

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 химическом комплексах

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Анализ и разработка методов предупреждения разгерметизации оборудования

Обучающийся

О.И. Тулина

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент, Н.Г. Яговкин

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

Консультант

к.э.н., доцент, Фрезе Т.Ю.

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

Тольятти 2025

Содержание

Введение.....	4
Термины и определения	10
Перечень сокращений и обозначений.....	11
1 Анализ методов и способов обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования ..	12
1.1 Нормативно-правовое обеспечение безопасности опасного производственного объекта (анализ нормативного правового обеспечения безопасности конкретного типа опасного производственного объекта)	12
1.2 Методы реализации обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования (анализ мер по обеспечению безопасности конкретного опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования)	22
2 Разработка методов повышения безопасности опасного производственного объекта.....	30
2.1 Анализ существующих методов предупреждения разгерметизации оборудования (анализ существующих технических решений).....	30
2.2 Совершенствование методов обеспечения безопасности, связанного с разгерметизацией оборудования	37
3 Опытно-экспериментальная апробация предложенных решений на опасном производственном объекте.....	43
3.1 Внедрение методов повышения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования	43
3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации	67

Заключение	73
Список используемой литературы и используемых источников.....	76

Введение

Развитие таких отраслей, как химическая, нефтехимическая, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая, неизбежно приводит к росту числа стационарных объектов для хранения жидких химикатов. В настоящее время общий объем резервуарных парков в стране превышает 50 миллионов кубометров.

Поскольку значительная часть резервуаров уже исчерпала свой проектный ресурс, ежегодно увеличивается количество инцидентов с их участием. Несмотря на принимаемые меры в области промышленной безопасности, последствия этих аварий наносят значительный ущерб [6].

Существенная научная ценность нашей работы заключается в углублении профессиональных навыков в области оборудования, предназначенного для обеспечения безопасности объектов нефтегазовой промышленности от разгерметизации и сопутствующих повреждений. Сформулированные выводы могут быть использованы в качестве практических рекомендаций для других компаний в стране.

Анализ и разработка методов предотвращения разгерметизации оборудования обусловлены возрастающей сложностью промышленных систем, увеличением интенсивности использования оборудования и ужесточением требований к промышленной безопасности и охране окружающей среды. Разгерметизация оборудования, особенно с опасными веществами, способна вызвать катастрофические последствия, такие как человеческие жертвы, значительный материальный урон и серьезное загрязнение окружающей среды.

На текущем этапе развития промышленности, отмеченным интеграцией автоматизированных систем управления и внедрением высокопроизводительного оборудования, возрастает вероятность возникновения аварийных ситуаций, связанных с разгерметизацией. Это вызвано, прежде всего, сложностью процессов, требующих высокой

точности и надежности, а также потенциальными ошибками на этапах проектирования, производства, установки и эксплуатации.

Кроме того, актуальность данной темы усиливается из-за старения основных фондов промышленных предприятий. Многие объекты критической инфраструктуры используются значительно дольше, чем это предусматривалось проектом. Это приводит к накоплению дефектов, снижению прочности материалов и повышению вероятности возникновения трещин и других повреждений, способствующих разгерметизации.

В условиях глобализации и интеграции мировых рынков последствия аварий, вызванных разгерметизацией, становятся международными. Утечка опасных веществ может оказывать трансграничное воздействие, затрагивая не только экономику, но и экологическую безопасность соседних стран [35].

Таким образом, разработка и реализация эффективных методов предотвращения разгерметизации оборудования являются важной задачей для обеспечения промышленной безопасности, защиты окружающей среды и предотвращения экономических потерь. Данная работа направлена на анализ существующих методов контроля и диагностики, выявление уязвимых мест и создание новых, более эффективных подходов к предупреждению разгерметизации, учитывающих современные достижения науки и техники. Эффективная система предупреждения разгерметизации оборудования является важной частью системы управления рисками и позволяет существенно снизить вероятность аварий и их негативные последствия.

Объектом исследования является оборудование и трубопроводы нефтегазовой отрасли, работающие под давлением.

Предметом данного исследования является повышение безопасности нефтегазовых трубопроводов за счет обеспечения их герметичности.

Целью диссертационного исследования является повышение герметичности оборудования, предназначенного для транспортировки нефти и газа.

Гипотеза исследования заключается в том, что повышение герметичности оборудования, предназначенного для транспортировки нефти и газа, будет обеспечено, если:

- будут проанализированы основные причины разгерметизации оборудования и основные методы и способы обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией;
- предложены методы повышения безопасности опасного производственного объекта, связанные с разгерметизацией оборудования;
- внедрены методы повышения безопасности опасного производственного объекта, связанные с разгерметизацией оборудования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ методов и способов обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования;
- разработать техническое решение повышения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования;
- провести оценку эффективности внедрения методов повышения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования.

В качестве теоретической и методологической основы исследования использовались научные труды российских и зарубежных ученых, а также статистические данные, касающиеся разгерметизации оборудования на объектах нефтегазовой промышленности.

Основой для данного исследования послужили также результаты мониторинга процесса транспортировки углеводородного сырья по трубопроводным магистралям.

В качестве исследовательских методов использовался анализ статистических данных о разгерметизации оборудования в сфере нефтегаза, системный анализ и экспериментальный подход.

Опытно-экспериментальная база исследования: ООО «Промсервис».

Научная новизна исследования заключается в:

- результатах анализа методов и способов обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования;
- разработанном техническом решении для повышения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования;
- результатах оценки эффективности внедрения методов повышения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования.

Теоретическая значимость исследования заключается в нахождении решения проблемы разгерметизации оборудования в нефтегазовой отрасли.

Практическая значимость работы связана с внедрением многоканального внутритрубного профилометра, который обеспечивает защиту объектов нефтегазовой сферы от утечек в трубопроводах. Это устройство способствует значительно снижению затрат на реновацию и помогает избежать убытков, связанных с авариями и прорывами [7].

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались использованием корректных методов исследования, подтвержденных научных фактов, а также результатами внедрения.

Вклад автора в исследовательский проект включал в себя практическую реализацию экспериментальной части согласно разработанной

матрице, а также формулирование предложений по минимизации риска разгерметизации.

На протяжении всего периода исследования осуществлялись проверка и применение полученных результатов. Итоги работы были представлены на следующих конференциях:

- Тулина О.И. Анализ и разработка методов предупреждения разгерметизации оборудования//Форум молодых ученых.2024.№ 12 (100).

На защиту выносятся:

- Результаты анализа методов и способов обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования; проанализированы основные причины разгерметизации оборудования и основные методы и способы обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией. Произведено углубленное изучение доступных технических решений, организационных мер и технологических процессов, нацеленных на предотвращение, сдерживание и устранение результатов разгерметизации оборудования. Акцент сделан на анализе действенности используемых систем контроля, отслеживания и оповещения, на оценке степени надежности оборудования и трубопроводных систем. Рассмотрены федеральные законы, правительственные указы, технические стандарты и другие нормативные акты, определяющие вопросы производственной безопасности и защиты граждан и территорий от чрезвычайных происшествий.
- Разработано техническое решение для повышения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования. Представлен обзор современных методик, направленных на предотвращение потери герметичности оборудования. В результате анализа были изучены преимущества и

недостатки таких устройств, как взрывная муфта, предохранительный клапан и прижимной клапан. Исследование специфики применения этих устройств указало на их ограниченную эффективность, что приводит к случаям разгерметизации оборудования и трубопроводов на предприятиях нефтегазовой индустрии. Для устранения обнаруженной проблемы предложено использование многоканального внутритрубного профилемера. Его характеристики и особенности применения позволяют определять состояние оборудования и трубопроводных систем непосредственно во время эксплуатации. Этот выбор продиктован потребностью в быстром и точном контроле состояния трубопроводных сетей, что даст возможность вовремя обнаруживать потенциально опасные зоны и избегать аварий.

- Результаты оценки эффективности внедрения методов повышения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования. Описан процесс интеграции усовершенствованных мер безопасности на производственном объекте повышенной опасности, подверженном риску потери герметичности оборудования. В рамках данного процесса акцент сделан на стадиях первоначального анализа рисков, создании и реализации технических решений, подготовке сотрудников и последующем контроле результативности реализованных мероприятий.

Основные результаты исследования представлены в следующих публикациях: Тулина О.И. Анализ и разработка методов предупреждения разгерметизации оборудования//Форум молодых ученых.2024.№ 12 (100).

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, содержит 15 рисунков, 13 таблиц, список используемых источников (52 источника). Основной текст изложен на 83 страницах.

Термины и определения

В настоящей работе применяются следующие определения, каждое из которых подкреплено строгим толкованием:

«Коррозия – разрушение или изменение характеристик материалов, вызванное их взаимодействием с окружающей средой или другими веществами» [11, с. 23].

Опасный производственный объект» – организация или её территория, на которой осуществляется работа с опасными материалами, высоким давлением, температурным режимом или другими условиями, которые могут спровоцировать аварийные ситуации с серьезными последствиями» [11, с. 45].

«Разгерметизация оборудования (трубопровода) – разлив легковоспламеняющейся жидкости на грунт и/или высвобождение нефтяного газа вместе с его рассеиванием в атмосфере (включая его выделение из сырой нефти), загрязнение промышленной территории или окружающей среды, формирование области взрывоопасных концентраций углеводородов в воздухе» [11, с. 45].

Перечень сокращений и обозначений

В настоящей работе применяются следующие сокращения:

ВТД – внутритрубная диагностика;

ГОСТ – государственный стандарт;

МРТ – магнитопорошковый дефектоскоп;

НК – неразрушающий контроль;

ОПО – опасный производственный объект;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

СНИП – строительные нормы и правила;

РФ – Российская Федерация;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

ФЗ – федеральный закон;

ЭПБ – экспертиза промышленной безопасности.

1 Анализ методов и способов обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования

1.1 Нормативно-правовое обеспечение безопасности опасного производственного объекта (анализ нормативного правового обеспечения безопасности конкретного типа опасного производственного объекта)

Опасный производственный объект (ОПО) — это предприятие или его участок, где ведётся деятельность, связанная с обращением опасных веществ, высокими давлениями, температурами или иными факторами, способными вызвать аварии с тяжёлыми последствиями.

К опасным производственным объектам относят:

- химические и нефтехимические предприятия;
- газораспределительные сети;
- объекты энергетики (котельные, ТЭЦ);
- шахты и рудники;
- объекты с оборудованием, работающим под давлением и др.

Соблюдение норм промышленной безопасности на ОПО — ключевой фактор предотвращения аварий и катастроф. В России действует комплекс нормативных актов, регулирующих эту сферу, включая федеральные законы, постановления, ГОСТы и СНиПы [12].

Федеральный закон № 116-ФЗ от 21.07.1997 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

«Основные положения:

- устанавливает требования к безопасности на ОПО;
- обязывает предприятия разрабатывать и внедрять системы управления промышленной безопасностью;

- вводит обязательное лицензирование деятельности, связанной с эксплуатацией ОПО;
- определяет порядок декларирования промышленной безопасности;
- вводит обязательную экспертизу промышленной безопасности (ЭПБ)» [19].

Федеральный закон № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»:

- регламентирует требования к зданиям и сооружениям на ОПО.
- включает положения о прочности, надёжности и устойчивости конструкций [41].

Федеральный закон № 225-ФЗ, принятый 30 ноября 1995 года и известный как «О соглашениях о разделе продукции», определяет требования к промышленной безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

Федеральный Закон № 197-ФЗ от 30.12.2001 «Трудовой кодекс Российской Федерации»:

- определяет требования к охране труда на ОПО;
- включает нормы по обеспечению безопасных условий труда;
- устанавливает обязанности работодателя и работника в области промышленной безопасности [45].

Подзаконные акты и технические регламенты

«Постановление Правительства РФ № 492 от 15.06.2021 «О декларировании промышленной безопасности»:

- обязывает предприятия разрабатывать декларацию промышленной безопасности;
- устанавливает перечень обязательных мероприятий по снижению рисков аварий» [22].

«Приказы Министерства энергетики РФ»:

- «№ 811 от 12.08.2022 — утверждает правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» [27];

- «№ 1013 от 25.10.2017 — определяет требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем» [28].

«Приказ № 835н, изданный Министерством труда и социальной защиты РФ 27.11.2020, устанавливает правила безопасности труда в процессе осуществления рабочих операций с использованием инструментов и различных приспособлений» [25].

Национальные и межгосударственные стандарты.

ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»:

- определяет порядок предотвращения и ликвидации пожаров на ОПО;
- включает требования к системам автоматического пожаротушения [40].

Согласно положению «ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»: документ, устанавливает допустимые уровни вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [38].

Согласно положению «ГОСТ 12.0.003–2015 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»: нормативный документ «определяет опасные и вредные производственные факторы» [39].

«Инструкция по охране труда для электромонтёра по ремонту и обслуживанию электрооборудования — определяет меры безопасности при работе с электроустановками» [4].

Пакет документов по электробезопасности включает:

- «правила устройства электроустановок (утверждены приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204)» [24];
- «правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утверждены приказом Минэнерго России от 12.08.2022 № 811)» [27];

- «правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (утверждены приказом Минтруда России от 05.12.2020 № 903н)» [26];

Нормативно-правовая база России обеспечивает безопасность ОПО, но требует регулярного обновления с учетом современных технологий.

Внедрение цифрового мониторинга может повысить эффективность контроля за соблюдением норм безопасности.

Предприятия должны активно внедрять системы управления промышленной безопасностью для минимизации рисков аварий и несчастных случаев.

Кроме того, используются ГОСТы, которые касаются электроустановок зданий и содержат требования:

- по обеспечению безопасности;
- к защите от поражения электрическим током, от понижения напряжения (для оборудования);
- к помещениям, в которых используются электроустановки [1].

Документы по электробезопасности на предприятии разрабатываются с учетом специфики работы и, соответственно, перечень зависит от имеющегося электрооборудования. В офисах это оргтехника, персональные компьютеры, системы кондиционирования, пожарно-охранная сигнализация и т. д. В других организациях используется силовое оборудование, к обслуживанию и использованию которого предъявляются уже иные требования. Постараемся дать наиболее универсальный перечень.

Основные документы по электробезопасности в организации можно разделить на группы, первая из которых – документация ответственного за электрохозяйство [1].

«Приказы:

- по электрохозяйству (общий);
- о назначении сотрудника, который отвечает за электрохозяйство;

- об организации комиссии по проверке знаний норм и правил работы в электроустановках;
- о допуске к самостоятельной работе;
- о порядке хранения ключей от электроустановок и их выдачи;
- о закреплении систем учета электроэнергии за работниками;
- о системе нумерации нарядов, бланков переключений, средств защиты и переносных электроприемников» [13, с. 23].

«Другие документы:

- распоряжение, которым электроустановки закрепляются за оперативно-ремонтным персоналом;
- перечень должностей электротехнического, а также электротехнологического персонала с необходимостью иметь группу по электробезопасности в электроустановках до и выше 1000 В (II–V группы);
- перечень работ, которые выполняются по нарядам в электроустановках до 1000 В;
- перечень работ, которые выполняются по распоряжению в электроустановках до и выше 1000 В;
- перечень текущих работ в электроустановках до 1000 В;
- список сотрудников, которые имеют право вести оперативные переговоры с энергоснабжающей организацией;
- положение об отделе главного энергетика, если таковой имеется в организации или на предприятии;
- положение об энергетической службе;
- должностные инструкции ответственного за электрохозяйство, главного энергетика;
- инструкция по учету и расследованию технологических нарушений в работе устройств;
- инструкция по переключениям в электроустановках;

- оперативный журнал;
- журнал неполадок и дефектов электрооборудования, ведомость дефектов;
- бланки: переключений для потребителей электроэнергии, для энергоснабжающих организаций, наряда-допуска для работы в электроустановках» [13, с. 25].

В каждой организации есть неэлектротехнический персонал, который работает с различным электрическим оборудованием, поэтому необходимы следующие документы:

- приказ о присвоении I группы по электробезопасности неэлектротехническому персоналу;
- перечень должностей, которые относятся к неэлектротехническому персоналу;
- Документация по проведению инструктажей для неэлектротехнического персонала:
приказ о проведении инструктажей по электробезопасности;
- программы вводного и первичного инструктажей;
- журналы регистрации инструктажей» [3, с. 43].

«Документы по электробезопасности в организации включают раздел о допуске к работам в электроустановках:

- приказ об организации обучения для работы на новой должности или по новой профессии оперативного, оперативно-ремонтного состава, руководителей этих подразделений;
- приказ о проведении медосмотров электротехнического и электротехнологического персонала;
- программа обучения по электробезопасности электротехнического персонала;
- журнал учета проверки знаний норм и правил работы в электроустановках» [33, с.15].

«Также в перечень включаются:

- документация лица, которое отвечает за переносные электроприемники;
- документы по порядку учета и хранения средств защиты;
- документы для проведения проверок параметров электрооборудования – бланки, ведомости, протоколы» [33, с. 26].

Ниже представлен обзор некоторых основных нормативных документов.

Федеральный закон № 116-ФЗ от 21.07.1997 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [19].

Общие положения: Федеральный закон № 116-ФЗ регулирует вопросы промышленной безопасности опасных производственных объектов (ОПО) в целях предупреждения аварий и обеспечения защиты населения и окружающей среды.

Основные требования закона:

- определение ОПО и их классификация;
- обязанности владельцев и операторов ОПО по обеспечению безопасности;
- лицензирование деятельности, связанной с эксплуатацией ОПО;
- проведение экспертизы промышленной безопасности;
- декларирование промышленной безопасности;
- надзор и контроль со стороны органов государственной власти;
- ответственность за нарушение требований промышленной безопасности.

Значение закона.

Закон обеспечивает государственное регулирование и контроль за безопасностью на ОПО, снижает риски аварий и способствует созданию эффективной системы промышленной безопасности [19].

Федеральный закон № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [41].

Общие положения.

Федеральный закон № 384-ФЗ устанавливает технические регламенты, обеспечивающие безопасность зданий и сооружений на всех этапах их жизненного цикла.

Основные требования закона:

- прочность, надежность и устойчивость зданий и сооружений;
- требования к пожарной безопасности;
- энергоэффективность и ресурсосбережение;
- санитарно-гигиеническая безопасность и защита здоровья населения;
- требования к инженерным системам зданий;
- контроль за соблюдением норм при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов.

Значение закона.

Закон обеспечивает защиту жизни и здоровья граждан, сохранность имущества и минимизацию техногенных рисков, связанных с эксплуатацией зданий и сооружений [41].

Федеральный закон № 225-ФЗ от 30.11.1995 «О соглашениях о разделе продукции» [20].

Общие положения.

Федеральный закон № 225-ФЗ регулирует отношения, возникающие при заключении и исполнении соглашений о разделе продукции между Российской Федерацией и инвесторами в сфере недропользования.

Основные требования закона:

- заключение соглашений между государством и инвесторами;
- распределение произведённой продукции между сторонами;
- условия эксплуатации месторождений полезных ископаемых;
- обеспечение промышленной безопасности и охраны окружающей среды;
- государственный контроль и мониторинг соблюдения условий соглашений.

Значение закона.

Закон направлен на привлечение инвестиций в разработку месторождений, создание благоприятных условий для недропользования и соблюдение стандартов экологической и промышленной безопасности [20].

Правила устройства электроустановок (ПУЭ).

Общие положения.

ПУЭ устанавливают требования к проектированию, монтажу и эксплуатации электроустановок.

Основные требования:

- требования к электробезопасности и защите от поражения электрическим током;
- нормы по заземлению и молниезащите;
- требования к кабельным линиям и электрощитам;
- эксплуатация электроустановок в условиях повышенной опасности.

СП 76.13330.2016 «Электротехнические устройства».

Общие положения.

Свод правил устанавливает требования к проектированию и эксплуатации электротехнических устройств.

Основные требования:

- требования к распределительным устройствам и трансформаторным подстанциям;
- нормы электроснабжения промышленных предприятий;
- правила размещения электрооборудования в зданиях и сооружениях.

Технический регламент о безопасности электрооборудования (ТР ТС 004/2011).

Общие положения.

Этот технический регламент устанавливает обязательные требования к безопасности электрооборудования, реализуемого на территории Евразийского экономического союза (ЕАЭС).

Основные требования:

- электробезопасность при эксплуатации оборудования;
- защита от перегрева, короткого замыкания и других аварийных режимов;
- требования к маркировке и сертификации продукции.

Приказ Министерства энергетики РФ «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии» [27].

Общие положения.

Приказ утверждает обязательные требования к эксплуатации электроустановок на предприятиях.

Основные требования:

- организация технического обслуживания электроустановок;
- проведение планово-предупредительных ремонтов;
- меры по повышению надежности электроснабжения [27].

Нормы и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (НПЭЭП). Этот документ содержит правила и нормы, направленные на обеспечение безопасности работ при эксплуатации электроустановок потребителей.

Каждый из рассмотренных нормативных актов играет важную роль в обеспечении безопасности промышленных объектов, строительства и эксплуатации электроустановок. Законодательное регулирование направлено на снижение рисков, защиту здоровья людей, окружающей среды и экономических интересов государства. Соблюдение требований данных нормативных актов является обязательным для всех организаций, работающих в указанных сферах.

Эти нормативные документы устанавливают стандарты и требования для обеспечения безопасности при работе в электроустановках. Они предоставляют обязательные инструкции и правила, которыми должны

следовать работодатели и работники, чтобы минимизировать риски и обеспечить безопасное функционирование электрооборудования.

Нарушения при составлении документации чреваты штрафами при проверках, которые возрастают в разы, если на предприятии произошел несчастный случай, повлекший человеческие жертвы, значительные материальные потери. Надзор за соблюдением требований электробезопасности возложен на органы федерального государственного энергонадзора [34, с. 77].

1.2 Методы реализации обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования (анализ мер по обеспечению безопасности конкретного опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования)

В обеспечении безопасности опасных производственных объектов, связанных с разгерметизацией оборудования, особое внимание уделяется комплексному подходу, который включает технические, организационные и профилактические меры.

Главной целью является не только предотвращение аварийных ситуаций, но и минимизация их последствий в случае возникновения. Для этого разрабатываются и внедряются различные методы, которые помогают контролировать риски и обеспечивать безопасность как сотрудников, так и окружающей среды.

Прежде всего, важно провести глубокую идентификацию рисков, связанных с разгерметизацией оборудования. Это включает оценку всех возможных причин, которые могут привести к утечке опасных веществ, будь то коррозия, механические повреждения, усталость материалов или внешние воздействия.

Для этого используются методы анализа опасностей, такие как FMEA (анализ возможных отказов) или HAZOP (анализ отклонений от нормальных параметров), которые помогают не только выявить потенциальные угрозы, но и оценить их последствия для здоровья работников и экосистемы. На основе этих данных разрабатываются стратегии предотвращения аварийных ситуаций. Важной частью обеспечения безопасности является внедрение технических решений, которые помогают контролировать состояние оборудования. Применение высококачественных материалов и конструкций, способных выдерживать воздействие внешних факторов, таких как температура, давление, химическое воздействие, значительно снижает вероятность разгерметизации.

К примеру, использование коррозионно-стойких материалов и термостойких сплавов повышает долговечность и надежность оборудования. Также важную роль играет использование автоматизированных систем мониторинга, которые позволяют в реальном времени отслеживать параметры работы оборудования, такие как давление, температура, вибрации и другие критические параметры. Это позволяет оперативно реагировать на любые отклонения и устранять неисправности до того, как они приведут к более серьезным последствиям [10].

Кроме того, для обеспечения безопасности разрабатываются и внедряются различные меры, направленные на предотвращение аварийных ситуаций. Это включает в себя не только контроль качества и надежности оборудования, но и регулярные технические осмотры, проверки и диагностику с использованием современных методов неразрушающего контроля, таких как ультразвуковая дефектоскопия или рентгенография. Благодаря этим методам можно своевременно обнаружить возможные повреждения, такие как трещины или коррозию, которые могут привести к разгерметизации.

Организационные меры также играют важную роль в обеспечении безопасности. Проводится обучение персонала, которое охватывает не только

безопасные методы работы с оборудованием, но и действия в случае аварийных ситуаций.

Практические тренировки помогают сотрудникам отработать свои действия, что в случае реальной аварии позволяет быстро и эффективно реагировать. Регулярные тренировки и обновление знаний персонала являются необходимыми для поддержания высокой готовности к любым чрезвычайным ситуациям.

Кроме того, необходимо внедрять системы локализации аварий. Даже если аварийная ситуация произошла, важно минимизировать ее последствия. Для этого используются системы, которые позволяют локализовать утечку опасных веществ, например, герметичные кожухи или резервуары для сбора химических веществ.

В случае разгерметизации важно также обеспечить быструю эвакуацию работников, для чего разрабатываются детализированные планы эвакуации, учитывающие возможные риски и различные сценарии развития аварий.

Важной частью системы обеспечения безопасности является непрерывный мониторинг состояния оборудования и прогнозирование его работы. Современные технологии позволяют устанавливать сенсоры, которые не только контролируют технические параметры оборудования, но и прогнозируют возможные неисправности на основе анализа полученных данных. Это позволяет оперативно устранять потенциальные проблемы, предотвращая их развитие в более серьезные аварийные ситуации.

В рамках риск-ориентированного подхода выделяют две группы мер обеспечения безопасности: мероприятия, направленные на уменьшение вероятности возникновения аварий, и меры, направленные на смягчение тяжести последствий аварий.

«Среди решений, направленных на предупреждение аварийных выбросов опасных веществ (уменьшение вероятности аварий) на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, следует отметить:

- применение материалов повышенной прочности, повышение толщин стенок сосудов и трубопроводов;
- использование защитных кожухов;
- повышение частоты диагностики, испытаний на прочность и герметичность;
- повышение чувствительности и надежности систем контроля технологических процессов и блокировок» [36].

В таблице 1 представлены меры по уменьшению вероятности возникновения разгерметизации трубопроводов (отказ технических устройств) [4].

Таблица 1 – Меры по уменьшению вероятности возникновения разгерметизации трубопроводов (отказ технических устройств)

Причина	Мероприятие
Физический износ	Систематические инспекции и глубокая диагностика с использованием технических средств. Поддержание исправности трубопроводных систем и арматуры посредством оперативного осуществления требуемых ремонтно-профилактических работ. Своевременная замена отслужившего свой срок или обветшавшего оборудования
Коррозия	Для обеспечения надежной работы оборудования необходимо вовремя проводить диагностику и устранять все обнаруженные неисправности. Повышение ответственности за нарушение правил мониторинга коррозионной устойчивости
Выход технологических показателей за допустимые границы	Регулярные проверки и мониторинг состояния технологического оборудования, а также исправности контрольных приборов. Непрерывное отслеживание параметров технологического процесса
Остановка поставок энергоресурсов (электричества, пара, воды, воздуха)	Гарантия стабильной поставки нужных энергетических ресурсов. Создание запасных маршрутных линий поставок

Продолжение таблицы 1

Причина	Мероприятие
---------	-------------

Сбой в функционировании систем и (или) устройств управления и мониторинга	Регулярное инспектирование и проверка работоспособности управляющих и контролирующих устройств, а также защитных механизмов. Проведение поверки приборов в установленное время
---	--

В таблице под номером 2 отображены ключевые мероприятия, направленные на снижение риска разгерметизации трубопроводных систем, вызванной ошибочными действиями работников [4].

Таблица 2 – Ключевые мероприятия, направленные на снижение риска разгерметизации трубопроводных систем, вызванной ошибочными действиями работников

Причина	Мероприятие
Отклонение от предписанных технологической документацией норм, определяющих порядок производственных операций	Создание технологической документации для осуществления производственных задач. Приведение технологического процесса в соответствие с утвержденными нормативными стандартами. Реализация автоматизированной системы мониторинга и защиты на производственных площадках и оборудовании, активизирующейся при отклонениях от заданных параметров технологических процессов. Гарантирование контроля за соблюдением норм безопасности при осуществлении технологических операций. Проведение первичных и регулярных инструктажей, а также проверка знаний по охране труда. Организация целевых инструктажей перед выполнением работ с повышенной опасностью и оформление необходимой нормативной документации. Усиление уровня ответственности за нарушение правил безопасности при реализации технологических процессов
Нарушение установленного порядка функционирования производственных агрегатов и технических средств	Обеспечение соблюдения технологического режима на всех этапах использования. Полная автоматизация процессов производства. Оборудование производственных установок системами автоматического контроля и защиты, которые активируются при отклонениях от установленных параметров технологических процессов (в соответствии с требованиями безопасности)

Продолжение таблицы 2

Причина	Мероприятие
---------	-------------

Недостаточный уровень контроля или его полное отсутствие в отношении параметров технологического процесса	Осуществление технологического процесса в соответствии с установленными нормами регламента. Внедрение максимальной автоматизации в производственные циклы и установка автоматизированных комплексов для мониторинга и обеспечения безопасности оборудования. Гарантирование должного уровня контроля над ключевыми показателями технологического процесса. Организация обучения персонала, проведение инструктажей, аттестация знаний и развитие профессиональных навыков. Организация соответствующего производственного мониторинга (трехступенчатого). Увеличение ответственности за несоблюдение норм безопасности при выполнении технологического процесса
---	---

Среди решений, направленных на уменьшение тяжести последствий аварий, выделяют:

- установление безопасных расстояний до мест скопления персонала;
- сокращение времени пребывания персонала в опасной зоне;
- ограничение площадей возможных аварийных разливов за счет возведения инженерных сооружений (системы аварийных лотков, дренажных емкостей);
- планировочные решения, исключаящие эскалацию аварий;
- повышение взрывозащищенности зданий и сооружений на территории
- ОПО;
- установку датчиков загазованности;
- информирование персонала об опасностях аварий [4].

Снижение вероятности эскалации инцидента до критического уровня (возникновения опасных последствий) обеспечивается за счет заблаговременной разработки требуемой документации (планов по устранению и сдерживанию аварий, инструкций и руководств), организации обучения персонала в сфере гражданской обороны, предупреждения и ликвидации ЧС, а также по основам пожарной безопасности (включая все виды инструктажей, тренировки по отработке действий в аварийных ситуациях, учебные эвакуации), освоение необходимого минимума по

пожарной безопасности). Также важно создание национальной службы безопасности на предприятии или заключение соглашений с соответствующими службами в случае её отсутствия [5].

Обеспечение безопасности на опасных производственных объектах, связанных с разгерметизацией оборудования, требует комплексного подхода, включающего как технические, так и организационные меры.

Использование современных технологий для мониторинга и контроля состояния оборудования, обучение персонала, регулярные проверки и техническое обслуживание — все эти меры позволяют существенно снизить риски и обеспечить безопасность на всех этапах эксплуатации объекта.

Вывод по разделу 1

Методы реализации обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования, требуют комплексного подхода, включающего как технические решения, так и организационные меры.

Основной целью данных методов является минимизация риска возникновения аварийных ситуаций и снижение их последствий для людей, оборудования и окружающей среды.

Во-первых, важно внедрение современных систем мониторинга и диагностики, которые обеспечивают своевременное обнаружение признаков потенциальной разгерметизации. Эти системы оснащены датчиками давления, температуры и химического анализа, которые позволяют в режиме реального времени контролировать состояние оборудования и мгновенно реагировать на отклонения от нормы.

Во-вторых, необходима регулярная проверка и техническое обслуживание всего оборудования на объекте. Это включает в себя испытания на прочность, герметичность и стойкость к коррозии. Планово-предупредительное обслуживание способствует обнаружению дефектов,

которые могут привести к разгерметизации, и их своевременному устранению. Особое внимание следует уделить обучению персонала. Сотрудники должны обладать полным набором навыков для быстрого и эффективного реагирования в случае аварии. Регулярные тренировки, включающие сценарии возможных разгерметизаций, помогают отработать действия сотрудников и повысить уверенность и скорость принятия решений в экстремальных условиях.

Также важным аспектом является разработка и внедрение аварийных планов действий, которые включают в себя эвакуационные маршруты, план взаимодействия с экстренными службами и меры по минимизации ущерба. Тщательно проработанные процедуры позволяют значительно снизить время реакции и повысить общую безопасность на объекте. Интеграция инновационных технологий в процесс обеспечения безопасности опасного производственного объекта, в сочетании с постоянным обучением персонала и регулярными техническими проверками, позволяет существенно повысить надежность оборудования и снижает вероятность аварийных ситуаций, связанных с разгерметизацией.

Таким образом, обеспечение безопасности на опасных производственных объектах требует синергии множества различных методов и подходов. Это включает в себя и грамотную эксплуатацию оборудования, и высокий уровень подготовки сотрудников, и применение современных технологий для контроля и диагностики. Лишь при соблюдении всех этих условий можно обеспечить безопасность на уровне, достаточном для предотвращения крупных аварий и минимизации возможных последствий в случае их возникновения. Системный подход, включающий в себя комплексную диагностику рисков, технические и организационные меры, а также непрерывное улучшение процессов безопасности, является основой эффективной работы на опасных производственных объектах.

2 Разработка методов повышения безопасности опасного производственного объекта

2.1 Анализ существующих методов предупреждения разгерметизации оборудования (анализ существующих технических решений)

Применение технического оборудования требует обеспечения безопасности на этапах монтажа, работы и сервисного обслуживания, а также предусматривает защиту от возгораний и взрывов.

В ходе эксплуатации, оборудование не должно оказывать негативного влияния на экологию, превышая допустимые санитарные показатели по объему вредных выбросов. Кроме того, необходимо исключить риски, связанные с воздействием влаги, солнечного излучения, вибраций, а также колебаний давления и температур [13, с. 43].

Опасность, исходящая от технических систем, работающих с легковоспламеняющимися и взрывоопасными материалами, состоит в возможности нарушения герметичности аппаратуры и магистралей. Это может привести к утечкам горючих жидкостей и выбросу опасных паров, что является одной из основных причин аварий при использовании таких установок [1].

«Потеря герметичности может возникнуть из-за сбоев в производственном цикле, вызванных, например, выходом из строя контролирующих и предохранительных систем. Кроме того, причинами могут стать ошибки персонала, коррозионные процессы, износ деталей или повреждения техники и трубопроводов» [1].

Чтобы минимизировать риск аварийной разгерметизации, необходимо:

- «строго соблюдать технологические нормы;

- необходимо систематически инспектировать работоспособность автоматизированных систем, систем оповещения и аварийной защиты;
- важно следить за исправностью всех устройств, трубопроводов, теплоизоляции и плотностью соединений;
- на каждом аппарате, функционирующем под давлением, должна быть установлена табличка с указанием его учетного номера, допустимого рабочего давления и даты последней инспекции;
- технологическое оборудование должно быть оборудовано предохранительными клапанами и измерительными приборами давления;
- в техническом паспорте клапанов должна быть зафиксирована вся необходимая информация об их параметрах и проведенных проверках;
- манометры должны иметь оттиск с датой поверки и быть защищены пломбой. Проверка должна осуществляться как минимум раз в год, и приборы с истекшим сроком годности к использованию не допускаются» [2, с. 75].

Основные риски, связанные с используемым оборудованием на установке, включают:

- «высокие температуры в аппаратах, трубах и арматуре, а также использование водяного пара и горячего конденсата, что может привести к термическим ожогам у обслуживающего персонала;
- наличие движущихся и вращающихся элементов в насосах, системах воздушного охлаждения и других механизмах, что создает возможность травмирования в зонах их доступа;
- большое количество электрооборудования (электродвигатели насосов, вентиляторы систем охлаждения), что повышает риск поражения электрическим током в случае неисправности

заземления токоведущих частей или дефекта электроизоляции» [29, с. 73].

С целью исключения внезапной потери герметичности и повышения стабильности и безопасности функционирования оборудования предусмотрен комплекс следующих мероприятий:

- монтаж клапанов безопасности;
- введение системы контроля рабочих характеристик процесса с передачей данных на станцию управления оператора;
- реализация системы противоаварийной защиты (ПАЗ), обеспечивающей автоматическую защиту оборудования по предельным значениям, сигнализацию и регистрацию параметров [36].

Остальные меры включают строгую эксплуатацию оборудования и выполнение своевременного технического обслуживания, обеспечение безопасных условий ремонта, а также контроль за техническим состоянием и соблюдение нормативов [37].

«Обеспечение безопасности производственных процессов реализуется через ряд мероприятий:

- аппаратура, трубопроводные сети и соединения выполнены в соответствии с нормативными требованиями, учитывающими особенности технологического процесса и характеристики перерабатываемых материалов;
- для минимизации термических деформаций трубопроводных систем их установка производится с учетом необходимого количества изгибов и установкой П-образных компенсаторов на протяженных участках» [29, с. 58].

Для защиты трубопроводных систем от разгерметизации в условиях вибрации рекомендуется применять жесткие опорные конструкции с крепежными элементами и усиленным основанием. Важно также организовать непрерывное наблюдение и периодические проверки

технического состояния оборудования, запорной арматуры и фланцевых соединений, а также регулярно проводить оценку степени коррозионного повреждения [29, с. 55].

В процессе работы установки каталитического риформинга крайне важно неукоснительно придерживаться планов проверок, ремонтных работ и технической диагностики аппаратуры и трубопроводных систем, опираясь на актуальные нормативные требования [50].

Обеспечение безопасности технологических объектов достигается благодаря грамотным инженерным решениям, внедряемым как на стадии разработки проекта, так и в период их практического применения [30, с. 57].

Эти меры должны предотвратить разгерметизацию оборудования и трубопроводов, а также локализовать потенциальные аварии и обеспечить защиту от взрывов. Для защиты трубопроводов и проходящей по ним нефти от утечек следует выполнять следующие мероприятия: мониторинг давления на выходе из скважин, ежедневные осмотры трасс на наличие нарушений, регулярное обслуживание и текущий ремонт, проверка состояния изоляции и её замена, соблюдение технологического регламента и повышение квалификации сотрудников.

С целью предотвращения разгерметизации объектов для хранения и транспортировки нефти, а также минимизации риска аварийных выбросов, реализованы следующие инженерные и организационные меры:

- резервуары оборудованы дыхательными и предохранительными клапанами, а также огневыми барьерами и хлопушками;
- осуществляется постоянный мониторинг уровня жидкости в хранилищах;
- контролируется герметичность соединений трубопроводов и арматуры;
- проводится регулярная проверка состояния технологического оборудования и трубопроводов, а также контроля и измерительных приборов;

- персонал выполняет обходы технологических объектов с интервалом в 2 часа;
- процессами управляют с использованием запорной арматуры с автоматизированным приводом;
- для производства и трубопроводов используются коррозионностойкие материалы;
- оборудование расположено так, чтобы обеспечить безопасный доступ;
- организуются плановые технические осмотры и ремонтные работы;
- строго следуют нормам технологического процесса, установленным регламентом;
- соблюдаются инструкции по безопасной эксплуатации.

Для предотвращения аварийных ситуаций установлены следующие меры:

- резервуар защищен обвалованием;
- между блоками установлены задвижки;
- установлены звуковая сигнализация и блокировка при отклонениях параметров;
- проводятся ежедневные осмотры трасс нефтепроводов.

Для обеспечения взрывобезопасности на объектах подконтрольных ООО «Промсервис» внедрены технологии и мероприятия:

- площадки оборудованы системами сигнализации и автоматического тушения;
- насосы для легковоспламеняющихся жидкостей оснащаются обратными клапанами, сигнализацией и блокировками;
- арматура установлена вблизи трубопроводов;
- электрооборудование в опасных зонах выполнено с защитой от взрыва;
- созданы добровольные пожарные дружины;

- оборудование заземлено для предотвращения статического электричества;
- площадки защищены от молний;
- обеспечены проезды для техники пожаротушения [42];
- ведется постоянный контроль за состоянием противопожарного оборудования.

Для обеспечения безопасности производственных объектов реализуются следующие организационно-технические меры:

- доступ на территорию нефтяного месторождения осуществляется через контрольно-пропускной пункт.
- обеспечивается круглосуточная охрана объектов и контроль за входом посторонних лиц.
- установлены ограждения вокруг защищаемых площадок и прописаны правила доступа для сторонников.
- регулярно проверяется состояние защитных ограждений; осуществляется круглосуточное патрулирование производственных зон; проводятся проверки технических подполий подземных систем, чердачных пространств, складов и других производственных помещений с целью выявления подозрительных предметов, включая взрывчатые и легко воспламеняющиеся вещества.
- периодически проводятся информативные занятия для сотрудников для повышения их бдительности и активизации контроля, а также инженерно-технического состава на сотрудничество с правоохранительными органами в рамках антитеррористических мероприятий.

Оборудование, функционирующее под избыточным давлением, в обязательном порядке комплектуется:

- запорными и регулируемыми элементами трубопроводной арматуры;

- системами защиты от превышения давления;
- приборами контроля, регистрирующими показатели давления и температуры.

Функцию предотвращения критического повышения давления в резервуаре выполняют предохранительные устройства, которые, активируясь, стравливают избыток давления из системы или емкости.

Установка предохранительных устройств обязательна для всех систем и резервуаров, работающих под давлением, за исключением небольших объектов, таких как газовые баллоны. Поскольку надежность предохранительного устройства напрямую влияет на безопасность работы, часто предусматривается резервное устройство.

Конструктивное исполнение предохранительных устройств может варьироваться, но наиболее распространены следующие типы:

- устройства с разрушаемыми мембранами (предохранительные мембраны);
- клапаны сброса давления;
- клапаны предохранительные (пружинного или рычажного типа) [9].

Предохранительные мембраны отличаются простотой конструкции, что обеспечивает их высокую надежность. Существуют различные типы мембран: разрывные, изгибающиеся, срезаемые, захлопывающиеся и т. д. Наиболее простая конструкция у разрывных мембран, изготовленных из тонкого листового металла. Под воздействием рабочего давления мембрана подвергается пластической деформации и приобретает форму сферического сегмента [8].

При превышении допустимого уровня давления мембрана разрушается, обеспечивая сброс избыточного давления и предотвращая разрушение резервуара. Однако недостатком является то, что после срабатывания мембраны система остается открытой, что требует остановки технологического процесса для ее замены [12].

Клапаны сброса давления лишены этого недостатка, поскольку после сброса давления запорный элемент возвращается в исходное положение под действием пружины. Однако они не обеспечивают высокой герметичности и используются при относительно невысоких рабочих давлениях, как правило, близких к атмосферному.

Пружинные клапаны обеспечивают высокую герметичность и применимы при высоких давлениях. Тем не менее, они менее надежны, подвержены воздействию агрессивных сред, могут засоряться отложениями и обладают большей инерционностью. Это требует регулярного обслуживания и контроля их состояния [11].

«Ростехнадзор контролирует соблюдение норм безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под высоким давлением.

Обязательным является наличие контрольно-измерительных приборов. Любой сосуд, а также изолированные секции с отличающимся давлением, должны быть оснащены манометрами, предназначенными для измерения давления. Класс точности манометров должен быть не ниже 2.5 при рабочем давлении до 2.5 МПа и 1.5 при давлении, превышающем 2.5 МПа» [43].

2.2 Совершенствование методов обеспечения безопасности, связанного с разгерметизацией оборудования

«Для предотвращения указанных выше причин разлива нефти на МНП, предусмотрены следующие технические решения с установкой соответствующего оборудования, приборов контроля и автоматизации управления технологическими процессами и сигнализации его происхождения обслуживающему персоналу:

- антикоррозионное покрытие наружных поверхностей трубопроводов, позволяющее снизить вероятность его разгерметизации за счет коррозионного разрушения;

- техническое обследование, диагностика и испытание в соответствии с требованиями «Правил технической эксплуатации МНП и инструкции по их ремонту»;
- техническое обслуживание, ремонт и восстановление МНП;
- соединение трубопровода и запорно-регулирующей арматуры выполняется сваркой или фланцами. Прокладки фланцевых соединений изготавливаются из негорючих материалов, не разрушающимся при сборке (монтаже) и обеспечивающих герметичность соединений» [44].

«Для выявления деформаций и изменений геометрии, вызванных механическими повреждениями, что и стало причиной аварийной ситуации, описанной ниже, оптимальным решением является применение внутритрубного профилемера ПРН для диагностики магистрального трубопровода» [48].

Предварительная подготовка линейного отрезка нефтепровода является важнейшим условием для гарантии качественной диагностики.

Любой участок магистрального нефтепровода, подлежащий диагностике, должен быть оснащен узлами для запуска и приема устройств очистки и диагностирования [46].

Узел запуска и приема предназначен для ввода внутритрубного инспекционного прибора (ВИП) в трубопровод и обеспечения его перемещения, а также для извлечения ВИП после завершения инспекции конкретного участка.

Конструкция узла запуска и приема включает в себя корпус, запорный механизм для открытия и герметизации камеры, вспомогательную арматуру и трубопроводы, а также другие элементы, такие как манометры, воздушные клапаны и сигнализаторы прохождения ВИП.

«Корпус камеры состоит из расширенной части с затвором и трубы стандартного диаметра, соединенных коническим переходом, и

присоединенных к основному нефтепроводу посредством выходного запорного клапана.

Операции ввода и извлечения ВИП проводятся без остановки процесса перекачки нефти» [48].

«Так же в местах установки камер пуска и приема СОД на линейных участках МНП должна быть оборудована площадка с обязательным обвалованием.

Внутритрубный профилемер ПРН, внешний вид которого приведен на рисунке 1, является средством диагностики, состоит из двух секций - стальных герметичных корпусов, связанных между собой карданным соединением.

В передней и задней частях первой секции установлены манжеты, предназначенные для центрирования и приведения в движение прибора в трубопроводе.

Коническая манжета, установленная на передней секции, предотвращает застревание прибора в трубах, имеющих тройное разветвление – «тройниках», не оборудованных предохранительными решетками.

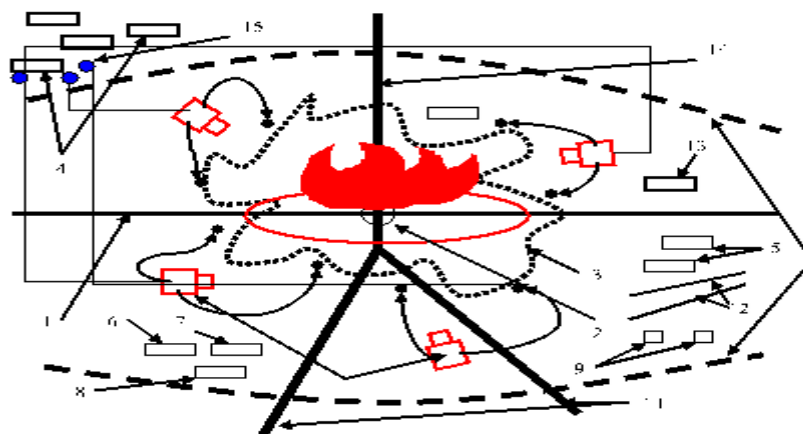
В носовой части первой секции установлен бампер, под которым находится антенна приемопередатчика в защитном кожухе, а на задней части, на подпружиненных рычагах, размещены одометрические колеса, предназначенные для измерения пройденного расстояния» [12].

Во втором отсеке размещены уплотнительные манжеты и измерительный комплекс, включающий в себя систему рычагов с роликами («спайдер»), предназначенную для определения площади проходного сечения и иных геометрических параметров трубопровода.

Ролики «спайдера» прижимаются к внутренней стенке трубы и, когда профилемер движется, перекатываются через неровности, сдвигая конец рычага, на котором они закреплены.

Это перемещение посредством тяг передается на поворотный диск, к центральной части которого через шарнирные соединения и тягу прикреплен ползунок потенциометра. Смещение ползунка потенциометра приводит к изменению сигнала, который затем преобразуется в цифровые данные и сохраняется в памяти устройства.

На чертеже 1 представлена схема внутритрубного профилометра модели ПРН 16 [13].



1, 5 - передний и задний бамперы, 2 - коническая манжета; 3 - одометры; 4 - блок потенциометров; 6 - спайдер; 7 - карданный узел с измерителем поворота; 8 - манжеты; 9 - маркерный приемопередатчик.

Рисунок 1 - Внутритрубный профилемер ПРН 16

«Устройство для замера угла поворота установлено на карданном валу. Оно включает в себя стационарный элемент в форме «грибка», расположенный на передней части вала, и подпружиненный, перемещающийся щуп на задней части, контактирующий с «грибком» и соединенный с потенциометром» [11, с. 34].

При вращении частей конструкции, «грибок» со своей формой двигает измерительный элемент в соответствии с углом, а потенциометр переводит это движение в электросигнал.

В итоге, устройство памяти одновременно записывает и сохраняет сведения о спайдере, значении угла, сигналах одометра и маркерных датчиков.

«Неровности и уникальные характеристики трубы, их размеры и координаты определяются по результатам профилометрии после прохождения прибора через трубопровод» [10, с. 34].

«Минимальное проходное сечение трубопровода, необходимое для пропуска профиломера, составляет 70 % внутреннего диаметра трубопровода. Чувствительность измерительной системы прибора составляет 2 мм. Точность измерения высоты вмятин на прямых участках трубопровода составляет 0,4-0,6% относительно внешнего диаметра трубы.

Таким образом, при оборудовании линейной части магистрального нефтепровода камерами пуска и приема средств очистки и диагностирования и использовании для выявления дефектов геометрии трубопровода внутритрубного профиломера, можно заблаговременно выявить дефектные участки и устранить их, тем самым предупредить возможные чрезвычайные ситуации, а значит и повысить промышленную и экологическую безопасность» [11, с. 37].

Выводы по разделу 2

Рост количества производственных аварий и инцидентов, сопряженных с разрушительными последствиями, обуславливает необходимую концентрацию усилий на снижении рисков и улучшении мер безопасности на подобных объектах. В первую очередь, обеспечение безопасности должно начинаться с тщательной предварительной оценки рисков. Это предполагает комплексный анализ возможных угроз с учетом специфики производства, характеристик используемых материалов и оборудования, а также географического расположения объекта. На основе полученных данных

разрабатываются параметры безопасности, следование которым позволяет минимизировать возможность возникновения аварийных ситуаций.

Следующим шагом является внедрение инновационных технологических решений. В современном мире, где технологии развиваются стремительными темпами, предприятиям необходимо использовать передовые методы контроля и мониторинга. Автоматизированные системы управления, оснащенные интеллектуальными алгоритмами, позволяют не только своевременно выявлять потенциальные опасности, но и предотвратительно реагировать на них, что значительно снижает вероятность возникновения аварий. Особое внимание стоит уделить обучению персонала, работающего на опасных производственных объектах. Специалисты должны не только хорошо разбираться в технических аспектах работы, но и чётко понимать алгоритмы поведения в нестандартных или чрезвычайных ситуациях. Регулярные тренировки и симуляции действий в условиях возможной аварии способствуют формированию необходимых навыков и обеспечивают оперативность и правильность реагирования.

Также важной частью системы обеспечения безопасности является развитие культуры охраны труда на предприятии. Сознательный подход к вопросам безопасности каждого сотрудника может стать решающим фактором в обеспечении безопасной работы. Руководству стоит регулярно проводить разъяснительные мероприятия и поощрять инициативы, направленные на улучшение рабочих условий и повышение безопасности [21]. Наконец, постоянный пересмотр и обновление существующих методик и стратегий безопасности в соответствии с новыми стандартами и экспертными рекомендациями должны стать неотъемлемой частью процесса управления. Это позволит не только адаптироваться к изменяющимся условиям, но и всегда быть на шаг впереди возможных угроз, обеспечивая надежную защиту как для сотрудников, так и для окружающей среды.

3 Опытнo-экспериментальная апробация предложенных решений на опасном производственном объекте

3.1 Внедрение методов повышения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования

Для осуществления точной и достоверной оценки состояния магистрального нефтегазопровода с использованием внутритрубного прибора–дефектоскопа необходимо учитывать радиусы изгиба труб и их проходное сечение. Именно для этой цели используются профилемеры [46].

Профилемеры позволяют выявлять такие основные дефекты, как:

- волнистость,
- вмятины,
- геометрические отклонения,
- криволинейные изгибы,
- определять наличие дефектов в поперечных сварных швах.

После прохождения профилемера через магистральный нефтегазопровод мы можем обнаружить дефекты, изучить их характеристики, определить их расположение и геометрические параметры.

Эти аспекты определяются на основе полученных данных профилометрии.

На рисунке 2 представлен внешний вид многоканального внутритрубного профилемера ПРН 16.



Рисунок 2 – Внешний вид многоканального внутритрубного профилемера ПРН 16

Обнаружение снаряда-профилемера в трубопроводе осуществляется посредством специального локатора. Перемещение и извлечение снаряда происходят только за корпус с использованием мягких поясов и траверсов.

Во время движения по исследуемому участку нефтегазопровода снаряд-профилемер измеряет углы поворота в коленах (криволинейных участках) и радиусы их кривизны.

Магнитно-ультразвуковой дефектоскоп совмещенного типа может осуществить комплексный анализ участка трубопровода для нефтепродуктов за один проход, определяя разнообразные виды неисправностей в линейной части.

Ключевые дефекты, которые можно выявить с помощью данного устройства:

- утраты металла вследствие заусенцев;
- утраты металла в области кольцевых соединений, а также повреждения от коррозии (как внутренней, так и внешней), и дефекты под защитными оболочками, вмятины;
- потери металла из-за заводских дефектов;
- утраты металла под ремонтными муфтами;
- поперечные трещины, возникающие на фоне вмятин;
- заводские металлургические непрочности;

- отклонения в толщине стенки, как в меньшую, так и в большую сторону.

Внутритрубная диагностика представляет собой комплекс технических процедур, реализуемых путем перемещения по трубопроводной системе специализированных аппаратов, называемых внутритрубными инспекционными приборами.

Этот способ обеспечивает более детальный анализ трубопроводов по всей их протяженности, как в процессе функционирования, так и при контроле после установки.

Он позволяет обнаруживать разнообразные дефекты и строительные погрешности в материале труб, которые способны привести к аварийным ситуациям и происшествиям [14, с. 217].

«Внутритрубная инспекция представляет собой многоуровневую интегрированную систему диагностики, состоящую из четырех уровней, которые помогают определить местоположение и характеристики определённых дефектов на соответствующем уровне:

- 1 уровень – нахождение аномалий в геометрии трубопровода;
- 2 уровень – выявление дефектов в виде несплошностей металла (расслоения, включения) и дефектов, связанных с потерей металла (царапины, коррозия);
- 3 уровень – обнаружение поперечно расположенных трещиноподобных дефектов в основном металле трубы и швах;
- 4 уровень – определение продольных трещиноподобных дефектов, включая аномалии в сварных швах» [48, с. 28].

Чтобы провести инспекцию трубопровода изнутри с применением внутритрубных инспекционных средств (ВИС), необходимо, чтобы обследуемый отрезок трубопровода был оснащен камерами для запуска и извлечения очистных и диагностических устройств.

Помимо этого, конструктивные элементы, в частности, краны, колена, вварные детали и тройники, не должны препятствовать перемещению

внутритрубных аппаратов.

Для определения местонахождения ВИС в трубопроводе применяются маркерные маяки, которые располагают на расстоянии 1,5 – 2 км друг от друга [15, с. 233].

«Проведение внутритрубной диагностики предполагает последовательное выполнение ряда этапов, от качества которых напрямую зависит достоверность и точность итоговых данных.

Чтобы обеспечить оптимальные условия для запуска дефектоскопа и последующего обследования, трубопровод предварительно очищается от парафиновых отложений, а его внутренняя поверхность подвергается тщательной подготовке» [49, с. 525].

На первом этапе диагностического обследования производится удаление посторонних объектов и отложений из внутренней полости трубопровода с использованием очистных скребков [41].

На рисунке 3 изображен внешний вид очистного скребка СКР-4, разработанного специалистами АО «Транснефть-Диаскан» [49, с. 523].



Рисунок 3 – Очистной скребок СКР–4 (АО «Транснефть-Диаскан»)

«В ходе очистки трубопровода скребки применяются несколько раз, в зависимости от уровня загрязнения, до тех пор, пока не достигнется нужная степень очистки внутренней поверхности проверяемой части.

Для завершающей стадии очистки трубопровода используются поршни

с магнитными элементами и щетками, которые позволяют эффективно удалять металлические частицы» [41].

Внешний вид магнитного поршня, спроектированного и изготовленного научно-производственным центром «ВТД», можно увидеть на рисунке под номером 4.

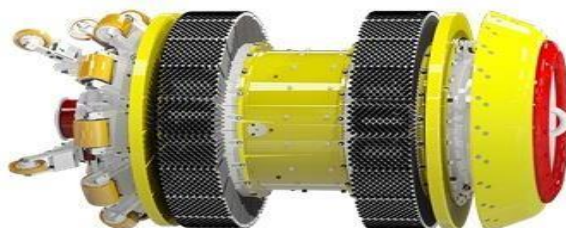


Рисунок 4 – Магнитный поршень НПЦ «ВТД»

Второй этап включает в себя измерение внутреннего диаметра трубы с помощью специального инструмента – калибровочного скребка, оборудованного точными измерительными элементами в виде тонких пластин. Это позволяет выявить самое узкое место в трубе.

Оценка состояния пластин скребка-калибра даёт представление о минимальном внутреннем диаметре трубопровода.

Этот процесс важен для определения возможности безопасного применения дефектоскопа.

Для успешного прохождения внутритрубного инспекционного прибора требуется, чтобы минимальный диаметр трубы составлял не менее 70% от номинального диаметра (D_n).

Это обеспечит его свободное продвижение [41].

На рисунке 5 показаны примеры калибровочных скребков, такие как СОК (производства НПЦ «ВТД») и СКК-4 (производства АО «Транснефть-Диаскан») [16].

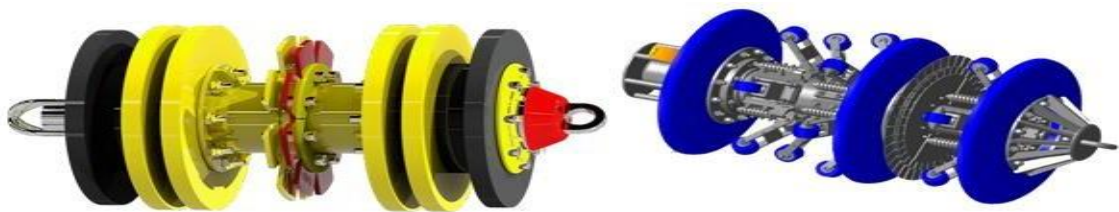


Рисунок 5 – Скребки-калибры СОК (НПЦ «ВТД») и СКК – 4
(АО «Транснефть-Диаскан»)

«На третьем этапе, после успешного прохождения скребка-калибра, производится двукратный запуск снаряда-профилемера. Это необходимо для получения детальной информации о фактическом состоянии геометрии трубопровода на всем его протяжении» [17].

«Использование профилемера позволяет обнаружить отклонения от идеальной геометрии, включая вмятины, волнистость и потерю округлости.

Также, с его помощью контролируются конструктивные компоненты, такие как сварные швы, опорные кольца, тройники, клапаны, колена и другие элементы. На рисунке 6 показан профилемер разработки НПЦ «ВТД» и производства ПРН (АО «Транснефть-Диаскан»))» [16].



Рисунок 6 – Снаряд-профилемер НПЦ «ВТД» и ПРН (АО «Транснефть-Диаскан»))

«На четвертой стадии выявляются зоны, где площадь поперечного сечения уменьшена до $0,85D_n$, а также фиксируются прочие отклонения, препятствующие продвижению профилирующего снаряда. Производится ремонт этих участков для устранения дефектов и обеспечения

беспрепятственного перемещения внутритрубного инспекционного оборудования» [49].

«Однако запуск вышеописанных внутритрубных снарядов недостаточен для полного контроля трубопровода, поскольку эти устройства способны выявлять только геометрические дефекты трубопровода, которые приводят к уменьшению проходного сечения, то есть решают лишь задачи первого уровня мониторинга» [51].

«После завершения очистки трубопровода в него запускается внутритрубный инспекционный прибор для проведения диагностики на втором, третьем и четвертом этапах.

Ультразвуковой дефектоскоп – это автономное устройство, используемое для внутренней инспекции трубопроводов и обнаружения большинства типов дефектов, возникающих в металле труб» [18].

На рисунке под номером 7 представлен внешний вид ультразвукового дефектоскопа, разработанного и произведенного компанией АО «Транснефть-Диаскан» [18].



Рисунок 7 – Ультразвуковой дефектоскоп типа (АО «Транснефть-Диаскан»)

«Определение толщины стенок трубки с применением эхо-импульсного метода ультразвукового контроля является ключевым аспектом внутри трубной дефектоскопии, используемой в дефектоскопах. Для этой цели используются иммерсионные пьезоэлектрические преобразователи комбинированного типа с радиальным вводом звуковых волн.

Количество преобразователей определяется так, чтобы обеспечить

полный контроль всей внутренней поверхности трубопровода. Например, для трубы с внешним диаметром 1220 мм применяются дефектоскопы, которые оснащены 448 датчиками» [52].

«Для определения толщины стенок трубопровода и обнаружения дефектов в материале используется измерение времени прохождения ультразвуковой волны от внешней поверхности до внутренней (или до дефектного участка) и обратно к приемнику.

Принцип работы ультразвукового дефектоскопа схематически представлен на рисунке 8» [15].

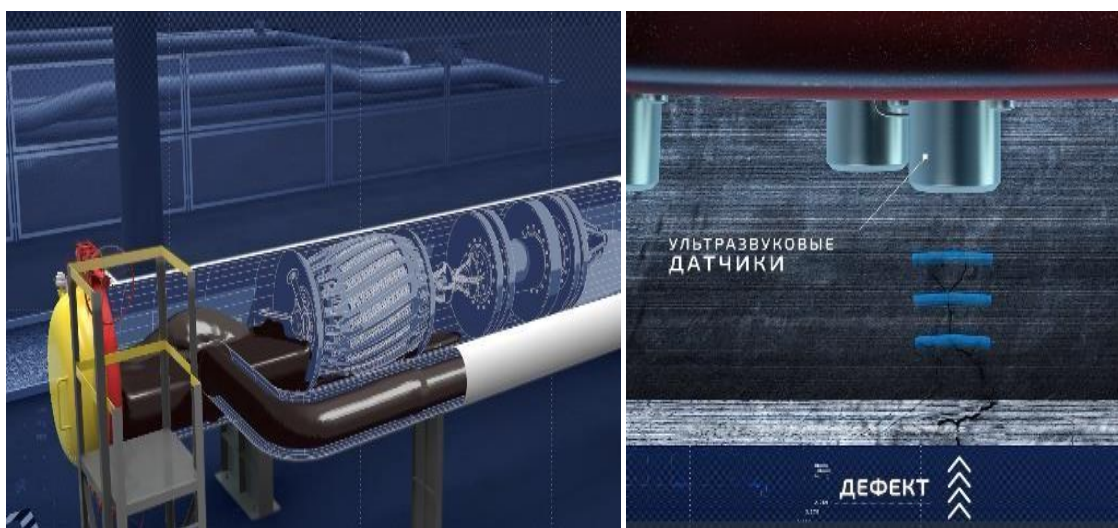


Рисунок 8 – Принцип работы ультразвукового дефектоскопа

«На третьем уровне обнаруживаются трещиновидные дефекты с поперечной ориентацией в кольцевых сварных швах и основном металле трубы, используя для этого следующие дефектоскопы: магнитный дефектоскоп с продольным намагничиванием и ультразвуковой дефектоскоп с наклонным вводом ультразвуковых импульсов в материал трубы. Магнитный дефектоскоп с продольным намагничиванием представляет собой независимую компьютерную диагностическую систему, предназначенную для инспекции трубопроводов с применением метода магнитной дефектоскопии на исследуемом участке.

На рисунке 9 изображен внешний вид дефектоскопа с продольным намагничиванием» [18].



Рисунок 9 – Магнитный дефектоскоп продольного намагничивания

«Магнитный дефектоскоп способен выявлять не только недостатки основного материала и кольцевых сварных швов, но и металлические объекты, находящиеся рядом с внешней поверхностью трубы, такие как муфты из композитных материалов и защитные кожухи. Этот прибор осуществляет диагностику трубопроводов за счет регистрации изменений в магнитном поле, вызванных наличием дефектов.

Устройство формирует постоянное магнитное поле, направление которого совпадает с осью трубы, благодаря мощным магнитам, расположенным на магнетической секции дефектоскопа. Замыкание магнитного контура «полюса магнитов – стенка трубопровода» происходит с использованием магнитных щеток (магнитопроводов). При наличии неполадок в металле или других дефектах, когда дефектоскоп движется, происходит изменение магнитной индукции вблизи недостатка, и это изменение затем фиксируется.

На четвертом уровне контроля осуществляется обнаружение продольно–ориентированных трещиноподобных дефектов как в основной части трубы, так и в продольных сварных швах. Для этих целей используются, например, ультразвуковые дефектоскопы с наклонно расположенными датчиками относительно поперечного сечения трубы, а

также магнитные дефектоскопы поперечного намагничивания.

Магнитный дефектоскоп поперечного намагничивания представляет собой независимую компьютерную диагностическую систему, предназначенную для обследования трубопроводов с применением метода магнитной дефектоскопии на исследуемом участке.

На рисунке 10 показан внешний вид магнитного дефектоскопа поперечного намагничивания (НПЦ «ВТД») и МСК (АО «Транснефть-Диаскан»)) [33].

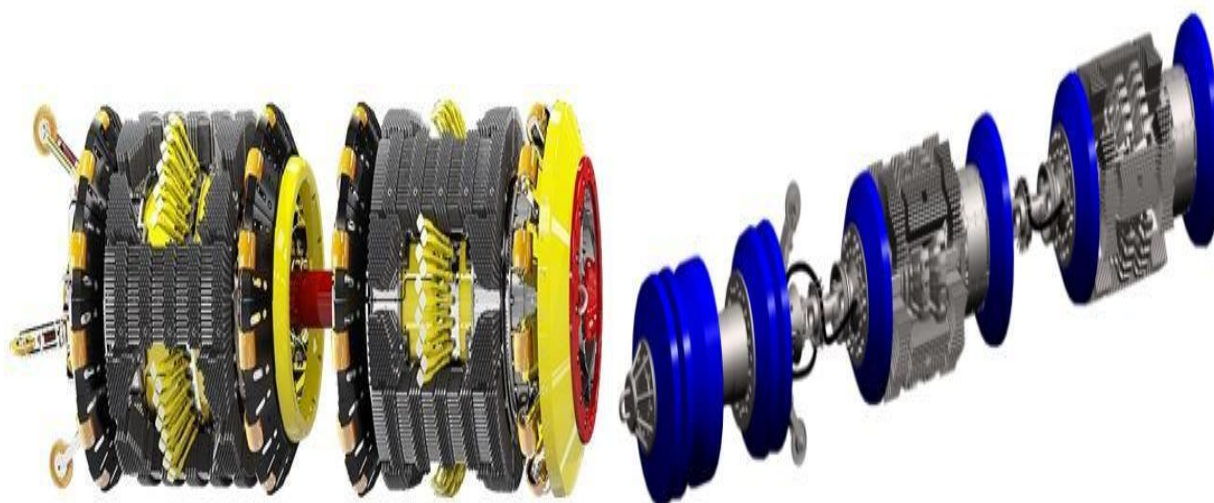


Рисунок 10 – Магнитный дефектоскоп поперечного намагничивания (НПЦ «ВТД») и МСК (АО «Транснефть-Диаскан»))

«Эффективное обнаружение дефектов, расположенных в параллельном направлении по отношению к движущейся продукции, возможно исключительно в том случае, если намагничивание трубопровода выполняется в направлении, перпендикулярном плоскости нахождения дефектов.

Для достижения данного принципа была создана магнитная система, которая обеспечивает намагничивание трубопровода в поперечном направлении относительно его продольной оси» [41].

«Магнитная система состоит из нескольких секций, собранных из постоянных магнитов и эластичных магнитопроводов. Сенсоры, определяющие значение магнитной индукции, расположены между

металлическими контактами.

На рисунке 11 показан принцип работы магнитного дефектоскопа» [41].

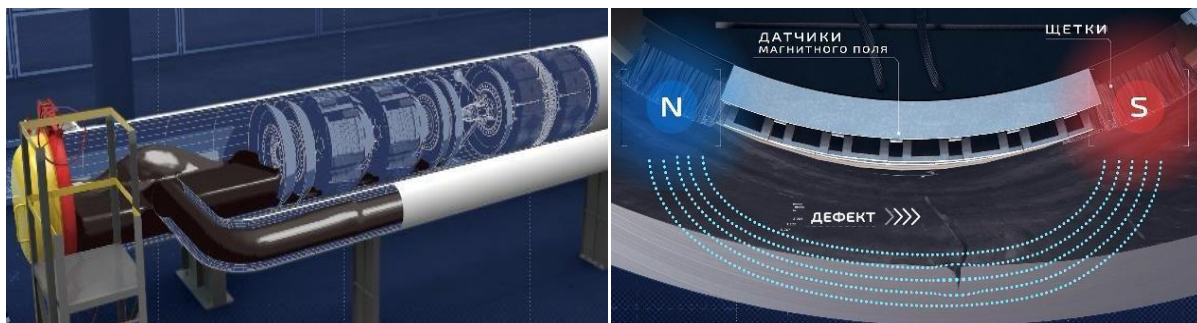


Рисунок 11 – Принцип работы магнитного дефектоскопа

На иллюстрации 12 представлен общий вид комбинированного дефектоскопа, спроектированного компанией «Транснефть-Диаскан» [43].



Рисунок 12 – Комбинированный дефектоскоп (АО «Транснефть-Диаскан»)

«Применяя продольную и поперечную намагниченность, дефектоскоп-снаряд значительно улучшает обнаружение разнообразных дефектов, в том числе нелегальных подключений и дефектов сварных швов.

Современная систематизация дефектоскопов по уровням технической диагностики является достаточно относительной, поскольку эти приборы способны выявлять множество видов дефектов разной направленности, а также применяться на любой стадии обследования.

После завершения работы внутритрубных дефектоскопов проводится анализ полученной диагностической информации, определяются секции трубопровода с максимальными повреждениями, затем осуществляется их вскрытие и, если нужно, удаление изоляции для более детального установления обнаруженных дефектов» [23].

«Исходя из влияния дефекта на безопасное использование трубопровода, проводятся ремонтные работы, например, монтаж композитных муфт или замена поврежденного отрезка.

На сегодняшний день наиболее действенной системой диагностики нефтепроводов считается четырехуровневая система, в перспективе возможно внедрение систем с пятью или шестью уровнями по мере совершенствования диагностического оборудования.

Задача этой части работы состоит в создании четырехуровневой системы диагностики для повторного технического обследования изучаемого объекта с целью уточнения остаточного срока службы стенок трубопровода «Х».

Разработка и выбор диагностического оборудования будут произведены в соответствии с предложенной схемой» [23].

На рисунке 13 представлена схема четырёхуровневой внутритрубной диагностики.



Рисунок 13 – Четырёх уровневая схема внутритрубной диагностики

«Четырёхуровневая система диагностики предоставляет возможность реализовать ключевые преимущества внутритрубной диагностики, а именно:

- замену дорогих периодических гидроиспытаний на неразрушающие методы контроля;
- проведение инспекции состояния нефтепровода без нарушения его обычной эксплуатации;
- возможность выявления и уточнения геометрических характеристик как критических, так и потенциально опасных дефектов;
- количественную оценку технического состояния трубопровода на основании анализа степени опасности обнаруженных дефектов с помощью расчетов прочности и долговечности дефектных участков;
- осуществление мониторинга трубопровода» [41].

«Предварительная очистка внутренней части трубопровода является обязательным условием перед проведением инспекции. Процедура очистки трубопровода, предшествующая внутритрубной дефектоскопии, имеет первостепенное значение и напрямую определяет точность последующей оценки состояния.

Особенно важна очистка для ультразвуковых датчиков, так как они очень восприимчивы к любым отложениям внутри трубы.

Наличие отложений может ухудшить ультразвуковой контакт, то есть стабильное акустическое соединение между датчиком и стенкой трубы.

В ходе эксплуатации трубопровода на его внутренних стенках неизбежно скапливаются различные отложения, возникающие из-за транспортируемого вещества» [42].

«В трубопроводах различного назначения формируются разнообразные отложения, снижающие эффективность их эксплуатации. В

нефтяных магистральных парафиновые осадки, в газовых – густые вязкие массы, в то время как водоводы страдают от шлама, соединений железа и марганца, а также суспензий, окалина и конденсата.

Для обеспечения качественной диагностики необходимо подготовить внутреннюю поверхность трубы, удалив непрочные держащиеся и рыхлые слои отложений, а также уменьшив ее шероховатость. Промышленные методы подготовки поверхности можно классифицировать на химические, физические, механические и комбинированные.

Сравнительный анализ различных способов подготовки внутренней полости трубопровода к внутритрубной инспекции представлен в таблице 3» [23].

Таблица 3 – Сравнительная характеристика подготовке полости трубопровода для проведения внутритрубногo контроля

Методы очистки	Характеристики методов очистки	
	положительные	отрицательные
Физический	Хорошо подходят для удаления металлических отложений из узких участков трубопроводов	Трудоемкие и дорогостоящие
Химический	Практически не влияют на модификацию геометрических параметров обрабатываемой поверхности	В некоторых ситуациях энергоемкие и сложные операции могут представлять серьезную опасность, создавая шум и загрязняя атмосферу на рабочем месте
Механический	Позволяют определять степень неровности поверхности в пределах от 0,05 до 100 микрометров. Устраняют и выявляют зоны скопления напряжений на металлической поверхности, например, царапины, задиры и вмятины, что повышает устойчивость металла и предохраняет его от коррозии и образования трещин	Регулярные заеды скребков, вызванные медленным увеличением массы, которую они выталкивают

«Ввиду того, что дальнейшие этапы обследования подразумевают применение ультразвуковых и магнитных методов, данные подходы крайне восприимчивы к наличию внутренних отложений на трубах. На данном этапе наиболее рациональным представляется использование механического метода очистки» [24].

«Он результативно устраняет парафиновые отложения с внутренней поверхности трубопровода, а также удаляет металлическую стружку и неровности, подготавливая поверхность к последующему использованию дефектоскопических устройств.

Для очистки внутренних стенок нефтепровода был выбран очистной скребок «СКР4» производства компании «Транснефть-Диаскан».

Скребок «СКР4» отвечает требованиям ГОСТ 34181–2017 и соответствует типу перекачиваемой жидкости, а именно нефти, при наружном диаметре трубопровода $D_n = 1220$ мм и рабочем давлении $P = 14$ МПа исследуемого объекта.

Основные технические характеристики очистного скребка «СКР4»

приведены в таблице 4» [23].

Таблица 4 – Основные технические данные очистного скребка «СКР4»

Параметры	Значения
Наружные диаметры трубопроводов D_n , мм	152,4 – 1220
Минимальное проходное сечение трубопровода, мм	$0,85D_n$
Диапазон максимальных давлений среды при эксплуатации, МПа	8 – 14
Рабочий диапазон скорости, м/с	0,2–6
Температурный диапазон, °С	–15 – (+) 50

«Данный скребок предназначен для устранения парафиновых, затвердевших и смолистых осадков, а также нежелательных ферромагнитных включений с внутренней стенки трубопровода, гарантируя равномерную эффективность очистки по всей протяженности обрабатываемой зоны.

Внешний вид очистного скребка модели «СКР4» представлен на рисунке 14» [23].



Рисунок 14 – Очистной скребок «СКР4»

«Профилемеры начального уровня используются для установления значений внутреннего диаметра и радиуса кривизны труб. Это необходимо для определения пригодности нефтепровода к инспекции более сложными диагностическими приборами» [30].

«Профилемер оборудован механическими датчиками на основе рычагов, которые, перемещаясь внутрь трубопровода, сканируют его и точно фиксируют отклонения сечения от круговой формы, а также разные сужения.

Изменения, зафиксированные рычагами, преобразуются в электрические сигналы и хранятся в памяти прибора для дальнейшего анализа. Для отслеживания пройденного расстояния и местоположения профилемер имеет систему одометра» [29].

«Для проведения измерений профиля был использован прибор ПРН, разработанный АО «Транснефть-Диаскан». Данный профилемер отвечает требованиям ГОСТ 34181–2017 и предназначен для работы с нефтью, транспортируемой по трубопроводу с внешним диаметром $D_n = 1220$ мм и рабочим давлением $P = 14$ МПа, что соответствует условиям исследуемого объекта» [30].

«Профилемер ПРН позволяет выявлять такие дефекты, как вмятины, отклонения от круглой формы, складки, а также определять радиусы кривизны и поворотов трубопроводной системы, что полностью покрывает перечень дефектов, подлежащих обнаружению на начальном этапе обследования.

Основные технические характеристики профилемера «ПРН» представлены в таблице 5» [29].

Таблица 5 – Основные технические данные профилемера «ПРН»

Параметры	Значения
Наружные диаметры трубопроводов D_n , мм	152,4 – 1220
Минимальный радиус отвода, мм	$1,5D_n$
Максимальное давление при эксплуатации, МПа	14
Рабочий диапазон скорости, м/с	до 6
Температурный диапазон, °С	–15 – (+) 60
Среда эксплуатации	жидкость, газ
Максимальная длина обследуемого участка, км	350

«Ультразвуковой дефектоскоп, уровень 2. Внутритрубный инспекционный комплекс УСК на основе ультразвука разработан для оценки целостности стенок труб посредством ультразвукового сканирования. Его функционирование базируется на измерении времени, необходимого для возврата отраженных сигналов от наружной и внутренней границ трубы. Ультразвуковые колебания также отражаются от разнообразных дефектов в структуре металла, что обеспечивает обнаружение как потерь материала с внешней и внутренней сторон, так и дефектов типа расслоений и шлаковых включений» [7].

«Конструкция ультразвукового дефектоскопа включает два модуля, которые соединены шарнирным механизмом. Каждый из этих модулей оснащен генератором ультразвуковых волн, приемником отраженных сигналов, микропроцессором, памятью и источниками питания. Кроме того, чтобы обеспечить движение снаряда по трубе, в передних и задних частях модулей есть уплотнительные манжеты, которые также поддерживают необходимый зазор между корпусом инструмента и стенками трубы. Ультразвуковые датчики размещены в задней части устройства и закреплены на пружинах» [5].

«Для проведения ультразвуковой толщинометрии трубопроводов, особенно в условиях перемещения дефектоскопа вместе с потоком транспортируемой жидкости, был выбран дефектоскоп серии УСК, разработанный АО «Транснефть-Диаскан». Данное оборудование, соответствующее нормам ГОСТ 34181–2017, предназначено для использования в нефтяной среде и адаптировано к трубопроводам с внешним диаметром $D_n = 1220$ мм и рабочим давлением $P = 14$ МПа. Его функциональность включает в себя обнаружение разнообразных дефектов, таких как коррозионные повреждения, расслоения материала, смещения сварных соединений и другие аномалии, что необходимо для проведения инспекций второго уровня.

Ключевые технические параметры ультразвукового дефектоскопа УСК представлены в таблице 6» [30].

Таблица 6 – Основные технические характеристики ультразвукового дефектоскопа серии УСК (WM)

Параметры	Значения
Наружные диаметры трубопроводов D_H , мм	152,4 – 1220
Минимальный радиус отвода, мм	$1,5D_H - 3 D_H$
Максимальное давление при эксплуатации, МПа	14
Рабочий диапазон скорости, м/с	до 3,2
Температурный диапазон, °С	-15 – (+) 50
Среда эксплуатации	жидкость
Диапазон толщины стенки трубы, мм	4 – 29
Максимальная длина обследуемого участка, км	350

«Внешний вид ультразвукового дефектоскопа серии УСК (разработка АО «Транснефть-Диаскан») продемонстрирован на рисунке 15». [30].



Рисунок 15 – Ультразвуковой дефектоскоп серии УСК (АО «Транснефть-Диаскан»)

«Магнитный дефектоскоп – версия 3.

В нефтегазовой отрасли широко применяется магнитная диагностика труб, основанная на сравнении характеристик магнитного поля в средах с отличающимися магнитными параметрами.

Внутритрубный прибор включает в себя постоянный магнит, формирующий продольный магнитный поток по всей окружности и сквозь толщину трубы. При движении прибора по трубопроводу электромагнитное поле перемещается по поверхности трубы. Магнитный поток остается в стенке

трубы до момента обнаружения дефекта. В зоне дефекта на внутренней или внешней стороне формируется поле рассеяния, выходящее за пределы стенки трубы.

Возмущение магнитного поля в этой области создает сигналы в одной или нескольких группах катушек, расположенных между полюсами магнита и охватывающих трубу.

Полученные электрические сигналы и их координаты относительно трубопровода записываются на пленку. Затем выполняется анализ и обработка результатов» [48].

«Следовательно, стандартная процедура магнитной диагностики состояния стенок магистральных трубопроводов обычно включает в себя следующую последовательность операций.

Во время перемещения дефектоскопа происходит процесс магнитной обработки стенок трубы.

Затем выполняется получение данных от сенсоров, регистрирующих магнитное поле.

Информация агрегируется непосредственно на самом дефектоскопе.

После этого, в стационарных условиях, проводится углубленный анализ собранных данных и решение обратной задачи, целью которой является воссоздание реальной картины дефектов в стенке трубы на основе полученных магнитограмм» [38].

«Для инспекции трубопроводов применяется магнитный дефектоскоп серии МСК, разработанный АО «Транснефть-Диаскан». Этот прибор, функционирующий на принципе обнаружения утечки магнитного потока, позволяет выявлять дефекты при продольном намагничивании материала и в зонах поперечных сварных соединений в процессе движения внутри трубы вместе с потоком транспортируемой среды» [36].

«Соответствуя требованиям ГОСТ 34181–2017, данный дефектоскоп предназначен для обнаружения дефектов в трубопроводах, транспортирующих нефть. Он пригоден для труб с внешним диаметром 1220 мм, рассчитанных на

рабочее давление 14 МПа. Аппарат позволяет идентифицировать различные дефекты, включая питтинговую коррозию, трещины в сварных швах и теле трубы, а также риски, что обеспечивает возможность обнаружения дефектов на 3 уровне.

Ключевые технические параметры магнитного дефектоскопа МСК детально представлены в таблице 7» [31].

Таблица 7 – Основные технические характеристики магнитного дефектоскопа серии МСК

Параметры	Значения
Наружные диаметры трубопроводов D_n , мм	152,4 – 1220
Минимальный радиус отвода, мм	$1,5D_n - 3 D_n$
Максимальное давление при эксплуатации, МПа	14
Рабочий диапазон скорости, м/с	до 4
Температурный диапазон, °С	-15 – (+) 60
Среда эксплуатации	жидкость, газ
Диапазон толщины стенки трубы, мм	4 – 29
Максимальная длина обследуемого участка, км	350

«В связи с участвовавшими авариями, обусловленными дефектами сварных соединений (как заводских, так и стыковых) трубопроводов, возникла потребность в создании специализированного диагностического оборудования.

Целью разработки являлось обеспечение высокой точности обнаружения трещин и дефектов, напоминающих трещины, вне зависимости от их расположения (вдоль или поперек шва) и ориентации (продольной или поперечной) в теле трубы» [43].

«Данные устройства соответствуют 4-му уровню контроля в системе диагностики.

Анализ различных методов неразрушающего контроля продемонстрировал, что наиболее эффективным способом выявления указанных дефектов является ультразвуковой метод. Он обеспечивает

необходимую точность измерений параметров дефектов, что критически важно для правильной оценки степени их опасности.

С целью выбора оптимального дефектоскопа для применения на 4-м уровне диагностического контроля проведем сопоставление возможностей различных приборов в обнаружении дефектов трубопроводной системы.

Сравнительные характеристики различных дефектоскопов в части обнаружения специфических особенностей (дефектов) трубопроводов представлены в таблице 8» [31].

Таблица 8 – «Сравнение возможностей дефектоскопов по обнаружению особенностей (дефектов) трубопровода

Наименование особенности	Ультразвуковой дефектоскоп WM	Магнитный дефектоскоп MFL
Нарушение геометрии трубы:		да
Вмятина	да	да
Гофра	да	нет
Овальность	нет	
Внутрстенные дефекты:		
Расслоение	да	нет
Расслоение с выходом на поверхность трубы, в том числе «плены», «закаты»	да	да
Наклонное расслоение	да	нет
Расслоение, примыкающее к сварным швам	да	нет
Включение	да	нет
Потери металла (внешние и внутренние):		
Питтинговая коррозия (длина и ширина коррозии меньше трех номинальных толщин стенки трубы)	да (затруднена интерпретация дефекта)	да
Общая коррозия (длина и ширина коррозии больше трех номинальных толщин стенки трубы)	да	да
Протяженные потери металла с гладким профилем	да	нет
Потери металла на вмятинах, гофрах	да (на вмятинах с плоской вершиной)	да
Риска, расположенная вдоль оси трубы	да	нет
Риска, расположенная наклонно к оси трубы	да	да
Дефекты сварных швов:		
Поперечных	нет	да
Продольных	нет	нет

В таблице 9 приведены сопоставления возможностей дефектоскопов в обнаружении особенностей, связанных с ремонтом трубопровода» [31].

Таблица 9 – Сравнение возможностей дефектоскопов по обнаружению особенностей (особенности, связанные с ремонтом трубопровода) трубопровода

Наименование особенности	Ультразвуковой дефектоскоп	Магнитный дефектоскоп
Приварная муфта	да	да
Неприварная муфта	нет	да
Заплата	да	да
Трубная арматура:		
Задвижка	да	да
Тройник (отвод)	да	да
Вантуз	да	да
Сварное присоединение	да	да
Кожух	нет	да
Приемлемость точности определения размеров дефектов для прочностных расчетов по методу точной площади	+	—

«Анализ функциональных характеристик дефектоскопов, использующих магнитные и ультразвуковые методы, указывает на превосходство ультразвукового оборудования для применения на заключительном, четвертом уровне диагностики. Ввиду того, что этот этап является определяющим, критически важно обеспечить максимально полное обнаружение всех имеющихся дефектов» [28].

«Как демонстрируют данные, представленные в таблице 9, ультразвуковой дефектоскоп выделяется своей эффективностью и результативностью.

Важно отметить ряд ключевых преимуществ, которыми обладает ультразвуковой дефектоскоп. Прежде всего, это высокая точность локализации дефектов в стенках трубопроводов, особенно коррозионных повреждений, обусловленных внутренними напряжениями. Погрешность определения местоположения таких дефектов в продольном направлении составляет не более (+/–) 20 см. Точность определения размеров дефектов, ориентированных вдоль трубы, зависит от скорости движения диагностического устройства.

В частности, при скорости перемещения в 1 м/с, прибор способен обнаруживать трещины или риски длиной от 30 мм, а при увеличении скорости до 2 м/с – дефекты длиной от 60 мм. Ультразвуковая технология позволяет регистрировать трещины глубиной до 1 мм и менее» [29].

«Кроме того, ультразвуковой дефектоскоп позволяет обнаруживать не только коррозию металла, но и дефекты сварных швов (как продольных, так и поперечных), а также механические повреждения, такие как царапины и вмятины, возникшие в процессе изготовления, транспортировки или хранения труб. Такая высокая надежность получаемой информации позволяет отказаться от обязательного проведения гидроиспытаний трубопроводов, так как заблаговременно выявляются скрытые дефекты, в особенности продольные, которые могут существенно ухудшить прочностные характеристики даже новых труб, и нежелательные явления проявились бы во время указанных испытаний.

Таким образом, в качестве оптимального решения был выбран ультразвуковой дефектоскоп, разработанный компанией АО «Транснефть-Диаскан». Данное устройство предназначено для обнаружения дефектов различной ориентации в стенках труб и сварных соединениях (продольных и поперечных) и оснащено двумя ультразвуковыми измерительными системами с высоким разрешением» [33].

«Этот дефектоскоп соответствует требованиям ГОСТ 34181–2017 и предназначен для работы с нефтью в трубопроводах с наружным диаметром 1220 мм и рабочим давлением 14 МПа, что соответствует условиям исследуемого объекта.

Более того, данный дефектоскоп эффективно решает задачи по выявлению дефектов, соответствующие 4-ому уровню диагностики.

Основные технические характеристики ультразвукового дефектоскопа представлены в таблице 10» [32].

Таблица 10 – «Основные технические характеристики ультразвукового дефектоскопа

Параметры	Значения
Наружные диаметры трубопроводов D_n , мм	508 – 1220
Минимальный радиус отвода, мм	$3D_n$
Максимальное давление при эксплуатации, МПа	14
Рабочий диапазон скорости, м/с	до 3,2
Температурный диапазон, °С	–15 – (+) 50
Среда эксплуатации	жидкость
Диапазон толщины стенки трубы, мм	8 – 29
Максимальная длина обследуемого участка, км	200

В ходе проведенного исследования было выполнено рассмотрение и выбор дефектоскопов из каталога компании «Диаскан», соответствующих каждому этапу диагностики разрабатываемой схемы – методики повторной технической диагностики для исследуемого объекта, в соответствии с ГОСТ 34181–2017 и требуемыми параметрами выявляемости дефектов на всех уровнях диагностики» [32].

«Выбор дефектоскопического оборудования проводился с учетом характеристик исследуемого объекта, а именно: вида транспортируемой жидкости, внешнего диаметра труб, рабочего давления и протяженности контролируемой зоны» [32].

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

«Для нефтегазовых трубопроводов, если не случаются аварии, период работы без антикоррозионной защиты обычно колеблется в пределах 5–8 лет. Если же применяется предохраняющий антикоррозионный слой, ожидаемый срок их службы увеличивается до 15–20 лет.

Оценка эффективности предлагаемых мероприятий отображена в таблице 11.

Таблица 11 – План финансового обеспечения мероприятия

Наименование мероприятия	Основание	Стоимость, руб.	Срок реализации	Ответственный
Внедрения технологии обнаружения преждевременной разгерметизации трубопровода в сравнении с разрывной мембраной	План мероприятий по улучшению безопасности на 2025 г.	1 100 736	3 кв. 2025 г.	Главный инженер

Смета расходов представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Смета расходов

Наименование рабочей зоны	Внедрение технологии
Стоимость оборудования, руб.	900 736
Стоимость монтажных работ, руб.	200 000
Итого, руб.	1 100 736

«Полученный экономический эффект: [2]

$$\mathcal{E}_r = Y - Z \quad (1)$$

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

Y – величина годового ущерба, потерь организации, руб.;

Z – затраты на реализацию мероприятия, руб.» [2].

$$\mathcal{E}_r = 15570000 - 1100736 = 456264 \text{ руб.}$$

«Итак, согласно предварительным расчетам, экономический эффект положителен. Таким образом, получим экономическую эффективность мероприятия:

$$\mathcal{E}_r = \frac{y}{3} \quad (2)$$

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

y – величина годового ущерба, потерь организации, руб.;

3 – затраты на реализацию мероприятия, руб.» [2].

$$\mathcal{E}_r = \frac{15570000}{1100736} = 1,41$$

«Чистый экономический эффект:

$$\text{ЧЭЭ} = \sum \mathcal{E}_t - 3_t, \quad (3)$$

где $\mathcal{E}_t$ – результаты (эффекты, предотвращенный ущерб), достигнутые на t -ом шаге расчета;

3_t – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения» [2].

$$\text{ЧЭЭ}_1 = 0 - 1100736 = -1100736,$$

$$\text{ЧЭЭ}_1 = 15570000 - 124000 = 15446000.$$

«Чистый дисконтированный доход:» [2]

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (\mathcal{E}_t - 3_t + A_t) \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (4)$$

«где $\mathcal{E}_t$ – результаты (эффекты, предотвращенный ущерб), достигнутые на t -ом шаге расчета;

3_t – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения;

A_t – амортизационные отчисления, осуществляемые на этом шаге;

T – горизонт расчета;

E – норма дисконта.» [2]

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (15570000 - 1100736 + 200000) \frac{1}{(1 + 1,12)^t} = 342553$$

«Срок окупаемости:» [2]

$$T_{\text{ок}} = T - \frac{\text{ЧДД}_T}{\text{ЧДД}_{T+1} - \text{ЧДД}_T}, \quad (5)$$

«где T – год, в котором значение чистого дисконтированного дохода последний раз отрицательное;

ЧДД_T – последнее отрицательное значение чистого дисконтированного дохода в период времени T ;

ЧДД_{T+1} – первое положительное значение чистого дисконтированного дохода» [2].

$$T_{\text{ок}} = 1 - \frac{342553}{758240 - 342553} = 0,17$$

«Расчет ЧЭЭ, ЧДД, срок окупаемости представлены в таблице 13» [2].

Таблица 13 – Интегральные показатели эффективности мероприятия

Наименование показателей	Значение показателей по годам, тыс. д. е.				
	1	2	3	4	5
Капитальные вложения	1100736	–	–	–	–
Ежегодные затраты	1100736	1100736	1100736	1100736	1100736
Эффект	1,9	1,7	1,6	1,3	1,2
ЧЭЭ	-1100736	15446000	15446000	15446000	15446000
ЧДД с нарастающим итогом	342553	758240	758240	758240	758240
Ток	0,17	0,17	–	–	–
Дисконтированный доход	-1100736	15446000	15446000	15446000	15446000
Индекс доходности	11,1				

«Индекс доходности ИД, или индекс рентабельности капвложений, рассчитывается как:» [2]

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T (\Theta_t + A_t)(1+E)^{t-1}}{\sum_{t=0}^T K_t(1+E)^{t-1}}, \quad (6)$$

Если $\text{ИД} < 1$, то программа мероприятий в пределах горизонта планирования не окупается, и соответственно, проект отвергается.

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T (15570000 + 200000)(1 + 1,12)^{t-1}}{\sum_{t=0}^T K_t(1 + 1,12)^{t-1}} = 11,1$$

Таким образом $\text{ИД} = 11,1$.

Выводы по разделу 3

«Анализ данных, полученных в ходе расчетов эффективности, убедительно демонстрирует, что применение многоканального внутритрубного профилемера представляет собой эффективный подход к обеспечению безопасности нефтегазовых объектов от разгерметизации трубопроводных систем. Использование данного устройства позволяет значительно сократить расходы на ремонтные работы и предотвратить финансовые потери, обусловленные утечками и аварийными ситуациями на трубопроводах» [47]. «Многоканальный внутритрубный профилемер обеспечивает точный мониторинг внутреннего состояния труб, своевременно выявляя слабые места и потенциальные угрозы. Его внедрение способствует продлению срока службы инфраструктуры, обеспечивая более безопасную и стабильную эксплуатацию нефтегазовых систем» [3]. Многоканальная архитектура профилемера обеспечивает высокую степень точности и детализации собираемой информации. Это, в свою очередь, позволяет быстро определять потребность в ремонтных работах или техническом

обслуживании оборудования. Инновационные технологии, заложенные в основу работы прибора, способствуют оптимизации процессов управления активами, что в конечном итоге отражается на экономической эффективности предприятия. В условиях возрастающей конкуренции и необходимости соблюдения высоких стандартов безопасности и экологичности, использование таких современных технологий становится все более актуальным и востребованным.

Кроме того, многоканальный внутритрубный профилемер способен интегрироваться с существующими системами управления и контроля, что облегчает его внедрение и эксплуатацию. Его использование открывает новые горизонты для развития нефтегазовой отрасли, предлагая надежные инструменты для минимизации производственных рисков и повышения общей эффективности работы».

В результате, компании, задействованные в этом секторе, получают возможность укреплять свои позиции на рынке, предлагая более качественные и безопасные услуги своим клиентам.

Заключение

Анализ и разработка методов предупреждения разгерметизации оборудования является одной из важнейших задач в области обеспечения безопасной эксплуатации технических систем. Разгерметизация может привести к утечке опасных веществ, снижению эффективности оборудования и значительным финансовым убыткам. Поэтому эффективные методы предотвращения разгерметизации должны основываться на комплексном подходе, включающем оценку рисков, подбор подходящих материалов, внедрение технологий мониторинга и разработку регламентов технического обслуживания.

Первый и важный этап в этом процессе — анализ рисков. Необходимо учитывать все возможные сценарии отказов и разрабатывать мероприятия по их минимизации. Использование современных программных средств для моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния конструкций позволяет выявлять потенциально уязвимые места и принимать меры по их устранению.

Следующий критический шаг — подбор материалов и проектирование. Современные инновационные материалы с улучшенными свойствами, такие как металлы с высокими значениями усталостной прочности и коррозионной стойкости, а также полимерные композиты, могут значительно снижать риск разгерметизации. На этапе проектирования важно учитывать также факторы производственного характера, такие как технологичность изготовления и сборки, чтобы минимизировать вероятность дефектов.

Технологии мониторинга состояния оборудования играют ключевую роль в предупреждении разгерметизации. Использование датчиков давления, температур и вибраций, а также приложений для анализа больших данных, позволяет отслеживать состояние системы и предсказывать возможность возникновения отказов. Особое внимание следует уделять развитию

технологий неразрушающего контроля, которые позволяют выявлять дефекты на ранних стадиях эксплуатации без необходимости остановки оборудования.

Регулярное техническое обслуживание, реализованное на основе регламентов, составленных с учетом анализа вероятности и последствий разгерметизации, также является неотъемлемой частью комплексной системы предотвращения. Повышение квалификации обслуживающего персонала, проведение регулярных тренингов и учений позволяют поддерживать высокие стандарты безопасности и оперативно реагировать на непредвиденные ситуации.

На современном этапе развития технологий стратегический подход, объединяющий передовые материалы, интеллектуальные системы контроля и регламентное обслуживание, становится неотъемлемой частью эффективной программы управления безопасностью. Результатом применения таких методов должно стать значительное снижение случаев разгерметизации оборудования, что ведет к увеличению надежности и безопасности эксплуатации сложных технических систем.

Нефтеперерабатывающие заводы подвержены аварийным ситуациям и которые могут быть спровоцированы рядом факторов:

- потеря герметичности или разрушение целостности технологических резервуаров и оборудования;
- нарушение герметичности или разрывы в трубопроводных системах.
- выбросы веществ через предохранительные клапаны;
- неконтролируемые выбросы, вызванные пожарами, неисправностями оборудования, а также злонамеренными действиями;
- выбросы, возникающие из-за превышения допустимого уровня наполнения резервуаров или повышения давления, включая ошибки персонала и некорректную работу предохранительных устройств;
- утечки, обусловленные поломками погрузочных механизмов или неисправностями соединений [44].

В 1 разделе проведён анализ методов и способов обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования. Проведённый анализ позволил рассмотреть нормативно–правовое обеспечение безопасности опасного производственного объекта.

Рассмотреть методы реализации обеспечения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования (анализ мер по обеспечению безопасности конкретного опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования).

Во 2 разделе проведён анализ существующих методов предупреждающих разгерметизацию оборудования.

По результатам проведённого анализа рассмотрены достоинства и недостатки взрывной муфты, разрывного клапана и прижимного клапана.

Рассмотренные особенности применения данных устройств позволили выявить недостаточную эффективность оборудования, из-за чего на объектах нефтегазовой отрасли происходит разгерметизация оборудования и трубопроводов.

Для решения выявленной проблемы в рамках второго раздела был выбран многоканальный внутритрубный профилемер, способный благодаря своим характеристикам и особенностям применения установить состояние оборудования и трубопроводов в процессе эксплуатации.

В 3 разделе рассмотрена процедура внедрения методов повышения безопасности опасного производственного объекта, связанного с разгерметизацией оборудования. Данный прибор предусматривает проведение диагностики трубопроводов на наличие утечки и мониторинга, способного предупредить разгерметизацию в 4 этапа.

Осуществлены анализ и оценка результативности предложенных мер, направленных на обеспечение безопасности техносферы в рамках организации.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Абросимов А. А. Управление промышленной безопасностью. М.: Машиностроение, 2020. 138 с.
2. Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации [Электронный ресурс] : URL: <https://edu.rosdistant.ru/mod/assign/view.php?id=120311> (дата обращения: 16.01.2025).
3. Белозеров В. В., Загускин С. Л., Прус Ю. В., Самойлов Л. К., Топольский Н. Г., Труфанов В. Н. Классификация объектов повышенной опасности и вероятностно-физические модели их устойчивости и безопасности. Безопасность жизнедеятельности. 2021. № 8. С. 34–40.
4. Давыдов В. Г., Кузьмин А. П. Система управления охраной труда на предприятии. М.: Машиностроение, 2019. 100 с.
5. Иванов А. В. Разработка методических основ оценки последствий химических промышленных аварий (на примере металлургического комбината): Дис. . канд. техн. наук. М.: МИСиС, 2020. 283 с.
6. Кандаков Г. П. Проблемы отечественного резервуаростроения и возможные пути их решения // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 5. С.15–17.
7. Козлитин А. М. Анализ риска аварий с формированием гидродинамической волны прорыва на мазутных резервуарах ТЭЦ // Безопасность труда в промышленности. 2021. №1. С. 26–32.
8. Колпакова Л. Н., Мельников Ю. Н. Физико-химические методы обработки промышленных стоков и газовых выбросов. Л.: Химия, 2018. 150 с.
9. Кондрашова О. Г. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтегазовое дело. 2022. №3. С.37–39.
10. Котляревский В. А. Безопасность резервуаров и трубопроводов. М.: Экономика и информатика, 2020. 552 с.

11. Кузьмин Р. Н. Моделирование аварий на промышленном объекте с истечением тяжелых газов и жидкостей // Математическое моделирование. 2020. № 10. С. 33–42.
12. Кукин П. П., Шлыков В. Н., Пономарев Н. Л., Сердюк Н. И. Анализ и оценка риска производственной деятельности: учеб. пособие. М.: Дорфа, 2021. 197 с.
13. Лебедева Л. Н. Лавинные выбросы при разрушении резервуаров с жидкостями // Инженерно-физический журнал. 2022. №5. С.726–731.
14. Мартынюк В. Ф. Научно-методические основы прогнозирования и предупреждения аварийности в промышленности. М.: Химия, 2018. 150 с.
15. Мелехина О. В., Ворошилова Ю. Б. Повышение пожаробезопасности на АЗС. В сборнике: Актуальные проблемы науки и техники–2020. Сборник статей, докладов и выступлений IX Международной научно–практической конференции молодых ученых. 2020. №9. С. 217–218.
16. Мелехина О. В., Хамула М. А., Гузенко О. С. Аварии на участках очистки и сушки газа СПХГ. В сборнике: Актуальные проблемы науки и техники-2021. Сборник статей, докладов и выступлений IX Международной научно–практической конференции молодых ученых. 2021. №5. С. 233–234.
17. Мелехина О. В., Хамула М. А., Гузенко О. С. Повышение пожаровзрывобезопасности на подземных хранилищах газа. В сборнике: Системы обеспечения техносферной безопасности. 2022. № 2. С. 163–164.
18. Мелехина О. В., Хамула М. А., Даненко А. П. Пути повышения взрывопожаробезопасности на элеваторных комплексах. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 5. С. 88–90.
19. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 21.07.1997 № 116 (ред. от 07.03.2017). URL: <http://base.garant.ru/11900785/> (дата обращения 16.01.2025).
20. О соглашениях о разделе продукции [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 30.11.1995 № 225 (последняя редакция). URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8816/ (дата обращения 16.01.2025).

21. О специальной оценке условий труда [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 28.12.2013 № 426 (ред. от 01.09.2023). URL: <http://docs.cntd.ru/document/499067392> (дата обращения 16.01.2025).

22. О существенных условиях и порядке разрешения разногласий о праве заключения договоров в отношении объектов электросетевого хозяйства, входящих в единую национальную (общероссийскую) электрическую сеть [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 15.06.2009 № 492 (ред. от 22.10.2012). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_88697/ (дата обращения 16.01.2025).

23. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 10.01.2002 № 7 (ред. от 26.12.2024) [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/12125350/> (дата обращения 16.01.2025).

24. Об утверждении глав Правил устройства электроустановок [Электронный ресурс] : Приказ Минэнерго РФ от 08.07.2002 № 204. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91542/ (дата обращения 16.01.2025).

25. Об утверждении Правил по охране труда при работе с инструментом и приспособлениями [Электронный ресурс] : Приказ Минтруда России от 27.11.2020 № 835н. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_371108/ (дата обращения 16.01.2025).

26. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс] : Приказ Минтруда России от 15.12.2020 № 903н (ред. от 29.04.2022). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372952/ (дата обращения 16.01.2025).

27. Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии [Электронный ресурс] : Приказ Минэнерго России от 12.08.2022 № 811 (последняя редакция). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_428583/ (дата обращения 16.01.2025).

28. Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики» [Электронный ресурс] : Приказ Минэнерго России от 25.10.2017 № 1013 (ред. от 19.12.2023). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_294177/ (дата обращения 16.01.2025).

29. Общие правила промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов: ПБ 03–517–02.: утв. Госгортехнадзором России 02.10.18; ввод. в действие с 03–02–01. М.: Изд-во стандартов, 2003. 12 с.

30. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочник. В 2–х кн. / А.М. Александров и др. М.: Химия, 2019. 221 с.

31. Попов А. И. Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техноосферы. Саратов: СГТУ, 2020. 134 с.

32. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов: ПБ 03–593–03.: утв. Госгортехнадзором России 09.06.2003; ввод. В действие с 03–06–21. М.: Изд-во стандартов, 2003. 28 с.

33. Прохоров В. А. Разрушения резервуаров и причиняемый ущерб в условиях Севера // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2022. № 5. С.27–35.

34. Розенштейн И. М. Аварии и надежность резервуаров. М.: Недра, 2022. 225 с.
35. Розенштейн И. М. Аварии и надежность стальных резервуаров. М.: Недра, 2021. 230 с.
36. Сапунов Н. Е., Никишова А. Г. Пожаро- и взрывобезопасность складов и баз сжиженных углеводородных газов. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2020. 178 с.
37. Сафарян М. К. Металлические резервуары и газгольдеры. М.: Недра, 2023. №4. С.30–32.
38. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Электронный ресурс] : ГОСТ 12.1.005-88 (ред. от 20.06.2000). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_136698/ (дата обращения 16.01.2025).
39. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс] : ГОСТ 12.0.003–2015. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения 16.01.2025).
40. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс] : ГОСТ 12.1.004-91 URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/3254/> (дата обращения 16.01.2025).
41. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 30.12.2009 № 384 (последняя редакция). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения 16.01.2025).
42. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 28.07.2008 № 123 (ред. от 29.07.2017). URL: <http://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-22.07.2008-N-123-FZ/> (дата обращения: 19.09.2017).

43. Ти́менский М. Н., Зу́йков Г. М. Контрольно-измерительные приборы для противопожарной и противовзрывной защиты: Справочник. М.: Стройиздат, 2020. 137 с.
44. Тимофеева С. С. Методы и технологии оценки производственных рисков: практические работы для магистрантов по направлению 280700 «Техносферная безопасность». Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2022. 177 с.
45. Трудовой кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 30.12.2001 № 197 (ред. от 26.12.2024) . URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения 16.01.2025).
46. Чи́кинева Т. И. Статистика отказов стальных резервуаров для нефтепродуктов // НТПС Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2022. №3. С 19–21.
47. Швы́рков А. Н. Волна прорыва на нефтебазе плюс эффект «домино». Техногенные катастрофы при разрушении резервуаров и защита от них. // Охрана труда и социальное страхование. 2022. № 11. С.42–45.
48. Qu Y., Zhng H., Zha R., Lia L., Zho Y. Resear on the method of predicti corrosion wid of cabl based on the spontan magnetic flux leakage. Materials. vol. 12. No. 13. 2020. P. 2154.
49. Rifa D., Abdall A., Ali K., Razal R. Gant magnetoresistan sensors: a revi on structure and non-destructiv eddy current test application. Sensors. vol. 16. No. 3. 2019. P. 298.
50. Xia R., Zhou J., Zhang H., Liao L., Zhao R., Zhang Z. Quantitat study on corrosion of ste strand based on self-magnet flux leakage. Sensors. vol. 18. No. 5. 2019. P. 1396.
51. Yan M., Gellin V. J., Hinderlit B. R., Batto D., Tallman D. E., and Bierwagen G. P. SVET method fo characterizing anticorros erformance of metal–rich coatings. Corros. Sci. 52. 2010. P. 2636–2642.

52. You C. W., Lu C., Wang et al T. W. Method for contour extraction in terahertz non-destructive testing conduct with a rast-scan THz imaging. *Applied Optics*. vol. 57. No. 17. 2019. P. 4884–4889.