор должен постоянно следить за качеством материала для засыпки и правильной укладкой в траншею таким образом, чтобы гарантировать, что труба и покрытие не будут повреждены.

2.3.8 Приемочные испытания

Гидравлическое испытание — это форма испытания давлением, используемая для подтверждения того, что трубопровод имеет приемлемую прочность и не протекает в рабочих условиях. При испытаниях применяют воду, так как воздух содержит значительно больше накопленной энергии по сравнению с водой и представляет повышенный риск во время испытаний. При гидравлических испытаниях используют воду (а не воздух), смонтированный трубопровод необходимо выдержать под давлением, но перед его вводом в эксплуатацию необходимо:

- проверить целостность изготовленных сборок, включая все сварные швы;
- обеспечить безопасность персонала, окружающей среды и окружающей собственности;

- подготовить документальное подтверждение качества изготовленных узлов и поставляемых материалов трубопроводов поставщиками, выполненные на полосе отвода, чтобы гарантировать, что трубопроводная система может безопасно работать в пределах указанного максимального рабочего диапазона давления.

В случае снижения давления и утечки в трубопроводе во время гидравлических испытаний, участники проведения испытаний должны остановить работы, сбросить давление до рабочего и провести визуальный осмотр трассы участка испытаний по поиску утечки и определить причину.

Во время проведения гидравлических испытаний инспектору нужно точно контролировать, чтобы в процессе гидравлических испытаний были заполнены акты гидравлических испытаний, с указанием участков и величины испытательного давления на манометрах, которые имеют соответствующее клеймо о поверке или калибровке, а в отчетах произведены записи о последовательности событий во время проведения гидравлических испытаний.

После проведения испытаний и приемки смонтированного трубопровода, необходим контроль уборки строительной площадки и произвести демонтаж вспомогательных конструкций, оставшихся возле полосы отвода трубопровода и прилегающих территорий. Все материалы и приспособления, не относящиеся к эксплуатации трубопроводной системы, удаляются.

«Работа технологических установок потенциально опасна и необходимо контролировать, чтобы все операторы установок были полностью обучены возможным опасностям, для этого следует проводить периодические проверки, чтобы убедиться, что технологические процедуры выполняются правильно. Все операторы и связанный с ними персонал должны быть полностью обучен аварийным ситуациям при работе с трубопроводами и знать порядок действия при авариях» [24].

2.3.9 Инспекторская документация

Важнейшим элементом роли инспектора является фиксация необходимых записей при проведении строительно-монтажных работ, так как их сохранение, имеет решающее значение для долгосрочной безопасной эксплуатацией трубопроводов. Например, записи в подробностях о деталях, зафиксированных на этапе строительства, которые могут быть одним из важнейших частей информации при поддержании структурной целостности трубопровода на будущее.

Фиксация инспекционной группой наиболее значимых событий в период каждого этапа выполнения строительно-монтажных работ являются первостепенной важностью. Инженер инспектор (инженер по строительному контролю) обязан отчитываться о качестве работы и своей проделанной работе (ежедневно или еженедельно) путем заполнения различных отчетов за каждый рабочий день и конец недели.

«Инженер лично контролирует процесс строительства на площадке: оценивает качество проводимых работ, следит за исполнением всех норм и правил строительства и соблюдением проектных решений. Примерно 80% рабочего времени инженер по строительному контролю проводит на объектах, контролируя ход проведения работ. В строительном городке он проверяет документацию, в лаборатории неразрушающего контроля проводит оценку качества и соответствия полученных снимков рентгеноскопии» [2].

Задачами инспектора по отражению истории строительно-монтажных работ в документации, являются необходимые обязанности, которые он должен выполнять:

- обеспечить своевременное заполнение и подачу всей необходимой документации;
- убедиться, что все формы, отчеты и отправленные данные являются максимально полными и точными;
- записать всю информацию о ходе строительства, относящуюся к ходу строительства;

- предоставлять информацию на постоянной основе, которая поможет закрыть претензии подрядчика;
- при выявлении недостатков или несоответствий подрядчика обеспечить непрерывный мониторинг, с отражением последующих действий результатов в документации, согласованных действий;
- постоянно координировать сбор данных по проекту;
- составлять отчеты для главного инженера и руководителя строительства в соответствии с конкретными сроками;
- постоянно пересматривайте базовые оценки и графики в соответствии с фактически выполненной работой и предоставляйте отзывы;
- заполнять информацию, относящуюся к производству, в формах и отчетах о проверках;
- получение официальных письменных согласований от руководителя строительства / главного инженера (или назначенного) до начало любой дополнительной работы (операции);
- подготовка полных отчетов об инспекции (например, проверенные материалы, качество изготовления, площади, геодезические станции);
- подготовка полных отчетов о ходе строительства (например, материалы, качество изготовления и проверенные участки);
- ежедневно фиксируйте продолжительность и места выполнения работ;
- подготовить отчет о завершении проекта;
- определить извлеченные уроки.

–

Выводы по разделу

В ходе рассмотрения вопросов эксплуатации магистральных нефтепроводах и газопроводах, проанализирована информация о состоянии магистральных сетей трубопроводов, об основных причинах ведущих к

авариям при проектировании, строительстве и эксплуатации. Так же была изучена законодательная и нормативная документация, направленная на регламентирование эксплуатации магистральных трубопроводов, обеспечение промышленной безопасности на данных опасных производственных объектах и территориях ближнего расположения.

Самые крупные предприятия страны, владеющие магистральными трубопроводами не смотря на соблюдение норм и правил, постоянный контроль собственных служб промышленной безопасности при строительстве и эксплуатации сталкиваются с авариями, приводящим к огромным материальным, экологическим и прочим последствиям. Это отражает общая статистика аварий. Поэтому предприятия нуждаются в улучшении контроля, применении новых методов обследований на предмет оперативного обнаружения утечек, а следовательно, и по предотвращению аварий.

Важным элементом в проведении инспекций, является слаженная работа имеющихся на балансе предприятий лабораторий неразрушающего контроля, в которых наибольший интерес, составляет в применении необходимых приборов ультразвукового контроля - ультразвуковой дефектоскоп и ультразвуковой толщиномер, с помощью которых предназначенных для контроля металлов, качества сварных швов, измерения глубины объекта, измерения толщины стенки трубопровода. Основным назначением приборов является исследование мест коррозии, трещины, внутренних расслоений и других дефектов встречающихся при обследовании нефтегазопроводов. Так же были рассмотрены материалы, касающиеся проведения инспекций строительно-монтажных работ трубопроводов.

3 Применение инновационных методов для обеспечения надежности и безопасности в системах транспорта нефти, нефтепродуктов и газа

3.1 Методы оценки технического состояния систем транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа

Совсем недавно, в прошедшем десятилетии, значимой проблемой являлась возможность визуализировать полученные данные о проведенной съемке при диагностировании в отчеты о проверке таким образом, чтобы сделать их легко доступными для последующего применения и анализа этих результатов. Традиционные отчеты были ограничены в своей полезности, поскольку возможность их обсуждения в режиме реального времени была затруднена способами обработки инженерным персоналом, которому необходимо было проводить специальные вычисления и конструировать модели при помощи различных диаграмм.

На сегодняшний день были созданы различного рода программы, в том числе с применением ресурсов хранения информации облачными способами, для решения повышения оперативности в передаче результатов обследования с целью своевременного принятия обоснованных решений на основе практических идей. По своей сути современные диагностические программы диагностического обследования, связаны в единый комплекс, дрон-программа-облако, что позволяет специалистам, проводящим диагностическое обследование, находиться за тысячи километров от линейных объектов транспортировки углеводородов. Поскольку отчеты автоматически генерируются с облачными ресурсами, на облаке, они могут быть доступны на любом устройстве с правильными разрешениями, что делает их еще более удобными. Кроме того, можно получить доступ к историческим отчетам, что позволяет пользователям легче визуализировать тенденции целостности трубопроводов.

Автоматизированная система дистанционного контроля промышленной безопасности на опасных объектах представляет собой программное обеспечение, которое благодаря интеграции с единой системой диспетчерского управления через корпоративное хранилище производственных данных получает данные о технологическом процессе.

«Первая разработка - геоинформационная система мониторинга введена в эксплуатацию в конце 2019 года на объектах Транснефть. Программный комплекс предназначен для сбора, хранения, обработки и анализа данных геотехнического мониторинга станций. В основе технологии - трехмерная модель объекта, выполненная по данным наземного лазерного сканирования, а также проектной и исполнительной документации. Система создана для анализа текущего и прогнозных состояний объектов станций, расположенных в сложных природно-климатических условиях, позволяющая проводить обследования трубопроводов. Система направлена на повышение безопасной эксплуатации объектов: с ее помощью специалисты, смогут оперативно получать характеристики и данные по объекту в любой его точке» [21].

В современных отчетах, сформированных на облачных платформах полностью интерактивны, что в свою очередь позволяет эксплуатационным организациям анализировать полученные результаты проведенных обследований с полной понятной визуализацией в трехмерной плоскости, так же в настоящее время в отчеты включаются динамические визуализации, которые могут быть изменены путем поворота представления на любую категорию собранных данных (например, тип объекта, глубина объекта, местоположение объекта). Кроме того, данные отчетов могут легко интегрировать с организациями, выполняющими капитальные и текущие ремонты линейных участков систем транспортировки углеводородов, что позволяет сформировать более четкое представление о выявленных дефектах на участках перед предстоящим ремонтом.

На сегодняшний день на территории страны эксплуатируется множество различных трубопроводов для транспортировки углеводородов,

соответственно существует периодичность их ремонта и технического обслуживания, но как можно определить сколько трубопровод может эксплуатировать, а когда он уже теряет свой ресурс и при дальнейшей эксплуатации и может быть опасен.

«В случае наступления аварии, независимо от предпринятых мер по восстановлению экосистемы после ликвидации последствий, разлитая нефть представляет собой огромный ущерб, поскольку нефтяные загрязнения местности нарушают многие природные движения естественного баланса среды, которые имеют большое значение жизнедеятельности живых организмов и животных, находящихся в очаге разлива нефтепродуктов. Пары от испарений нефти ведут к проблемам органов дыхания у млекопитающих, которые находятся около или в непосредственной близости с большими разливами нефти. Не стоит забывать и о самом человеке, потому что если разлив нефти произошел вблизи населенного пункта, то может пострадать и сам человек, вдыхая негативные пары углеводородов и контактируя с загрязнениями от нефти.

При попадании в организм человека нефть может вызывать желудочно-кишечные кровотечения, проблемы с печенью, повышение давления и другие нарушения работы организма. В течении последних нескольких десятилетий, человечество все чаще сталкивается с большими загрязнениям от выбросов нефти не только на суше, но в водоемах, реках по дну которых проложены магистральные нефтепроводы, а также в океанах, по которым транспортируется нефть в танкерах, после которых процесс ликвидации является самым затратным и дорогостоящим. Подсчитать материальный ущерб, причиненный экосистеме от разливов нефти весьма сложно» [30].

В большинстве крупных предприятий существуют лаборатории неразрушающего контроля, которые проводят периодические исследования состояния трубопроводов на предприятии, а предприятия, у которых нет данной службы, могут привлекать по договору сторонние организации, оказывающие услуги по обследованию трубопроводов.

«Неразрушающий контроль проходит в трассовых условиях и напрямую зависит от климатических условий: холод, жара, дождь, снег накладывают отпечаток на проведение работ. Сейчас динамично развивается цифровая радиография, где вместо привычных пленочных детекторов используются цифровые, что позволяет значительно сократить время контроля, минуя привычную фотообработку рентгеновских снимков» [1].

В большинстве случаев, эксплуатирующие организации работают на упреждение и стараются не допускать нештатных ситуаций по выходу из строя трубопроводов из-за неудовлетворительного состояния. В случаях, когда эксплуатация трубопровода транспортировки углеводородов начинает приближаться предельному сроку эксплуатации, в эксплуатирующих организациях начинают просчитывать капитальные затраты на замену участков действующих трубопроводов на новые, в силу различных факторов при эксплуатации один трубопровод требует полной замены, а другой может находиться в удовлетворительном состоянии и продолжить свою работу и дальше.

Для разрешения подобных противоречий существует статья 7 и 13 Федерального закона № 116 от 21.07.1997 «О промышленной безопасности», в котором указывают конкретные обязательные требования по эксплуатации технических устройств по истечении срока службы, после которых производится экспертиза промышленной безопасности.

«Экспертиза проводится с целью определения соответствия объекта экспертизы предъявляемым к нему требованиям промышленной безопасности и основывается на принципах независимости, объективности, всесторонности и полноты исследований, проводимых с использованием современных достижений науки и техники» [11].

Экспертизу промышленной безопасности проводят независимые от заказчика специализированные организации, обладающие нужными допусками и лицензиями, которые разрешают организации проводить различные работы, в том числе экспертизу промышленной безопасности.

Установленные требования к нормам проведения экспертизы, указываются в основных требованиях, устанавливаемых Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности».

Значимым принципом проведения экспертизы является независимость от заказчика экспертизы ни в каких аспектах деятельности, так как проведение всесторонних обследований и других необходимых действий должны быть беспристрастными. Суть данного требования очень важна в части обеспечения безопасности, потому что эксплуатирующая организация не сможет никаким образом повлиять на результаты проведенной экспертизы независимой организации.

Специализированная организация, является предприятием, имеющим необходимый штат сотрудников, в том числе экспертов, оснащенных специальными приборами контроля для проведения экспертизы промышленной безопасности, а также организация должна удовлетворять множеству требований для получения лицензии к выполнению данных работ.

3.1.1 Техническое диагностирование трубопроводов транспортировки углеводородов

Линейные участки систем, транспортирующих нефть, нефтепродукты и газ, состоят не только из системы трубопроводов, а имеют в своем составе большое количество и вспомогательного оборудования, такого как нефтеперекачивающие станции, компрессорные станции, установки осушки и очистки, цеха хранения и подготовки углеводородов. Поэтому важность в правильной оценке остаточного технического ресурса одного из элементов системы транспорта углеводородов влияет на всю цепочку производственного процесса в обеспечении безопасности транспортировки углеводородов.

«Действующие наружные газопроводы должны подвергаться периодическим осмотрам, приборному контролю, текущим и капитальным ремонтам, а законсервированные - наружному осмотру. Технические

устройства подлежат техническому диагностированию, а здания и сооружения - обследованию в сроки, предусмотренные проектной документацией» [13].

Процесс экспертизы промышленной безопасности состоит из:

1. В первую очередь проводится наружный осмотр технических устройств (трубопроводов и сопутствующего оборудования), при этом эксперт визуально проверяет наличие видимых дефектов, правильность расположения согласно, проекта, а также не были нарушены требования после монтажа.

2. Проводится сбор информации на основе эксплуатационной документации, технологических карт, оперативных журналов показателей работы и других различных сведений о параметрах и периоде времени работы оборудования в действующем режиме эксплуатации.

3. Производится исследование степени качества сборки различных элементов системы транспорта углеводородов на линейных объектах (соединения трубопроводов фланцами, сгоны, резьбовые соединения).

4. Исходя из структуры металла и других конструктивных элементов линейных участков трубопроводов экспертами специализированной организации, производящей экспертизу (диагностирования), производится выбор основных методов проведения неразрушающего контроля. На основании объективности, экспертами подбираются методы контроля и необходимые приборы диагностики технических устройств, которые в большей степени будут оптимально подходить по своим характеристикам для определения дефектов, возникающих в процессе эксплуатации.

5. На территории линейных объектов необходимо в полной мере определить все негативные факторы, которые могут оказывать негативное влияние на производственные и технологические процессы применяемого оборудования. На данном этапе выполнения технического диагностирования в полной мере производится оценка материалов, участвующих в составе линейной части системы для транспортировки углеводородов, определяется

каким образом производится восприятие, установленного материала к действующим нагрузкам и повреждениям.

6. Проведение неразрушающего контроля сварных соединений и элементов проводится специализированными приборами, с помощью которых определяется толщина трубопровода, браковочные параметры сварного шва, а также можно определить скорость износа трубопровода и остальных элементов линейной части с течением времени (проведение расчета скорости коррозии).

7. Заключительным этапом проведения технического диагностирования является расчет оценки остаточного ресурса технических устройств и элементов по различным методикам исходя из состава материалов и других конструктивных элементов.

8. Экспертная организация предоставляет заказчику отчет (заключение экспертизы промышленной безопасности), в котором назначается срок остаточного ресурса в указанных условиях эксплуатации. После согласования с заказчиком, заключение о проведенной экспертизе промышленной безопасности через заявление установленной формы, направляется в территориальный орган Ростехнадзора по месту нахождения технического средства.

3.2 Современные методы обеспечения надёжности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа

В нефтегазовой отрасли сборно-транспортные трубопроводы транспортируют неочищенные смешанные вещества, такие как нефть и природный газ, добываемые из различных разрозненных нефтяных месторождений, на станции подготовки нефти и газа. Поэтому трубопровод транспортировки нефти и газа имеет большую протяженность, а схема трубопроводной сети сложна. Между тем, сырая нефть, протекающая по трубопроводу, представляет собой сложную и разнообразную среду,

обладающую высокой коррозионной активностью. Это возникает потому, что трубопроводы легко подвергаются коррозии и повреждению, образуя дефекты и влияя на безопасную работу трубопроводов транспортировки нефти и газа. Их делят на коррозию внутренней стенки трубы и коррозию наружной стенки трубы в зависимости от положения корродированной стенки трубы. Наружная стенка трубы подвергается коррозии в основном потому, что при длительном контакте наружной стенки трубы с почвой, воздухом, водой и сильным солнечным светом происходят физико-химические и электрохимические реакции, что приводит к дефектам коррозии стенки трубы.

Стенки трубы в основном из-за газожидкостной смеси, содержащей большое количество агрессивного газа и рассола, которые химически и электрохимически взаимодействуют с внутренней стенкой трубы, вызывая коррозию стенки трубы. Для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации систем транспорта нефти и газа необходимо проводить своевременную дефекацию.

Для решения проблем, связанных в постоянном уменьшении толщины стенок трубопроводов для транспортировки углеводородов, вызванных коррозией и эрозией, применяется метод вихретокового контроля в дистанционном поле с коаксиальной двойной катушкой по распознаванию коррозионной остаточной толщины стенки в трубопроводах. При использовании существующего метода, между фазой напряжения сигнала обнаружения и толщиной стенки трубопровода проводится оценка остаточной толщины стенки трубопровода. Практичность и правильность теоретической модели системы обнаружения проверяются экспериментально. Данный способ можно использовать для определения остаточной толщины стенок трубопроводов в режиме реального времени и в различных средах.

«Трубопроводная сеть во многих случаях бывает структурно избыточной, что позволяет оперативно перенаправлять транспортные потоки при переходе в неработоспособное состояние отдельных элементов системы в процессе эксплуатации. Причины наблюдаемых отказов могут быть связаны с

внутренними процессами в системе или с внешними факторами при возникновении ситуаций, не предусмотренных условиями номинальной эксплуатации. Повысить стойкость трубопроводных систем к развитию процесса прогрессирующей блокировки можно путем защиты некоторой части транспортных узлов с применением системы упругого подвешивания трубопроводов вместо монтажа на жестких опорах и системы компенсационных сильфонов, обеспечивающих возможность взаимного смещения трубопроводов при наличии вибрационных нагрузок» [22].

3.2.1 Определение трещин в трубопроводах ультразвуковыми методами

Технология ультразвукового контроля использует распространение и отражение ультразвуковых волн в тестируемой среде. Технология ультразвукового контроля характеризуется хорошей направленностью и высокой проникающей способностью. Однако скорость обнаружения технологии относительно низкая, и в процессе обнаружения требуется связующий агент. Зачастую очень трудно количественно определить тип и размер дефекта, а точность обнаружения мелкой трещины невысока.

Для проведения внутренних обследований трубопроводов, в настоящее время применяется автоматизированный дрон, представленный на рисунке 3, который при помощи современных технологий выполняет качественную диагностику в нефтепроводе по ходу движения потока среды,

Технология обнаружения рассеяния магнитного потока использует внешнее магнитное поле для намагничивания ферромагнитного материала, а магнитные силовые линии проходят внутри материала. Если внутренняя часть материала не повреждена, то распределение магнитных силовых линий внутри материала будет относительно однородным и датчик обнаружения не получит сигнал об утечке из трубопровода. Если внутри материала есть дефекты, такие как коррозия или трещина, магнитные силовые линии, проходящие через область дефекта, будут искажены из-за изменения магнитного сопротивления

материала, и часть из них пройдет через поверхность материала, так что образование вблизи внешней поверхности дефекта может определяться датчиком детектирования, представленного в работе на рисунке 3. Обнаружение утечки магнитного потока относительно эффективно, поскольку требует незначительной очистки поверхности детектора.

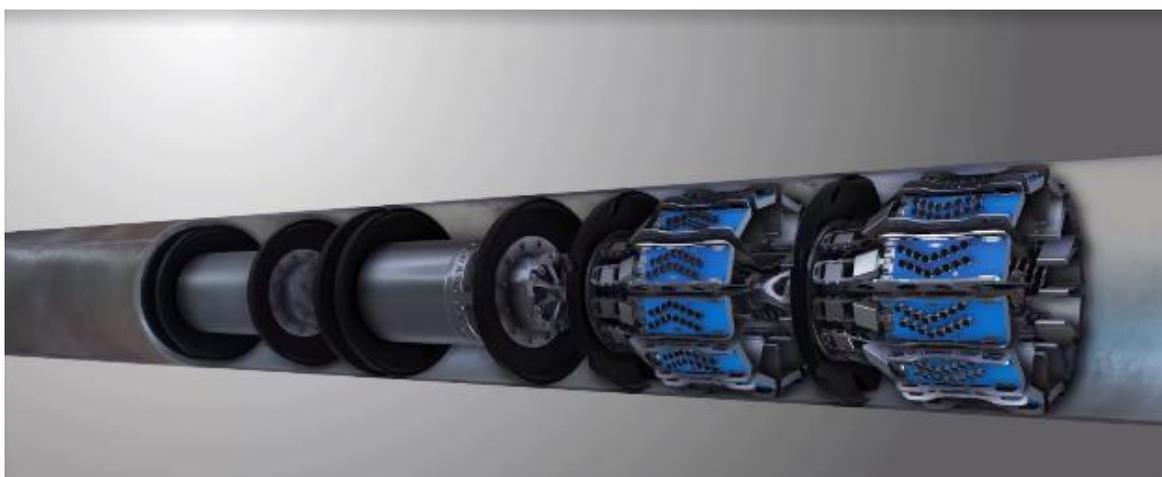


Рисунок - 3 Движение дрона дефектоскопа в процессе диагностики нефтепровода



Рисунок 4 – Технология обнаружения трещин в нефтепроводе

Технология обнаружения использует принцип электромагнитного обнаружения трещин, представленного на рисунке 4. При подаче сигнала переменного тока на катушку возбуждения в окрестности катушки

генерируется переменное возбуждение к испытательному образцу трубопровода, обнаруженному в ферромагнитном материале, приближают и в нем генерируют наведенный ток. Отраженное магнитное поле воздействует на детектирующую катушку, что изменяет импеданс детектирующей катушки. Информация, относящаяся к дефектам металла, может быть определена при помощи измерения детекторной катушки, так как это наиболее распространенный метод тестирования, который может обнаруживать только поверхностные и приповерхностные дефекты трубы. Для различных дефектов трубы анализируется внутренняя взаимосвязь между глубиной дефекта и фазой детектирующего сигнала, а также глубина дефекта определяется количественно.

«Известно аналоговое по типу изобретение патент RU2306479C1 09.01.2008, которое относится к устройствам неразрушающего контроля дефектов стенок магистральных трубопроводов в виде коррозии, вмятин, раковин и других повреждений, причем внутритрубный снаряд со средствами дефектоскопии может по информации одометров и других датчиков менять скорость своего движения» [16].

Ультразвуковой контроль обладает высокой надежностью и достоверностью при обнаружении дефектов трубопроводов и имеет одинаковую чувствительность при обнаружении дефектов на внутренних и наружных стенках трубопроводов для транспортировки нефти и газа.

3.2.2 Диагностика определения вмятин в трубопроводах

Трещины, взаимодействующие с вмятинами, относятся к одним из наиболее важных признаков для выявления и устранения. Вмятины с любым повышением напряжения создают непосредственную угрозу, требующую быстрой проверки и устранения. Несколько факторов способствуют особой точности, применяемой к диагностике трещин в вмятинах. Вмятина сама по себе вызывает концентратор напряжений, добавляя к циклу внутреннего давления, который, в свою очередь, вызывает усталость актива. Без контроля

область вокруг этой усталости становится плодородной почвой для роста новых трещин, что делает проблему еще более сложной.

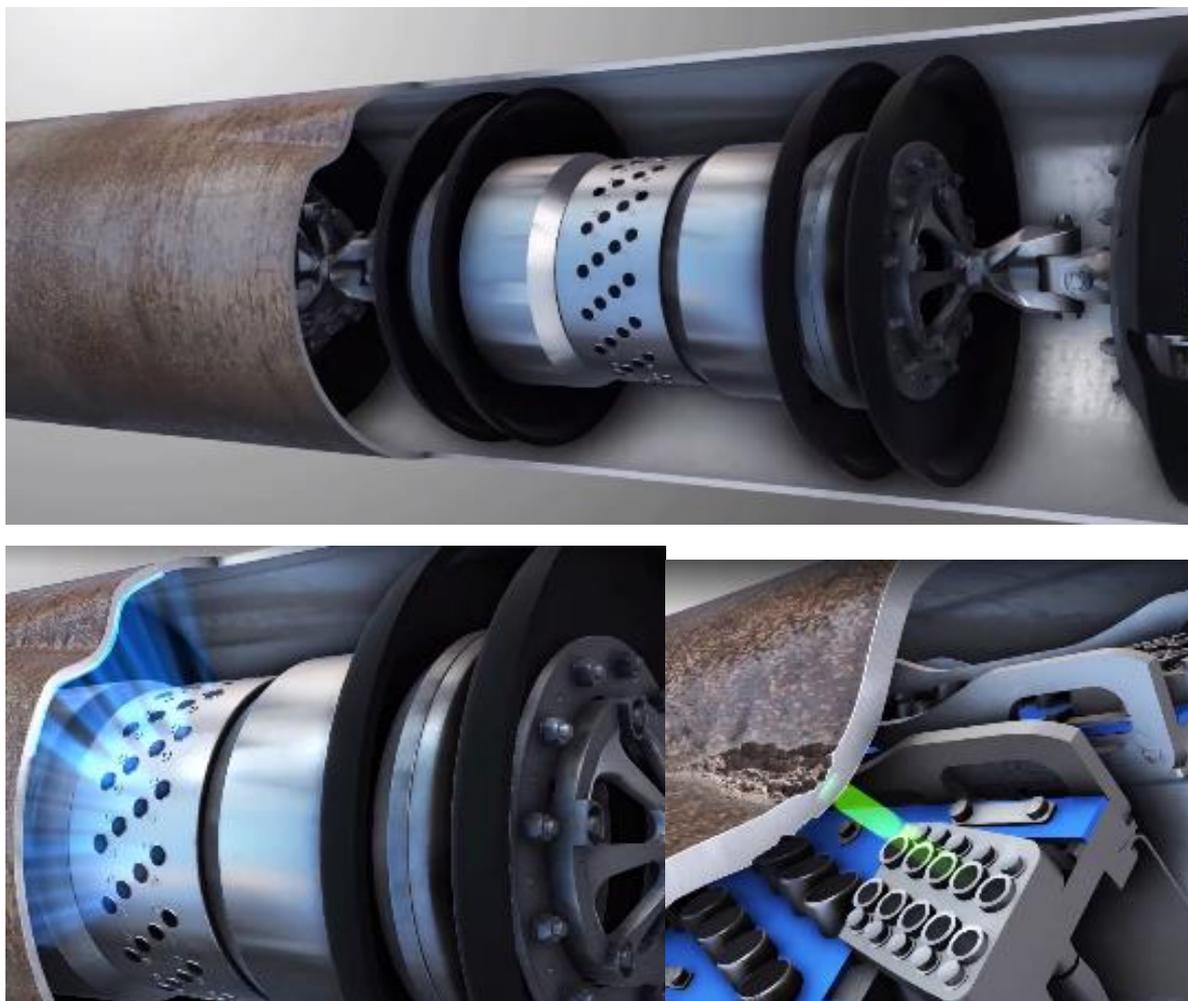


Рисунок 5 – Технология диагностики вмятин в нефтепроводе

Обнаружение признаков трещин и вмятин при помощи дорона-дифектоскопа, представленного на рисунке 5, коррелирует с их размещением в трубопроводе, а также зависит от того, является ли вмятина ограниченной или неограниченной. Если трещины, канавки или выбоины взаимодействуют с этими вмятинами, они могут представлять непосредственную угрозу целостности всего трубопровода.

Учитывая оперативную необходимость обнаружения трещин в вмятинах, с помощью современных специальных дронов проводится

диагностика трещин и вмятин, сочетая обнаружение трещин с высоким разрешением и ультразвуковую геометрию. Диагностика трещин в вмятинах использует высококачественные данные, собранные при продвижении дрона по внутреннему телу трубопровода, с целью получения отчета с наибольшей вероятностью обнаружения трещин, взаимодействующих с вмятинами. В процессе обследования, собранные сведения обрабатываются в сводном отчете, с последующим предоставлением точной информации для принятия необходимых действий и обоснованных решений по управлению целостностью трещин в вмятинах в процессе эксплуатации трубопровода.

3.2.2.1 Оценка характеристик профиля вмятин на трубопроводе

Из всех угроз, с которыми сталкивается эксплуатация трубопровода, вмятины могут быть наиболее опасными. Вмятины могут быть вредными сами по себе, но могут быть еще более вредными, если они соседствуют с другими особенностями, такими как потеря металла, трещины или другие дефекты. В результате эксперты, проводящие обследования трубопроводов систем транспортировки углеводородов, тратят огромное количество времени на идентификацию вмятин, определения их размера и путей по их устранению, чтобы обеспечить бесперебойную, безопасную эксплуатацию трубопроводов.

Характеристика профиля вмятины играет важную роль в мерах наблюдения за вмятинами, поскольку потенциальные угрозы, которые представляют вмятины, основаны на широком спектре факторов. Их потенциал повреждения может варьироваться от нуля до отказа трубопровода в зависимости от факторов, включая циклические диапазоны давления, физическое местоположение, являются ли вмятины локально ограниченными или множественными по всей длине обследуемого участка трубопровода.

Первым шагом в определении характеристик профиля вмятины, является сбор данных визуального осмотра поверхности трубопровода, а при подземной прокладке трубопровода, путем шурфовки или вскрытия контрольных точек. Чем больше будет обследовано контрольных точек и

получено данных о характере вмятин, тем больше эффективна будет вырисовываться картина о том, что происходит внутри трубопровода.

В процессе обследования, эксперты рассматривают эти данные с учетом влияния частоты циклов по изменению давления от минимального до максимального рабочего давления в период эксплуатации. Кроме того, эксперты проверяют, является ли вмятина внутренней или в выпуклой степени, поскольку, это может оказать существенное влияние на любые планы по устранению вмятин. Еще одна часть собранных данных – это деформация трубопровода в силу различных негативных факторов. Способность деформации усиливать потенциальную распространяющуюся опасность от вмятины, делает ее точное измерение ключевой частью оценки вмятины.

С помощью начальных собранных данных обследования об имеющихся на трубопроводе вмятинах или аномалиях, подобных вмятинам, эксперты рассматривают собранные данные с помощью специальных программ на компьютере по определению характера дефекта в осматриваемой области, с последующей оценкой возможных действий по смягчению и устранению вмятин. При этом первыми полученными сведениями после ввода значений в результате обследования будет являться информация о давлении способствовавшему возникновению вмятины.

С пониманием информации о давлении, можно предсказать диапазон будущего максимального роста рабочего давления, за которым может произойти разрушение трубопровода. Кроме того, в ходе произведенного анализа данных, производится оценка усталостного срока службы трубопровода. По сравнению с этой оценкой можно предсказать диапазон времени, в течение которого вмятина в активе может привести к преждевременному окончанию срока полезного использования трубопровода.

Типы оценок целостности, необходимые для того, чтобы планы могли быть укреплены, основаны на ряде факторов, включая такие вещи, как физическое местоположение рассматриваемого трубопровода, непосредственная целостность, будущая целостность, наличие случайных

особенностей и методология изготовления трубопровода. Эти факторы должны быть объединены с прогнозируемой частотой отказов и максимальным рабочим давлением для разработки планов восстановления, которые максимизируют безопасность и необходимую пропускную способность трубопровода в течении назначенного срока эксплуатации. Очень важным моментом в начальном процессе определения характеристик состояния вмятины, является получение изображения с самым высоким разрешением размер вмятины, глубины, ориентации и состояния способности трубопровода имеющего вмятины выдерживать высокие давления в процессе эксплуатации.

Работы по устранению вмятин является критической задачей в обеспечении безопасной эксплуатации трубопроводов транспортировки углеводородов, но незначительные вмятины представляют собой достаточно сложную проблему, поскольку эксперты должны определить, как удаление объекта вмятин повлияет на общую работу всего линейного участка трубопровода. Результатом решения проблемы по удалению элементов, вызывающих вмятины, является параметр ограничения распространения, используемый в алгоритме расчета для прогнозирования того, как такое удаление повлияет на общее состояние трубопровода, включая воздействие на пропускную способность, пороговые значения максимального давления и потенциал увеличения (или уменьшения) роста характеристик.

В процессе эксплуатации вмятина, которая взаимодействует с другой вмятиной или сварным швом, не обязательно будет образовывать по близости еще одну вмятину или взаимодействующие элементы, которые будут еще более опасными для работы трубопровода. Эти взаимодействия могут увеличить потенциальную угрозу, но не критичность работы трубопровода. В результате эти особенности анализируются индивидуально и в сочетании друг с другом. Если индивидуальная или комбинированная оценка дает результат, который не оказывает негативного влияния на последующее разрушение вмятины или усталостную долговечность то данные факторы не будут

считаться прямыми угрозами в рамках безопасности работы трубопровода. В качестве альтернативы, если какая-либо вмятина или связанная с ней угроза действительно превышает значения безопасности, то потребуются дополнительная оценка для максимальной операционной эффективности, безопасности и надежности.

При характеристике вмятин в конструкции трубопровода геометрические различия, обнаруженные в сварных швах, столь же важны, как и воздействие на трубопровод негативных механических факторов, таких как нарушение технологического процесса или нанесение механического ущерба третьими сторонами.

При работе трубопровода, сварные швы имеют решающее значение для восстановления характеристик любого вида в конструкции трубопровода, включая вмятины, которые могут негативно повлиять долговечность эксплуатации трубопровода. Такие характеристики, как ориентация сварного шва, осевое или окружное положение относительно самого глубокого места вмятины и тип сварного шва, вносят дополнительный риск в долгосрочную жизнеспособность трубопровода. В результате такая же строгость, применяемая и к проверке любых изменений в составе стенок трубопровода, связанным с вмятинами. Всегда лучше убедиться, что решение достигает своих целей, а не непреднамеренно усугубляет угрозу вмятины, пытаясь ее устранить.

Современные новые технологии и методы продолжают доказывать свою немаловажную ценность современной диагностике трубопроводов. По мере роста возможностей и сложности инструментария в диагностической сфере все больше предприятий эксплуатирующие трубопроводы для транспортировки нефтепродуктов, применяют инновационные технологии для эффективного управления целостностью, находящихся в эксплуатации трубопроводов.

В консервативной модели диагностики применение новых методов ведет к значительному изменению к тем моделям, которые были нормой в

течение многих лет. Во всей нефтегазовой отрасли цифровая трансформация при современных средствах диагностического контроля оказывает глубокое влияние, которое нигде не проявляется так явно, как в области технологий контроля трубопроводов.

На сегодня актуальные данные, это важнейший продукт диагностики трубопроводов, быстро увеличивающийся в разрешении и объеме. Предоставление результатов оценки текущего состояния трубопровода является ценным, но предоставление информации после диагностики, позволяет активно управлять состоянием и скоростью износа своих активов в будущем, что является неопределимым в сфере обеспечения безопасности транспортировки углеводородов.

3.2.3 Инновационные методы обнаружения утечек нефти, нефтепродуктов и газа

В настоящее время природный газ, состоящий в основном из метана, является одним из основных ресурсов, используемых в электроэнергетике и производстве тепла. В результате транспортировки метана по газопроводам, на сегодняшний день в эксплуатации находятся тысячи километров распределительных и магистральных газопроводов и нефтепроводов, расположенных практически по всей территории Российской Федерации.

Транспортировка углеводородов по трубопроводам является самым безопасным видом транспорта, на сегодняшний день. Однако случайное возникновение непреднамеренных утечек неизбежно. Известно, что человеческая ошибка во время технического обслуживания, брак изготовления или ошибки монтажа, коррозия и старение труб и фитингов являются факторами, способствующими утечкам. Хотя утечки в трубопроводах часто начинаются с малого, позднее обнаружение и идентификация утечек могут быть вредными. За последние десятилетия в мире произошло множество аварий на трубопроводах, унесших жизни людей и нанесен существенный ущерб окружающей среде. Большинство этих аварий

были вызваны несвоевременным обнаружением утечек в трубопроводах транспортировки углеводородов.

Существует немало способов обнаружения утечек газа, но по классификации надежности по обнаружению выделить из них не так уж и много. В связи с широким развитием отрасли транспортировки углеводородов, промышленность ищет и внедряет все новые инновационные технические средства в определении утечек.

К общепринятым методам обнаружения утечек в настоящее время в отраслях транспортировки углеводородов, применяются портативные активные удаленные датчики, резонаторные спектрометры, инфракрасные камеры для съемки систем транспортировки углеводородов. Эти методы являются логистически сложными (доставка на удаленные объекты мониторинга) и дорогостоящими в эксплуатации, обеспечивая подчас неэффективный пространственный охват из-за того, что они эксплуатируются на уровне земли вдоль доступных путей.

Существуют также и методы пилотируемой авиации, которые позволяют проводить съемку крупных объектов линейной части газопроводов, такие системы имеют существенные эксплуатационные расходы и требуют квалифицированный авиационный персонал. Возможное решение в неэффективности и дороговизне существующих методов - это применение малых беспилотных авиационных комплексов.

Все эти масштабы повреждений в системах транспортировки нефти и газа можно было бы предотвратить, если бы существовала надежная 100%-я система обнаружения утечек в трубопроводах, которая могла бы своевременно уведомлять об утечках в трубопроводах. С конца прошлого десятилетия множество исследователей стали разрабатывать дистанционные системы по обнаружению утечек углеводородов с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга и наблюдения за трубопроводами транспортировки углеводородов, представленного на рисунке 6.



Рисунок 6 – Обнаружение утечек углеводородов с помощью БПЛА

В составе систем используются nano-микроконтроллеры, инфракрасные датчики, радиопередатчики и GPS-модули. При дистанционном исследовании БПЛА может служить эффективной системой развертывания бортовых приборов.

Квадрокоптер представляет собой разновидность БПЛА в виде вертолета с четырьмя несущими винтами. В последнее время он породил несколько областей, представляющих интерес, и нашел несколько применений, особенно в области мониторинга окружающей среды. Его применение в качестве системы мониторинга стало очень актуальным в нефтегазовой отрасли, где меры безопасности являются неприкосновенными. Нефтегазовая промышленность стремится иметь возможность использовать небольшие беспилотные летательные аппараты для патрулирования нефтяных месторождений.

В настоящее время в нефтегазовой отрасли все чаще наблюдается тенденция к использованию БПЛА для наблюдения за наземными трубопроводами и объектами. Основные задачи систем обнаружения утечек с

помощью БПЛА состоят в большей степени для наблюдения за трубопроводами и патрулировании инфраструктуры, для этого предприятиями все больше разрабатывается новая авионика, измерительные приборы и средства управления БПЛА.

Инновационные системы с применением БПЛА работают путем прослушивания воздействия давления на трубопровод, которое превышает заданный диапазон пороговых значений, производит обследование трубопровода с помощью замеров инфракрасных датчиков, с последующей отправкой информации о состоянии трубопровода и координатами GPS в оперативный центр предприятия, осуществляющего эксплуатацию трубопровода нефти и газа с помощью радиопередатчика, а так же датчики измеряют концентрацию утечек в атмосфере вблизи трубопроводов нефти и газа.

В сегодняшний день достижения в области мобильного дистанционного зондирования и технологии БПЛА хорошо подходят для мониторинга систем транспортировки углеводородов в северной части Российской Федерации. Так же широкую эффективность показывают и квадрокоптеры, оснащенные системами обнаружения утечек в трубопроводах. Аэродинамика квадрокоптера делает его очень эффективным в части широкой детализации объекта обследования, поскольку он летит с более низкой скоростью и им можно управлять для зависания в определенном месте на земле, по сравнению с БПЛА с неподвижным крылом, который имеет более высокую скорость и не может быть подвешен в воздухе.

Преимущество применения квадрокоптера состоит в том, что большинство нефтепроводов проходит через труднопроходимые рельефы местности и для проведения осмотра требуется умеренная скорость и маневренность именно квадрокоптера, который будет производить плавный облет территории, не сталкиваясь с помехами изображения от деревьев или другими негативными для видеоизображения характеристиками местности (горы, хребты, и т.п.).

3.2.3.1 Принцип работы системы обнаружения утечек с помощью БПЛА и квадрокоптера

БПЛА состоит из четырех двигателей. Каждый из этих двигателей управляется полетным контроллером через специальный сервомеханизм и электронным регулятором скорости двигателя. Система обнаружения утечек нефти и газа становится актуальной, когда БПЛА и квадрокоптер может подняться в воздух и пролететь над трассой трубопровода, подлежащей обследованию.

Установленная на борту система обнаружения утечек — это приборная полезная нагрузка на борту БПЛА, которая измеряет концентрацию летучих органических соединений рядом с БПЛА и передает эту информацию на наземную станцию. Он включает в себя два датчика сжиженного нефтяного газа, который подходит для так же измерения концентрации дыма, этанола, пропана, бутана, угарного газа, паров керосина и бензина в воздухе. В основе каждого датчика лежит нагревательная спираль в частично закрытом пространстве, что увеличивает небольшое стехиометрическое сгорание целевых газообразных углеводородов и кислорода внутри корпуса. Средняя температура в этом пространстве (измеряемая встроенным термометром сопротивления) линейно зависит от концентрации газа, затем температура преобразуется в переменную напряжения, по которой вычисляется значение концентрации газа или паров нефти. Сигнальный процессор запрограммирован на объединение данных от этих двух газовых датчиков в комплексную информацию о химическом профиле исследуемого участка трубопровода, а затем полученная информация передается на наземную станцию управления по каналам телеметрии.

Оптимальная высота полета БПЛА, необходимая для обследования находится в диапазоне от 4 до 25 м над уровнем земли, а продолжительность полета около 30 минут.

Применение БПЛА и квадрокоптера в части сравнения с традиционными процедурами обнаружения утечек является более

эффективным, так как это сокращает затраты ресурсов, с которой сталкиваются организации, в основном вызванную ложными тревогами, вызванными некоторыми более ранними моделями и снижает затраты на мобилизацию средств на месте и техническое обследование персонала на месте, а так же применение БПЛА и квадрокоптера повышает оперативности и эффективность в обнаружении утечек нефти и газа.

3.3. Разработка инновационной системы контроля безопасности транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа

В период эксплуатации систем транспортирования углеводородов, а в большей степени протяженных линейных участков магистральных трубопроводов, существуют различного рода проблемы, связанные с нарушением охранной зоны.

«Охранная зона магистрального трубопровода: Территория или акватория с особыми условиями использования, прилегающая к объектам магистрального трубопровода, предназначенная для обеспечения безопасности объектов магистрального трубопровода и создания необходимых условий их эксплуатации, в пределах которой ограничиваются или запрещаются виды деятельности, не совместимые с целями ее установления» [4].

На сегодняшний день охранная зона для магистральных трубопроводов составляет 25 метров от оси трубопроводов в каждую сторону, это значит, что в пределах этих границ никто кроме правообладателя на эту территорию не имеет право осуществлять какую-либо деятельность, что не всегда выполняется:

- незаконная застройка в пределах охранной зоны нефтепроводов;
- несанкционированное проведение каких-либо работ в охранной зоне
- незаконные противоправные врезки в трубопроводы;

- создание угрозы риска техногенной катастрофы при проведении незаконных работ в охранной зоне;
- нахождение посторонних лиц в охранной зоне, разведение огня.

В связи с большой протяженностью линейных участков магистральных трубопроводов, разнообразным рельефом местности, труднодоступными местами, обеспечение визуального контроля эксплуатации магистральных трубопроводов является головной болью эксплуатирующих предприятий.

Для проведения осмотра трубопроводов, которые располагаются в сотнях километров от места базирования линейных служб по контролю за состоянием трубопроводов существует много проблем начиная от доставки персонала и заканчивая прохождением по болотистой местности в труднодоступных местах. В таких условиях персонал, осуществляющий обход, постоянно подвержен риску производственного травматизма, в то же время в условиях прохождения трубопроводов на сотни километров, осмотр определенной периодичности не будет являться стопроцентным средством выявления нарушений и опасностей в охранных зонах. Температурный диапазон эксплуатации от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$ идеально подходит как к применению в южных регионах, так и на крайнем севере нашей страны.

Для увеличения безопасности в работе систем транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа, предлагается новаторское инновационное техническое средство для организации всестороннего контроля охранной зоны линейных участков трубопроводов транспортировки углеводородов.

«Известно техническое изобретение патент RU2745128C1 22.02.2021 технический результат которого достигается тем, что способ контроля безопасности на объектах МГ заключается в отключении МГ отключающей запорной арматурой, стравливании газа, обеспечении герметичности отключающей запорной арматуры, высверливании отверстий в месте работ, определении наличия конденсата и контроля избыточного давления» [18].

Цель изобретения состоит в круглосуточном контроле охранной зоны участков трубопроводов с использованием датчиков утечки нефтепродуктов и

видеоконтролем охранной зоны, работающих от электроснабжения солнечной электростанции, энергии солнечной батареи, указанной на рисунке 7.



Рисунок 7 – Солнечная батарея

Устройство по обнаружению утечек оснащается:

1. IP видеочкамерой наружного всепогодного исполнения с ночным режимом и с датчиком движения взрывозащищенного исполнения, подключенная каналами передачи данных на общий GSM модуль. В случае прохода постороннего или заезда автотранспортной техники на территорию охраняемой зоны, срабатывает датчик движения и включается IP видеочкамера, с которой поступает сигнал на пульт дежурного оператора эксплуатационной службы, обслуживающей трубопроводы транспортировки углеводородов. Дежурный оператор, увидев на дисплее монитора о том, что в зоне находится посторонний, может идентифицировать по видеоизображению о намерении попавшего на территорию т.е. не случайный проходящий или грибник, животное и т.п., во избежания подобных явлений системой создаются специальные зоны.

«Зона предупреждения, это зона, в которой лазерный сканер способен обнаружить наличие препятствия, приближающегося к зоне безопасности.

Занятие этой зоны вызывает переключение сигналов, которые можно использовать для индикации световых или звуковых сигналов для того, чтобы замедлить опасное движение в охранной зоне» [27].

В случае если на территории охранной зоны трубопровода установлены действия, направленные на причинение вреда трубопроводу или проведение каких-либо работ, раскопок, дежурным предпринимаются меры по оповещению руководства и выезда оперативных служб на охраняемый участок;

2. Акустическим детектором газа на рисунке 8, предназначенным для дистанционного обнаружения углеводородных газов, использующий технологию ультразвукового определения.



Рисунок 8 – Акустический детектор газа

Работа ультразвукового детектора использует в своем составе принципиально новую микрофонную технологию, которая производит определение утечки по характерному высокому звуку, который издает звук нефтепродукта или газа при разгерметизации нефтепровода или других трубопроводов углеводородов.

Современная газо-звуковая ультразвуковая технологическая система, необходима для того, чтобы выброс струи углеводородного газа при разгерметизации, был мгновенно определен по характерным тональным шумам. Ультразвуковые детекторы идеально подходят для применения установки на открытом воздухе. В системе детектора предусмотрена искусственная нейронная сеть, отличающая звук порывов ветра, шум дождя от реальной, произошедшей утечки газа, что определяет высокую эффективность применения и предотвращает от ложных срабатываний. Исходящая из утечки звуковая волна представляет собой импульс высокого давления в воздухе, а сам по себе выброс сжатого газа или струи нефтепродукта от разгерметизации, распространяется активным шипящим звуком, находящийся в диапазоне слышимости ультразвука. Область охвата воспринимаемого сигнала детектора достигает до 50 метров, что способствует установку датчиков друг от друга на значительные расстояния.

Алгоритм работы детектора обеспечивает самодиагностику устройства, которая производит проверку акустической достоверности ультразвукового детектора, с интервалом в 15 минут с помощью встроенного генератора звука, передающего воздушный ультразвуковой сигнал в микрофонную систему детектора утечки. Кроме того, в случае размещения детектора вблизи моря, можно установить боковые защитные экраны, оберегающие датчик от сильных порывов ветра. После получения сигнала о загазованности, информация об обнаруженных углеводородных газа, поступает по удаленному GSM каналу на пульт дежурного оператора, который в свою очередь предпринимает необходимые действия, так же на самом корпусе газоанализатора происходит индикация с выдачей звукового сигнала о наличии загазованности, тем самым предупреждая окружающих о наличии в охранной зоне опасности;

3. Дистанционный анализатор нефтепродуктов показан на рисунке 9, предназначается для обнаружения нефтепродуктов на поверхности земли в обводненной местности (болота, мокрые грунты). Источник сигнала

ультрафиолетового излучения производит с помощью электромагнитных волн воздействие на состав, обнаруженных частей нефтепродукта в измеряемой среде. Полученный сигнал, с датчика подается на контроллер, в котором происходит расчет наличия на участке местности состава нефтепродукта.

При попадании на землю нефти или нефтепродуктов данные через контроллер по GSM каналу передаются дежурному оператору.



Рисунок 9 - Дистанционный анализатор нефтепродуктов

Существует прототип представленного способа обнаружения утечек углеводородов, Патент RU2628872C2 22.08.2017 «Способ определения места утечки жидкости или газа из трубопровода, находящегося в грунте, и устройство для его осуществления».

«Предлагаемый способ и устройство относятся к контрольно-измерительной технике, предназначенной для контроля герметичности газонефте содержащего оборудования и более конкретно, к технике дистанционного определения места утечки жидкости или газа магистрального трубопровода, находящегося в траншее под грунтом» [20].

К сожалению, предприятия имеющие на своем балансе линейные участки нефтепроводов и газопроводов, не имеют возможности в целях

обеспечения безопасности в охранных зонах устанавливать ограждения вдоль всей линейной части, поэтому, представленная рисунке 10 «Система контроля безопасности охранных зон» будет обеспечивать безопасность охранных зон дистанционными способами.

Необходимость установки анализатора утечки нефтепродуктов является важным звеном мониторинга по обнаружению утечек нефтепродуктов, с целью принятия оперативных действий по предотвращению аварий.

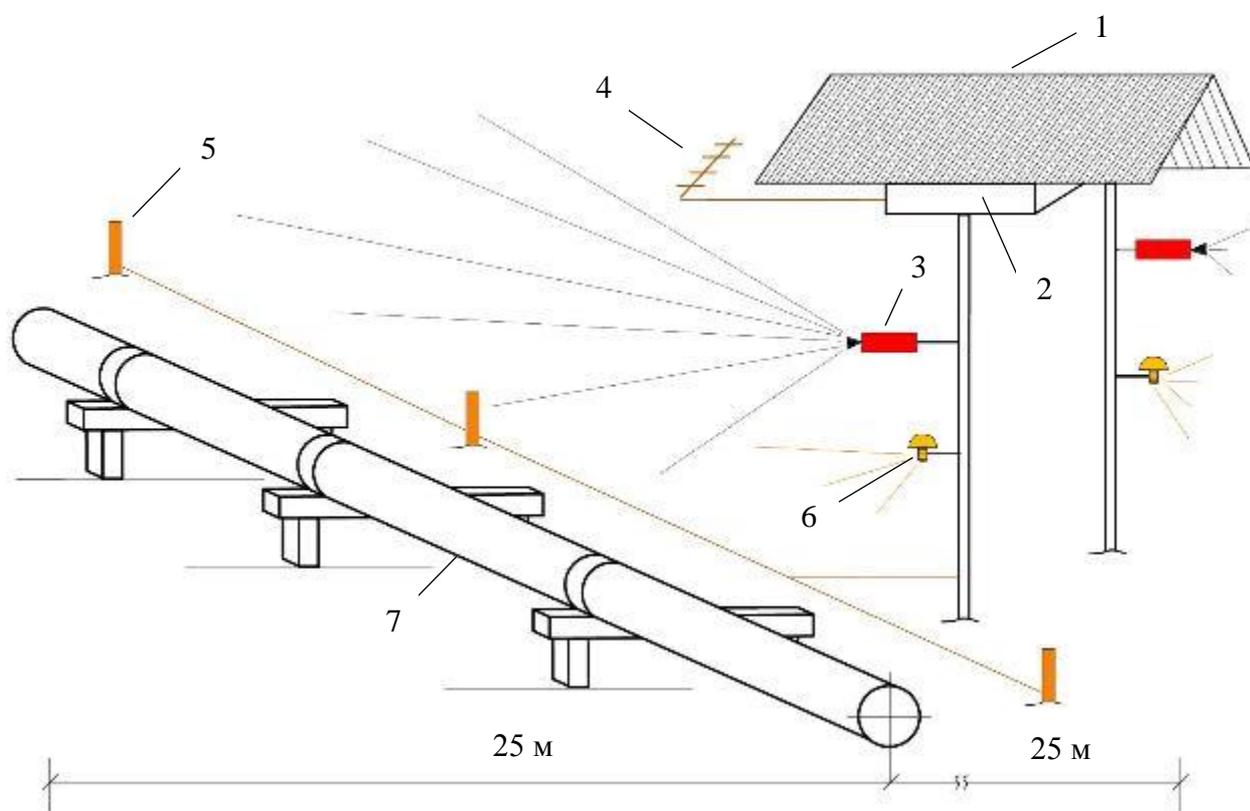


Рисунок 10 - Система контроля безопасности транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа

Общая работа системы производится в совокупности с входящими в ее состав инструментами, обеспечивающими необходимый контроль (надзор) в охранной зоне. На представленном, рисунке 10 (поз. 1) показаны две панели солнечных батарей, состоящих из фотоэлектрических преобразователей, изготовленных из кристаллического кремния, в которых образовывается электрическая энергия, за счет генерации получаемого солнечного света.

Мощность данных панелей, подбирается исходя из нагрузки потребителя и интенсивности солнечного света, например, в южных регионах световой поток будет интенсивнее, чем в северных широтах. В связи с этим, для обеспечения бесперебойного энергоснабжения под корпусом солнечных панелей, устанавливается аккумуляторная батарея (поз. 2), которая накапливает в течении светового дня необходимое количество электроэнергии с целью обеспечения надежного энергоснабжения в темное время суток, либо в период пасмурной погоды. Конструкция системы выполнена в виде крыши, для защиты от осадков, расположенных под солнечными панелями батарей и других элементов системы. Сама конструкция системы, установлена на двух металлических столбах, обеспечивающих удержание весовой нагрузки конструкции.

С обеих сторон устройства располагаются две IP цифровых видеокамеры (поз. 3), которые выполнены во взрывозащищенном исполнении для использования на открытом воздухе. Обзор видеокамеры зависит от кратности увеличения, поэтому камеры необходимо устанавливать с не менее 10 кратным зуммированием, для более точного определения объекта, посетившего охранную зону. Важной особенностью работы видеокамеры является то, что в ее состав вмонтирован датчик движения, что способствует ее включению только в момент необходимости, при проникновении в охранную зону постороннего и в случае необходимости осмотра ее оператором. Эффективность данного позитивного способа работы заключается в том, оператору, находящемуся за десятки, а то и сотни километров наблюдать за всеми охраняемыми зонами, установленными на всем протяжении линейного участка нефтепровода.

На расстоянии между собой в пределах 10-15 метров по длине трубопровода, располагаются датчики обнаружения утечки нефтепродукта (поз. 5), которые срабатывают в случае обнаружения в составе измеряемой среды частички нефтепродуктов. Способы расстановки датчиков выбираются из учета рельефа местности для того, чтобы жидкость, попадающая по

наклону рельефа, стекала к датчику, тем самым увеличивается вероятность обнаружения утечки нефтепродукта. Сам по себе датчик анализатор абсолютно не реагирует на воду, а только на частицы нефтепродуктов, поэтому его установка возможна и в водной среде, например в болотистых местах, проходящих водоемах.

Не менее важным элементом системы является установка акустического газоанализатора, на стальных опорах системы, направленного по обе стороны (поз. 6). Данное размещение прибора позволит контролировать дальность обнаружения разгерметизации линейного участка трубопровода (поз. 7) в 50 метров с разных сторон.

«Существуют близкий к предлагаемой системе аналог, такой как патент RU2688903C1 22.05.2019, «Способ определения утечек в трубопроводах и устройство для его осуществления», сущность которого заключается в том, что устройство выполняет измерение звуковой волны на концах контролируемого участка трубопровода и определяет координаты утечки на указанном участке за фиксированный промежуток времени путем сравнения акустических сигналов, отправленных от места деформации и полученных приемником» [14].

Известные прототипы:

1. «Патент RU2610968C1 17.02.2017 «Способ обнаружения утечек нефти и нефтепродуктов», включающий измерение давления по трассе трубопровода, причем по результатам замеров строят прогноз давления в момент времени следующего замера» [15];

2. «Патент RU2606719C1 10.01.2017 «Система контроля состояния трубопровода» Изобретение относится к защите трубопроводного транспорта, предназначено для наблюдения, обнаружения и локализации утечек, в т.ч. от несанкционированных врезок, а также гидратных или парафиновых пробок автоматическом за счет отсечения вышедшего из строя участка трубопровода, не дожидаясь команды диспетчера» [17];

3. «Патент RU2398157C2 27.08.2010 «Способ обнаружения утечек нефти или нефтепродуктов из трубопровода» используется при диагностике целостности стенки трубы посредством обнаружения утечек нефти из линейного участка трубопровода» [19].

При сравнении патента аналога и прототипов с представленной системой контроля безопасности транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа, в аналоге не обеспечивается контроль охранной зоны и обнаружения загазованности территории, а также метод сравнения разности давлений перекачиваемой среды на разных концах трубопровода, не обеспечит обнаружение небольших утечек нефтепродукта из-за невысоких высоких перепадов давления.

Выводы по разделу

Разработка и применение систем безопасности, безусловно актуальна и своевременна, так как существующие магистральные трубопроводы представляют собой опасный объект, который нуждается в постоянном контроле и мониторинге его состояния как внутреннего, так и наружного. В силу своей специфики, трубопроводные системы, проложенные на сотни километров подчас по труднодоступным районам местности, нуждаются в постоянном контроле за целостностью технического состояния.

На сегодняшний день применяются для диагностики состояния трубопроводов помимо уже известных экспертиз промышленной безопасности, плановых ремонтов, обследований, внешних периодических осмотров и современные, свертехнологичные дроны-проходчики внутренней части труб для получения точной информации состояния металла, БПЛА и квадрокоптеры для постоянного внешнего контроля протяженной части магистральных трубопроводов с получением информации как о внешнем состоянии, так и о соблюдении охранных зон.

На основе уже имеющихся средств безопасности возможно применение «системы контроля безопасности», которая будет включать в себя несколько имеющихся уже средств контроля, таких как IP видеочамера, акустический детектор газа, дистанционный анализатор нефтепродуктов. Именно совокупность в одной системе нескольких современных средств позволит решить сразу несколько задач безопасности по обнаружению в охранной зоне трубопроводов как-либо негативных факторов, что безусловно будет являться позитивным значимым для контроля данных объектов и безопасной эксплуатации событием. Применение инновационных технологий в области контроля охранных зон, приведет к значительному прогрессу в обеспечении круглосуточного наблюдения за работой линейных участков трубопроводных систем и будет способствовать развитию применяемых методов по обеспечению безопасности при транспортировке углеводородов на линейных объектах нефтегазовой отрасли Российской Федерации.

Заключение

На сегодняшний день существуют различные эффективные методы для проведения обследований магистральных трубопроводов, которые направлены на повышение их безопасной эксплуатации. Работа в данном вопросе ведется непрерывно, исходя из частоты происходящих внештатных ситуаций на объектах, выявленных причин, приводящих к аварийности, а также в соответствии с технологическим развитием, инновационными разработками в том числе разных отраслей, таких как программирование, робототехника, информационные технологии.

Именно использование современных, высокоточных систем и приборов, а самое главное позволяющих в том числе дистанционно проводить сбор информации, регистрирование происходящих процессов на объектах магистральных трубопроводов, позволяет своевременно выявлять происходящие разрушающие процессы, дают возможность оперативному персоналу и ответственным лицам предприятий проводить адекватный анализ возможных аварийных ситуаций, планировать текущие и срочные ремонты.

Уже из имеющихся современных приборов возможно спроектировать новую систему безопасности для труднодоступных участков магистральных трубопроводов и таким образом проводить постоянный контроль, получая необходимую информацию о состоянии данного участка, об возможных утечках и порывах, также о соблюдении охранной зоны.

Современные и высокотехнологичные способы диагностики трубопроводов, являются достаточно дорогостоящими и требуют определенной квалификации персонала соответствующих служб, но поскольку данные технологии в первую очередь рекомендуют себя, как наиболее высокоточные, стабильные, данные которых можно анализировать и рассчитывать на продолжительный период времени именно они являются на сегодняшний день актуальными и эффективными в области промышленной и экологической безопасности, а также защиты здоровья и жизни людей.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Аликов Э.А. Неразрушающий контроль [Текст] / Э. Аликов // Трубопроводный транспорт нефти. 2020. № 12. С. 51-53.
2. Алисова Е.М. Дистанционный контроль в режиме опережения [Текст] / Е. Алисова // Трубопроводный транспорт нефти. 2020. № 06. С. 42-43.
3. ГОСТ Р 56352-2015 Нефтяная и газовая промышленность. Производство, хранение и перекачка сжиженного природного газа. Общие требования безопасности. (Введено в действие 01.09.2015), –М.: Стандартинформ, 2019 г., [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119073> (дата обращения 19.04.2022 г.).
4. ГОСТ Р 57512-2017 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Термины и определения. Раздел 3. Термины и определения. (дата актуализации 01.02.2020), [Электронный ресурс]: URL: <https://docplan.ru/Index2/1/4293744/4293744892.htm> (дата обращения 31.03.2022 г.).
5. ГОСТ Р 55989-2014 Магистральные газопроводы. Нормы проектирования на давление свыше 10 МПа. Раздел 16. Защита газопроводов от коррозии [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110075> (дата обращения 31.03.2022 г.).
6. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 г. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Годовой%20отчет%20за%202020%20год.pdf (дата обращения: 04.05.2022).
7. О порядке подключения объектов нефтедобычи к магистральным нефтепроводам в российской федерации и учета субъектов предпринимательской деятельности, осуществляющих добычу нефти. (вступление в силу 24.03.2011), [Электронный ресурс]: Постановление

Правительства Российской Федерации от 17 февраля 2011 г. N 90. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902262868> (дата обращения: 25.04.2022).

8. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ. (с изменениями на 08.12.2020) URL: <http://docs.cntd.ru/document/9046058> (дата обращения 15.04.2022 г.).

9. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. III. Требования к обеспечению взрывобезопасности технологических процессов. (вступление в силу 01.01.2021), [Электронный ресурс]: Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности URL: <https://docs.cntd.ru/document/573200380> (дата обращения 01.04.2022 г.).

10. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности. (вступление в силу 01.01.2021), [Электронный ресурс]: Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 года N 534 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности URL: <https://docs.cntd.ru/document/573230594> (дата обращения 31.03.2022 г.).

11. Правила проведения экспертизы промышленной безопасности. (вступление в силу 01.01.2021), [Электронный ресурс]: Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.10.2020 года N 420// Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/573053315/> (дата обращения 01.04.2022 г.).

12. Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов (вступление в силу 01.01.2021), [Электронный ресурс]: Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 декабря 2020 года N 517. // Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573174913> (дата обращения 02.05.2022 г.).

13. Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные газы. (вступление в силу 01.01.2021), [Электронный ресурс]: Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 532 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. // URL: <https://docs.cntd.ru/document/573264124> / (дата обращения 01.04.2022 г.).

14. Патент RU2688903C1 Российская Федерация, МПК G01N29/04 G01M3/24. Способ определения утечек в трубопроводах и устройство для его осуществления [Текст] Х.У. Богданов, Э.Р. Чернов, Л.Х. Фокеева; заявитель и патентообладатель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Альметьевский государственный нефтяной институт" - № 2018118484; заявл. 18.05.2018; опубл.: 22.05.2019, Бюл., № 15.

15. Патент RU2610968C1 Российская Федерация, МПК F17D 5/00. Способ обнаружения утечек нефти и нефтепродуктов [Текст], А.М. Карасевич, М.Г. Сухарев, К.О. Косова; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Проектно-аналитический центр "Лорес" - № 2015138260; опубл.: 27.12.2016 Бюл. № 14.

16. Патент RU2306479C1 Российская Федерация, МПК F17D5/02 внутритрубный снаряд-дефектоскоп с одометрами [Текст] А.И.Синев, П.К. Плотников, В.Б. Никишин; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "Газприборавтоматикасервис" - № 2005125880/06; заявл. 15.08.2005; опубл.: 20.09.2007 Бюл. № 18.

17. Патент RU2606719C1 Российская Федерация, МПК F17D5/00. Система контроля состояния трубопровода [Текст] В.Ф. Галиакбаров, Э.В. Галиакбарова, В.Д. Ковшов, Ф.М. Аминев, З.Р. Хакимова; заявитель и патентообладатель Галиакбаров Виль Файзулович, Галиакбарова Эмилия Вильевна - № 2015154274; заявл. 16.12.2015; опубл.: 10.01.2017 Бюл. № 12.

18. Патент RU2745128C1 Российская Федерация, МПК F17D5/02. Способ контроля безопасности на объектах магистральных газопроводов и система для его осуществления [Текст] О.Л. Мишин, Е.Ю. Кузнецова, М.А.

Жаналинов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Газпром трансгаз Екатеринбург» - № 2020121623; заявл. 25.06.2020; опубл.: 22.03.2021 Бюл. № 9.

19. Патент RU2398157C2. Способ обнаружения утечек нефти или нефтепродуктов из трубопровода. [Текст] Рахматуллин Шамиль Исмагилович (RU), Гумеров Асгат Галимьянович (RU), Ким Дмитрий Петрович (RU), Захаров Николай Петрович (RU), Карамышев Виктор Григорьевич (RU) Опубликовано: 27.08.2010 Бюл. № 24.

20. Патент RU2628872C2. Способ определения места утечки жидкости или газа из трубопровода, находящегося в грунте, и устройство для его осуществления. [Текст] Дикарев Виктор Иванович (RU), Дементьев Анатолий Алексеевич (RU), Роголёв Виктор Антонович (RU), Горшков Лев Капитонович (RU). Дата публикации заявки: 10.01.2017 Бюл. № 1.

21. Савина Е.А., Трехмерное моделирование на службе мониторинга [Текст] / Е. Савина // Трубопроводный транспорт нефти. 2020. № 06. С. 44-45.

22. Тарарычкин И.А. Характеристика и сравнительный анализ стратегий защиты трубопроводных систем от повреждения транспортных узлов [Текст] / Транспортировка газа и газового конденсата // Газовая промышленность. 2019. № 2. С. 72-77.

23. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. (введено в действие 09.06.2020 г.), [Электронный ресурс]: URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>, (дата обращения 02.04.2022 г.).

24. J. Ridley, D. Pearce. Safety With Machinery, // Second edition Copyright 2008, 273 p.

25. K. Sachedina, A. Mohany, A review of pipeline monitoring and periodic inspection methods// Pipeline safety. September, 2018, 16 p.

26. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. Tank Explosions at Midland Resource Recovery. Investigation Report [Electronic resource]. URL:

<https://www.csb.gov/midland-resource-recovery-explosion-/> December, 2019. (date of the application: 05.05.2021) 50 p.

27. Safety. Detection. Control. // Safety Guide English., ReeR SpA, July 2017, 80 p.

28. Safety measures of the oil pipeline transportation business. Faculty of law Thammasat university academic, 2017, 120 p.

29. Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE) (2021), A Roadmap for the Global Energy Sector. [Electronic resource]. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/net-zero-by-2050-scenario> (date of the application: 29.04.2022) 224 p.

30. А.С. Забоева. Безопасность систем транспортировки нефти в абсолютной безопасности – возможна, научная статья. Научный электронный журнал «Инновации. Наука. Образование \ Тольятти: – 2021. – № 46 (ноябрь). – 2212с. URL:<https://drive.google.com/file/d/1ou8RA537OiEpQSsZRPlrKHwxP5HQ8uw/view> с. 954.