

На правах рукописи



МАМБЕТОВ РИНАТ ФЛАРИДОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ТРУБОПРОВОДОВ, ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ
СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИЕ НЕФТЕГАЗОВЫЕ СРЕДЫ**

Специальность 2.10.1. – Пожарная безопасность (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа – 2024

Работа выполнена на кафедре «Пожарная и промышленная безопасность»
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Хафизов Фаниль Шамильевич

Официальные оппоненты: **Пермяков Владимир Николаевич**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Тюменский
индустриальный университет» / кафедра
«Техносферная безопасность»,
профессор

Худякова Лариса Петровна
доктор технических наук, профессор
Научно-технический центр
трубопроводного транспорта
ООО «НИИ Транснефть»,
Главный научный сотрудник

Ведущая организация: Академия ГПС МЧС России (г. Москва)

Защита состоится «03» июня 2024 года в 14:00 на заседании
диссертационного совета 24.2.428.06 при ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450064,
Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной технический университет» и на сайте <https://rusoil.net>

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Павлова Зухра Хасановна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Основными причинами пожаров и взрывов на объектах нефтегазовой отрасли являются взрывопожарные свойства обращающихся основных веществ – нефти, нефтяного и природного газа.

Согласно п. 10 Приказа МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» для определения причин возникновения пожароопасных ситуаций рассматриваются события, реализация которых может привести к образованию горючей среды и появлению источника зажигания.

Наиболее вероятными событиями, которые могут являться причинами пожароопасных ситуаций на объектах, считаются следующие события: разгерметизация технологического оборудования, вызванная механическими (влияние повышенного или пониженного давления, динамических нагрузок и т.п.), температурными (влияние повышенных или пониженных температур) и агрессивными химическими (влияние кислородной, сероводородной, электрохимической и биохимической коррозии) воздействиями.

Аварийные выбросы нефти могут привести к образованию разливов, которые, при определенных условиях (например, воздействие открытого пламени), способны к возгоранию. При отсутствии источника зажигания, испарившаяся нефть может привести к образованию топливно-воздушной смеси и, как следствие, пожару и взрыву. Обстоятельствами, способствующими возникновению и развитию пожаров и взрывов, следует считать: отказы и повреждения трубопроводов, коррозионное разрушение трубопроводов, отказы систем контроля и защиты, ошибочные действия персонала, действия внешних факторов, пирофорные соединения.

Проведен анализ аварийности на объектах нефтегазовой отрасли в России за период 2017–2021 гг., в результате которого было выявлено, что за отведенный период произошло порядка 260–ти аварий, среди которых: 27 пожаров, 39 выбросов горючих веществ, 36 разрушений сооружений, 75 повреждений и (или) разрушений технических устройств, около 35–ти неконтролируемых взрывов. На

основании анализа 27 пожаров установлено, что 19 пожаров произошло из-за коррозионного разрушения металла труб.

По результатам проведенного анализа выбраны следующие направления исследований по снижению вероятности пожаров и взрывов: выбор материалов труб, применение эффективных ингибиторов, приоритетное ранжирование рисков промышленных трубопроводов.

Несмотря на соблюдение требований пожарной безопасности, которые заложены в проекты технологических регламентов, а также осуществляемые меры по противокоррозионной защите и коррозионному мониторингу, отказы и повреждения трубопроводов сероводородсодержащих месторождений проявляются не только на начальном этапе, но и в последующие годы эксплуатации. В связи с этим совершенствование методов коррозионной защиты, а также исследование материала трубопровода на коррозионную стойкость и способов снижения пожарных рисков при эксплуатации трубопроводов сероводородсодержащих нефтегазовых месторождений является актуальной задачей.

При исследовании объектов трубопроводного транспорта углеводородов, представлен комплексный подход организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности по отношению к нефтепроводам и газопроводам.

Степень разработанности темы исследования

Основные особенности эксплуатации трубопроводов, контактирующих с сероводородсодержащими средами, а также причины их повреждений, отказов, методы повышения безопасности эксплуатации, применение ингибиторов коррозии отмечены в работах ученых: Антонова В.Г., Барышова С.Н., Бугая Д.Е., Гафарова Н.А., Гумерова А.Г., Клейменова А.В., Кушнарченко В.М., Макаренко В.Д., Митрофанова А.В., Перунова Б.В., Стеклова О.И., Худяковой Л.П., Хафизова Ф.Ш., Чиркова Ю.А., Щепинова Д.Н., B.S. Mahdi, H.Sh. Majdi, M.H. Hadisade, M. Namadani, R.S. Abdel Hamid, M.T. Qureshi, M. Abdallah и др.

Несмотря на крупные достижения упомянутых выше ученых, много вопросов по совершенствованию методов безопасности, обеспечению безопасной эксплуатации трубопроводов и пожарной безопасности остаются недостаточно изученными и требуют дальнейшего решения.

В связи с этим, до настоящего времени актуальным представляется усовершенствование способов снижения пожарных рисков путем устранения основных причин отказов и повреждений трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды, разработка и совершенствование методов оценки снижения пожарных рисков при эксплуатации промысловых трубопроводов сероводородсодержащих нефтегазовых месторождений.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.10.1. – Пожарная безопасность (технические науки) – (п. 12 «Разработка научных основ создания систем, методов и технических средств обнаружения, предупреждения и ликвидации аварий, пожаров и взрывов», п. 14 «Исследование условий, разработка и совершенствование методов оценки и способов снижения пожарных рисков на объектах защиты и прилегающих к ним территориях»).

Цель работы

Совершенствование методов оценки и способов снижения пожарных рисков при эксплуатации трубопроводов сероводородсодержащих нефтегазовых месторождений, на основании результатов выбора материалов труб, применения эффективных ингибиторов, приоритетного ранжирования рисков промысловых трубопроводов.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Совершенствование способов снижения пожарных рисков по результатам анализа основных причин отказов и повреждаемости промысловых трубопроводов сероводородсодержащих нефтегазовых месторождений.

2. Исследование способа снижения пожарных рисков за счет возможности применения тонкостенных электросварных нефтегазопроводных

труб из стали 05ХГБ при эксплуатации трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды.

3. Снижение частоты реализации пожароопасных ситуаций на основании анализа эффективных ингибиторов коррозии и подбора защитных дозировок дозировки при эксплуатации трубопроводов сероводородсодержащего нефтегазового месторождения.

4. Приоритетное ранжирование промысловых трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды, с учетом нового показателя – пожарная значимость (повышенная пожарная опасность) и проведение расчетов по оценке пожарного риска трубопровода транспорта газа.

5. Совершенствование автоматизированной системы технических средств обнаружения и предупреждения пожаров и взрывов, реализация системы предотвращения пожара (далее – СПП) на трубопроводах, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования данной работы были выбраны: трубопроводы, детали и узлы трубопроводов, сероводородсодержащего месторождения с содержанием в добываемом сырье сернистого водорода до 6 %.

Предметом исследования являются пожарные риски, методы оценки и способы их снижения, на основании результатов выбора материалов труб, применения эффективных ингибиторов, приоритетного ранжирования промысловых трубопроводов.

Научная новизна

Доказан способ снижения пожарных рисков при эксплуатации трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды за счет применения тонкостенных электросварных нефтегазопроводных труб из стали 05ХГБ.

Для снижения частоты реализации пожароопасных ситуаций, найдены оптимальные дозировки ингибиторов: для защиты системы нефтесбора при дозировке 25 мг/л., защитный эффект составляет 92%.

Для снижения пожарных рисков предложено приоритетное ранжирование промышленных трубопроводов с учетом нового показателя – пожарная значимость (повышенная пожарная опасность).

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость заключается в научном обосновании исследований процесса повышения пожарных рисков по причинам отказов и повреждений трубопроводов, а также разработка и совершенствование методов оценки и способов снижения частоты реализации пожароопасных ситуаций при эксплуатации промышленных трубопроводов сероводородсодержащих нефтегазовых месторождений.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Основные результаты исследований используются в учебном процессе кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (ФГБОУ ВО «УГНТУ») при проведении практических занятий:

– По дисциплинам «Управление производственной безопасностью на предприятиях нефтегазодобывающей отрасли» и «Управление техносферной безопасностью технологических процессов» для магистров по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело» магистерская программа: Проектирование, управление разработкой и эксплуатация газовых и нефтегазоконденсатных месторождений, 20.04.01 «Техносферная безопасность» магистерская программа: Системы техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли.

– По дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск», для специалистов по специальности: 20.05.01 «Пожарная безопасность» специализация: Пожарная и промышленная безопасность в чрезвычайных ситуациях, и охрана труда.

– По дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск», для бакалавров по направлению подготовки: 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиль: Техносферная безопасность в нефтегазовой отрасли.

2. Использование результатов исследований позволило рекомендовать строительство трубопровода из нефтегазопроводных труб из стали 05ХГБ на объектах ПАО «Газпром нефть» с целью снижения пожарных рисков.

Методология и методы исследований

Для достижения цели и решения поставленных задач был осуществлен комплексный подход к исследованиям, состоящий из теоретических и экспериментальных методов: металлографические исследования металлов труб и деталей трубопроводов, гравиметрические и опытно-промышленные испытания стальных нефтегазопроводных труб, лабораторно-стендовые испытания ингибиторов коррозии, унификация подходов к оценке рисков промышленных трубопроводов, проведение расчетов по оценке пожарного риска трубопровода транспорта газа.

Положения, выносимые на защиту

1. Оценка причин повышения пожарных рисков на основании результатов анализа причин повреждений и отказов промышленных трубопроводов сероводородсодержащих месторождений.

2. Совершенствование способа снижения пожарных рисков при эксплуатации трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды по результатам гравиметрических и промышленных испытаний труб из стали 05ХГБ.

3. Результаты анализа эффективных ингибиторов коррозии и их дозировки для снижения частоты реализации пожароопасных ситуаций при эксплуатации трубопроводов сероводородсодержащего месторождения. Приоритетное ранжирование промышленных трубопроводов, для снижения пожарных рисков, с учетом нового показателя – пожарная значимость (повышенная пожарная опасность).

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность и обоснованность полученных при проведении исследований результатов и выводов подтверждается расчетом по оценке пожарного риска трубопровода транспорта газа, а также проведенными гравиметрическими, лабораторно-стендовыми и опытно-промысловыми испытаниями.

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждались на: XII международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники-2019» (Уфа, 2019), VI международной (XIV Всероссийской) научно-практической конференции «Нефтепромысловая химия» (Москва, 2019), XIII и XIV всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности. Газ. Нефть. Энергетика» (Москва, октябрь 2019, ноябрь 2022), V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» (Уфа, 2022), X Международной (XVIII Всероссийской) научно-практической конференции. Нефтепромысловая химия (Москва, 2023).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 19 научных трудов, из них 5 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов с результатами теоретических и экспериментальных исследований, основных выводов, списка использованных источников включающего 138 наименований.

Работа изложена на 180 страницах машинописного текста, содержит 66 рисунков и 32 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика и обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, показана научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость. Изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен литературный обзор по теме диссертационной работы. Общая статистика аварий на объектах нефтегазовой отрасли за 2017 – 2021 гг. представлена на Рисунке 1. Проведен анализ проблем эксплуатации трубопроводов сероводородсодержащих месторождений.

Установлено, что повышенные пожарные риски обусловлены отказами этих трубопроводов сероводородсодержащих месторождений обусловлены в большинстве случаев при отсутствии эффективного ингибирования в условиях воздействия сероводородсодержащих нефтегазовых сред на участки трубопровода, содержащие дефекты.

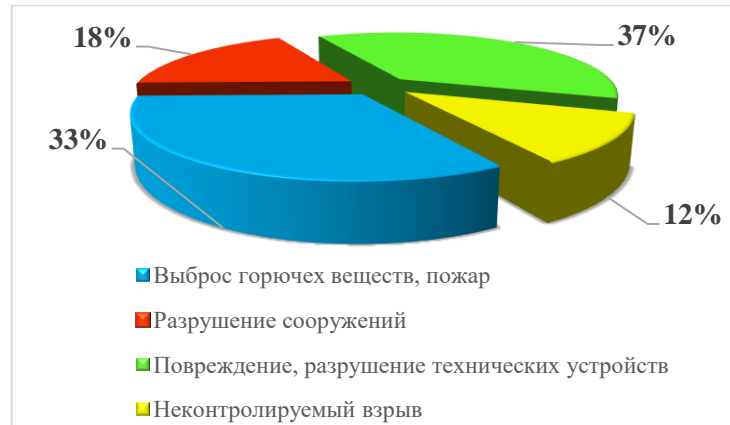


Рисунок 1 – Общая статистика аварий на объектах нефтегазовой отрасли за 2017 – 2021 гг.

Представленный анализ случаев отказов и повреждений промышленных трубопроводов, запорной арматуры, деталей и узлов сероводородсодержащего месторождения показывает, что одними из основных причин растрескивания сварных соединений являются дефекты сварных соединений, играющие роль концентраторов напряжений, полученные при нарушении правил сварочно-

монтажных работ, утечка продукта через сквозные коррозионные повреждения, коррозионный износ посадочных мест седел шаровых кранов, эксплуатационные и остаточные технологические напряжения, язвенная сероводородная коррозия, биокоррозионные повреждения. Представленные выше отказы и повреждения могут привести к аварийной разгерметизации и выбросу опасных веществ в окружающую среду, пожарам и взрывам на объекте.

Для строительства трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащий газ, применяются трубы из спокойных углеродистых и низколегированных сталей, стойкость к сероводородному растрескиванию (далее – СР) которых установлена лабораторными испытаниями и промышленным применением.

Коррозионный мониторинг является основой для разработки действенной программы по борьбе с коррозией трубопроводов нефтегазовых сероводородсодержащих месторождений.

Анализ существующей системы контроля загазованности на сероводородсодержащих месторождениях свидетельствует о целесообразности ее совершенствования с целью снижения пожарных рисков при эксплуатации трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды.

Во второй главе представлены пожароопасные ситуации, связанные с разгерметизацией трубопроводов, рассмотрены методы и результаты исследований повреждений трубопроводов, запорной арматуры, деталей и узлов трубопроводов, возникающие при реализации пожароопасных ситуаций и пожаров.

Отказы и повреждения трубопроводов при эксплуатации в основном происходят в результате сероводородного растрескивания и язвенной коррозии металла, вызванных значительным содержанием сероводорода в технологических средах, нарушением технологии сварочно-монтажных работ. Например, наличие недопустимых дефектов в сварном соединении перехода в условиях воздействия сероводородсодержащей среды привело к развитию сероводородного растрескивания под напряжением и последующей разгерметизации трубопровода представлено на Рисунке 2.



Рисунок 2 – Переход с дефектным сварным швом, вырезки из трубопровода в точке подключения газопровода Ду 300 технологической линии к газопроводу внешнего транспорта газа Ду 500

Причиной разрушения запорной арматуры является сероводородное растрескивание металла деталей арматуры, имеющих высокую твердость более 22 HRC, не соответствующую требованиям к материалам, для эксплуатации в сероводородсодержащих средах, что значительно повышает риск возникновения сероводородного растрескивания представлено на Рисунке 3.



Рисунок 3 – Шибер задвижки ЗМС-65x21 К2 ×200

Таким образом, основной причиной повреждений и отказов деталей и узлов трубопроводов является сероводородное растрескивание под напряжением, обусловленное применением не соответствующего материала и наличием дефектов в сварных швах. Наряду с этим наблюдается разгерметизация стояка отбора давления Ду 50. Причиной разрушения сварного соединения стояка отбора давления Ду 50 является СР под напряжением, возникшее в результате воздействия сероводородсодержащей среды представлено на Рисунке 4.



Рисунок 4 – Стояк отбора давления Ду 50

В третьей главе приведен выбор материалов трубопроводов и запорной арматуры, эксплуатируемых в условиях воздействия сероводородсодержащих нефтегазовых средах для снижения пожарных рисков. Проведен анализ национальных и международных стандартов, научных статей, опыта эксплуатации, результатов коррозионных испытаний, технических требований на изготовление материалов и другой нормативной документации по материалам труб и запорной арматуры, применение которых возможно в сероводородсодержащих нефтегазовых средах с целью повышения пожарной безопасности.

На основании анализа нормативной документации, коррозионно-механических испытаний и опыта эксплуатации обобщены требования к материалам конструкций, позволяющие обеспечить безаварийную работу и повысить пожарную безопасность трубопроводов, транспортирующих нефтегазовые среды с содержанием сероводорода до 6 %.

Анализ результатов входного контроля изделий за последние 5 лет позволил установить основные причины отбраковки с целью предупреждения пожаров и взрывов.

Отбраковка при входном контроле труб, деталей трубопроводов, соединительных деталей и арматуры, не соответствующих нормативным документам, один из способов снижения пожарных рисков, а также инженерно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности, строящихся и реконструируемых участков промысловых трубопроводов сероводородсодержащего нефтегазового месторождения.

В комплекс организационно–технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности были включены: выбор материала труб, входной контроль и защитные мероприятия, применяемые на сероводородсодержащем месторождении.

По результатам отказов трубопроводов из стали 20 представляется необходимым проведение гравиметрических и промысловых испытаний нефтегазопроводных труб из стали 05ХГБ.

Проведены промышленные испытания стальных труб марки стали 05ХГБ на байпасном стенде сероводородсодержащего нефтегазового месторождения, с целью снижения пожарных рисков при эксплуатации трубопроводов.

В проведенных испытаниях были использованы сварные прямошовные трубы диаметром 219 мм с номинальной толщиной стенки 9 мм, из стали 05ХГБ. Для контрольных «катушек» взяты бесшовные трубы такого же диаметра с номинальной толщиной стенки 12 мм, из стали 20.

В Таблице 1 приведены результаты исследования стали 05ХГБ и стали 20.

Вид образца из стали 05ХГБ – представлен на рисунке 5 (а), образец из стали 20 – представлен на рисунке 5 (б).

Таблица 1 – Результаты испытаний стали 20 и стали 05ХГБ.

Наименование	Сталь 20	Сталь 05ХГБ
Максимальная скорость локальной коррозии, мм/год	0,75	0,06
Процент снижения скорости локальной коррозии стали 05ХГБ по отношению к стали 20		91,9%

Из анализа Таблицы 1 видно, что максимальная скорость локальной коррозии стали 20 и стали 05ХГБ – соответственно 0,75 и 0,06 мм/год, т. е. коррозионная стойкость стали 05ХГБ на 91,9% превосходит аналогичный показатель у стали 20.

Величина общей и локальной коррозии, согласно замерам гравиметрии образцов свидетелей коррозии (далее – ОСК) №1 из стали 05ХГБ составила 0,00 мм/год.

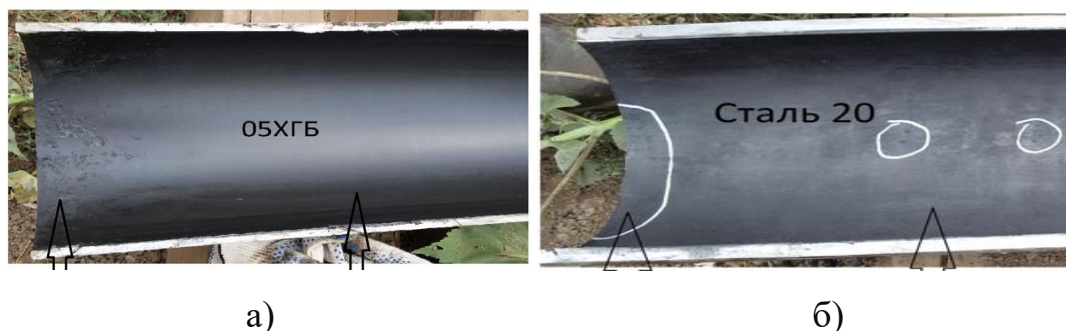


Рисунок 5 – Участок катушки стали 05ХГБ (а) и участок катушки стали 20 (б)

Проведены промышленные испытания стальных труб марки стали 05ХГБ и стали 20 на байпасном стенде сероводородсодержащего месторождения. Вид сегментов катушек после испытаний представлен на Рисунках 6,7. Показана возможность применения тонкостенных электросварных нефтегазопроводных труб из стали 05ХГБ взамен стали 20, как способ снижения пожарных рисков при эксплуатации трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды.



Рисунок 6 – Верхние сегменты катушек стали 20 (а) и стали 05ХГБ (б) байпасного стенда



Рисунок 7 – Нижние сегменты катушек стали 05ХГБ (а) стали 20 (б) байпасного стенда

Результаты проведенных гравиметрических исследований и опытно–промышленных испытаний трубы из стали 05ХГБ, позволили рекомендовать строительство трубопровода из нефтегазопроводных труб из стали 05ХГБ на объектах сероводородсодержащего месторождения с содержанием в добываемом сырье сернистого водорода до 6 %. с целью снижения пожарных рисков.

Статистика отказов и повреждений трубопроводов, используется на объекте для определения частоты пожароопасных ситуаций. Для снижения частоты пожароопасных ситуаций, провели оценку эффективности ингибиторов коррозии

(далее – ИК) и их оптимальных дозировок для систем нефтесбора в реальных средах сероводородсодержащего месторождения.

Смоделировано применение в системе нефтесбора сероводородсодержащего месторождения для обнаружения возможного негативного влияния поглотителя сероводорода на защитные свойства ИК НАПОР-1012 и СНПХ–1004Р. Результаты приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Защитная эффективность реагентов, применяемых для защиты от коррозии системы нефтесбора

Ингибитор	Дозировка, мг/л	Скорость коррозии, мм/год	Защитный эффект, %
НАПОР-1012	25	0,013	89
	30	0,008	90
СНПХ-1004 Р	25	0,015	92
	30	0,01	87

Результаты испытания ингибиторов в условиях, моделирующих систему нефтесбора, представлены на Рисунке 8.

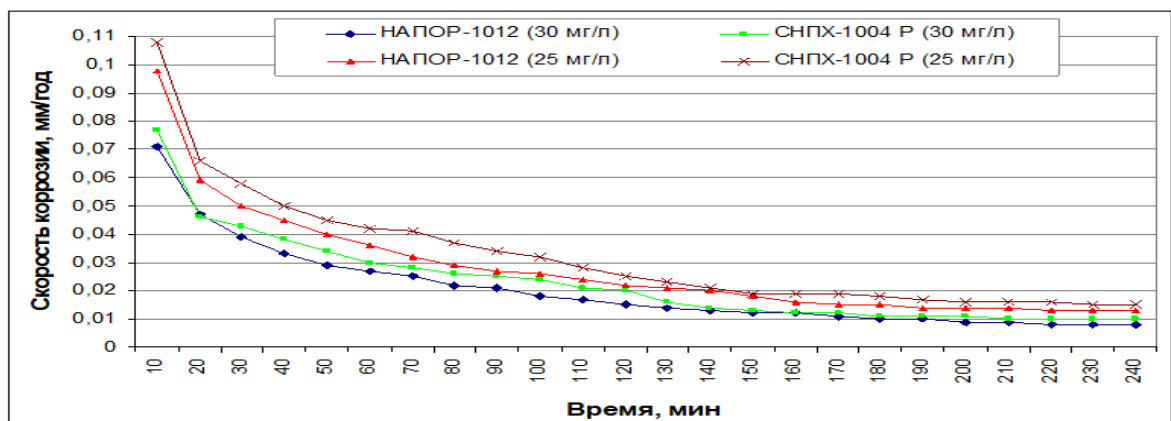


Рисунок 8 – Защитная эффективность ингибиторов коррозии НАПОР–1012 и СНПХ–1004 Р при дозировке 25 и 30 мг/л в системе нефтесбора

На основании анализа результатов лабораторно–стендовых испытаний установлена высокая защитная эффективность в промышленных средах системы нефтесбора сероводородсодержащего месторождения ингибитора коррозии СНПХ

– 1004Р. Данный ингибитор повысит безопасность эксплуатации системы нефтесбора и тем самым снизит частоту пожароопасных ситуаций в системе, его эффективность при дозировке 25 мг/л., составляет 92%.

В четвертой главе приведен анализ результатов коррозионного мониторинга, установлена защитная эффективность ингибитора коррозии СНПХ-1004Р в промысловых трубопроводах сероводородсодержащего месторождения.

На основании полученных данных коррозионного мониторинга максимальная скорость коррозии (критерий оценки коррозионной агрессивности среды) по УКК в 2015 – 2019 гг. определяется как «Повышенная» и «Умеренная» трубопроводов сероводородсодержащего месторождения.

Установлена высокая защитная эффективность в промысловых средах добывающих скважин сероводородсодержащего месторождения ингибитора коррозии СНПХ–1004Р. Защитный эффект данного реагента при дозировке 30 мг/л., составил 92%, что позволило рекомендовать его для защиты трубопроводов систем нефтесбора. Применение реагента СНПХ–1004Р обеспечит пожарную безопасность и снизит частоту пожароопасных ситуаций при эксплуатации трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды.

В работе приведены результаты технического диагностирования трубопроводов, на основе которых для снижения пожарных рисков и предупреждения пожаров и взрывов было сформировано приоритетное ранжирование рисков промысловых трубопроводов с целью формирования программ ингибиторной защиты с учетом единого подхода оценки пожарных рисков.

Представлены показатели для нефтепроводов: объем транспортируемой нефти, экологическая значимость, наличие сероводорода в транспортируемом продукте, транспортируемый продукт, важность участка трубопроводов, давление в трубопроводе, включая новый показатель – пожарная значимость (повышенная пожарная опасность).

Группа риска трубопровода определяется произведением оценок вероятности и последствий инцидента. По величине риска устанавливаются

принадлежность каждого трубопровода в его текущем состоянии, к одной из четырех групп риска - Очень высокая (ОВ), Высокая (В), Средняя (С), Низкая (Н) в соответствии с М-01.02.04-02.

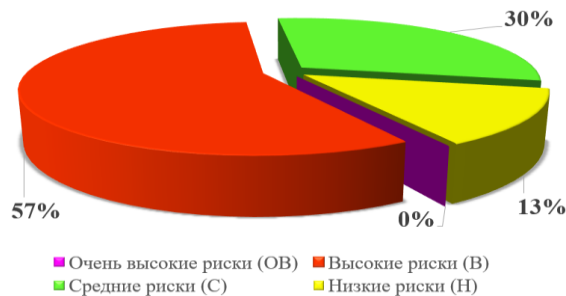


Рисунок 9 – Приоритетное ранжирование рисков промышленных трубопроводов для снижения пожарных рисков с учетом нового показателя – пожарная значимость (повышенная пожарная опасность) для формирования программ ингибиторной защиты

Проведено приоритетное ранжирование рисков промышленных трубопроводов для снижения пожарных рисков, а также предупреждения пожаров и взрывов (Рисунок 9). На основании приоритетного ранжирования рисков, трубопроводы (нефтеборные коллектора) включены в программу ингибиторной защиты с учетом нового показателя – пожарная значимость (повышенная пожарная опасность): высокие риски – 57%, средние риски – 30%, низкие риски – 13%.

Для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров на трубопроводе транспорта газа был использован рекомендованный п. 17 Приказа МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 метод построения логических деревьев событий (далее – логическое дерево).

Построение логического дерева событий позволило определить развитие возможных пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих вследствие реализации инициирующих пожароопасную ситуацию событий. Анализ дерева событий представляет собой «осмысливаемый вперед» процесс, то есть процесс, при котором исследование развития пожароопасной ситуации начинается с исходного события с рассмотрением цепи последующих событий, приводящих к возникновению пожара.

Сценарий возникновения и развития пожароопасной ситуации (пожара) на логическом дереве отражается в виде последовательности событий от исходного до конечного события (далее – ветвь дерева событий).

Построено логическое дерево событий для группы пожаровзрывоопасных сценариев, которые могут произойти при разгерметизации трубопровода транспорта газа (Рисунок 10).

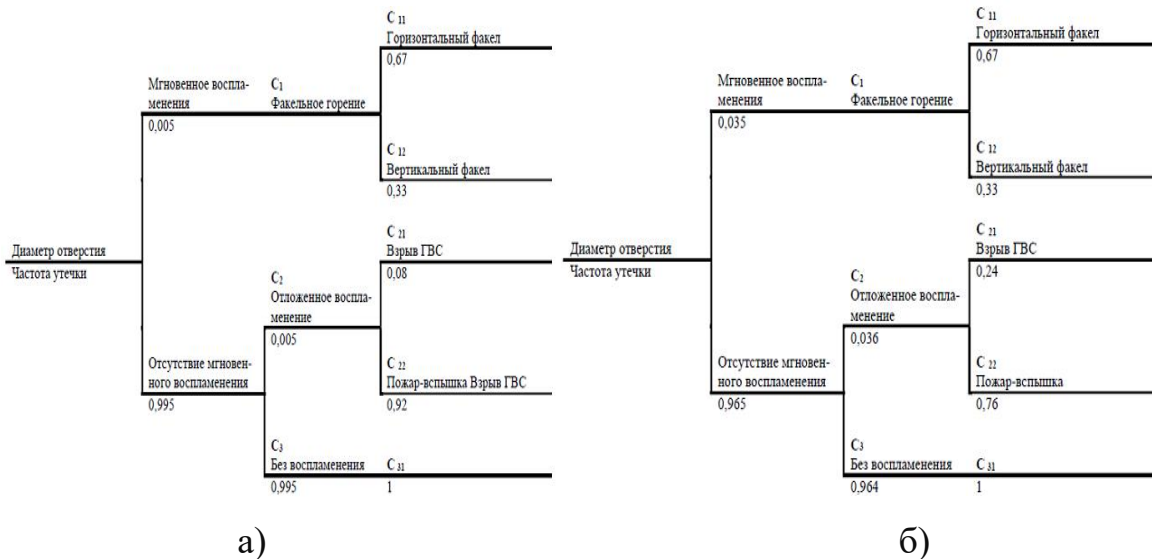


Рисунок 10 – Логическое дерево событий при разгерметизации трубопровода транспорта газа (а – Малый расход (< 1) кг/с – номинальное среднее значение 0,5 кг/с, б – средний расход 1-50 кг/с – номинальное среднее значение 10 кг/с)

Рассчитана оценка индивидуального пожарного риска на территории объекта. Величина индивидуального риска R_m (год⁻¹) для работника m объекта при его нахождении на территории объекта для сценария C1 взрыва топливоздушного облака определяется по формуле (п. 38 Приказ МЧС от 10.07.2009 г. №404):

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} \cdot P(i), \quad (1)$$

где q_{im} – вероятность присутствия работника m в i -ой области территории объекта;

$P(i)$ – величина потенциального риска в i -ой области территории объекта, год⁻¹. Определяется по формуле (п. 24 Приказ МЧС от 10.07.2009 г. №404).

Рассчитан индивидуальный пожарный риск трубопровода транспорта газа, который составляет $R_m = 3,1 \cdot 10^{-9}$ и не превышает допустимых значений. Результаты исследований, расчетов и испытаний подтверждают обеспечение пожарной безопасности объекта защиты в соответствии с частью 7 ст. 6 ФЗ №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее – ФЗ-123).

В соответствии со ст. 5 ФЗ-123 законодательно закреплено, что каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности, целью создания которой является предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита имущества при пожаре. В систему обеспечения пожарной безопасности (далее – СОПБ) объекта защиты включена СПП – комплекс организационных мероприятий и технических средств, исключающих возможность возникновения пожара на объекте защиты (ст. 2 ФЗ-123).

Для предупреждения пожаров, взрывов и реализации СПП смонтирована система технических средств обнаружения – автоматизированная система мониторинга (далее – АСМ). АСМ предназначена для обнаружения утечек газа на трубопроводах и проведения непрерывного мониторинга на территории сероводородсодержащего месторождения и прилегающих к ним территориях, а также доведения информации до надзорных органов и населения, проживающего в зоне воздействия объектов в случае возникновения пожара и взрыва (Рисунок 11).

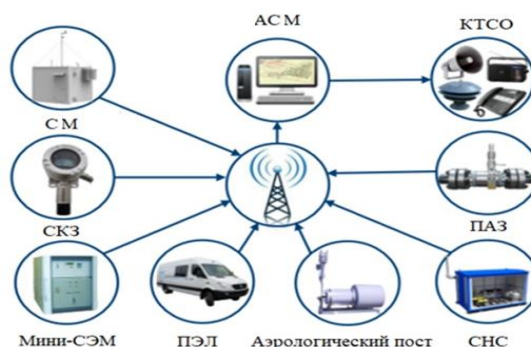


Рисунок 11 – Автоматизированная система мониторинга

Система технических средств обнаружения представляет собой единый аппаратно-программный комплекс, состоящий из стационарных станций

мониторинга, передвижных экологических лабораторий, сети датчиков контроля загазованности, аэрологического поста, технических средств оповещения, средств передачи данных, серверов и автоматизированных рабочих мест пользователей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Проведен анализ литературных данных, а также анализ опыта технической эксплуатации трубопроводов нефтегазовой отрасли, в ходе которых было выявлено, что отказы и повреждения трубопроводов при эксплуатации могут привести к аварийной разгерметизации и выбросу опасных веществ в окружающую среду, пожарам и взрывам на объекте. Согласно общей статистике аварий на объектах нефтегазовой отрасли за 2017 – 2021 год, представлена детальная статистика: 31% – выброс горючих веществ, пожар, 17% – разрушение сооружений, 35% – повреждение, разрушение технических устройств, 17% – неконтролируемый взрыв. Отказы и повреждения трубопроводов при эксплуатации в основном происходят в результате сероводородного растрескивания и язвенной коррозии металла, вызванных значительным содержанием сероводорода в технологических средах, нарушением технологии сварочно-монтажных работ, несоблюдения режимов термообработки сварных швов или ее отсутствие, приводящим к образованию дефектов в сварных швах, а также наличием металлургических дефектов.

2. В работе доказан способ снижения пожарных рисков при эксплуатации трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды за счет применения тонкостенных электросварных нефтегазопроводных труб из стали 05ХГБ. Полученные результаты свидетельствуют, что максимальная скорость локальной коррозии стали 20 и стали 05ХГБ – соответственно 0,75 и 0,06 мм/год, т.е. коррозионная стойкость стали 05ХГБ на 91,9% превосходит аналогичный показатель у стали 20. Величина общей и локальной коррозии, согласно замерам гравиметрии ОСК №1 из стали 05ХГБ составила 0,00 мм/год. Результаты проведенных гравиметрических исследований и опытно-промышленных испытаний трубы из стали 05ХГБ, позволили рекомендовать нефтегазопроводные трубы из стали 05ХГБ для снижения пожарных рисков на

объектах сероводородсодержащего месторождения с содержанием в добываемом сырье сернистого водорода до 6 %. с целью снижения пожарных рисков.

3. В ходе исследований для снижения частоты пожароопасных ситуаций, провели оценку эффективности ингибиторов коррозии и их оптимальных дозировок для системы нефтесбора. На основании анализа результатов лабораторно–стендовых испытаний установлена высокая защитная эффективность в промышленных средах системы нефтесбора сероводородсодержащего месторождения ингибитора коррозии СНПХ – 1004Р. Данный ингибитор снизит частоту пожароопасных ситуаций в системе нефтесбора, его защитный эффект при дозировке 25 мг/л., составляет 92%.

4. Проведено приоритетное ранжирование рисков промышленных трубопроводов для снижения пожарных рисков, а также предупреждения пожаров и взрывов. На основании приоритетного ранжирования рисков, трубопроводы (нефтесборные коллектора) включены в программу ингибиторной защиты с учетом нового показателя – пожарная значимость (повышенная пожарная опасность): высокие риски – 57%, средние риски – 30%, низкие риски – 13%. Исследованы условия, проведен анализ и разработаны сценарии возможных аварий. Рассчитан индивидуальный пожарный риск на территории трубопровода транспорта газа, который составляет $R_m=3,1 \cdot 10^{-9}$.

5. Для предупреждения пожаров, взрывов и реализации СПП смонтирована система технических средств обнаружения – автоматизированная система мониторинга, предназначенная для обнаружения утечек газа на трубопроводах и проведения непрерывного мониторинга на территории сероводородсодержащего месторождения и прилегающих к ним территориях, а также доведения информации до надзорных органов и населения, проживающего в зоне воздействия объектов в случае возникновения пожара, взрыва.

Основное содержание диссертации представлено в следующих работах:

Ведущие рецензируемые научные издания, входящие в перечень ВАК:

1. Мамбетов, Р.Ф. Разрушения деталей и конструкций нефтегазового оборудования скважин в сероводородсодержащих средах / Р.Ф. Мамбетов, В.М. Кушнаренко, Е.В. Ганин //

Безопасность труда в промышленности. – 2018. – № 1. – С. 61-65. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-1-61-65.

2. Мамбетов, Р. Ф. Промысловые испытания стальных труб на сероводородсодержащем месторождении / Р.Ф. Мамбетов, В.А. Свинцов, В.М. Кушнарченко // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 7. – С. 49-55. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-7-49-55.

3. Мамбетов, Р. Ф. Автоматизированная система контроля загазованности на трубопроводах сероводородсодержащего месторождения / Р.Ф. Мамбетов, В.М. Кушнарченко, И.В. Ефремов, И.Ф. Хафизов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2020. – № 1. – С. 21-41.

4. Мамбетов, Р.Ф. Контроль коррозии как метод повышения безопасности трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды / Р.Ф. Мамбетов, В.М. Кушнарченко, Н.А. Конькова, И.В. Ефремов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2020. – № 3. – С. 109-129.

5. Мамбетов, Р. Ф. Совершенствование способа пожарной безопасности трубопроводного транспорта сероводородсодержащих нефтегазовых сред / Р.Ф. Мамбетов, Ф.Ш. Хафизов, В.М. Кушнарченко, И.Ф. Хафизов, Л.В. Сорокина // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». – 2023. – № 1. – С. 84-106.

Материалы, опубликованные в прочих изданиях:

6. Моисеев, В.П. Анализ причин отказов оборудования / В.П. Моисеев, Р.Ф. Мамбетов, В.М. Кушнарченко и др. // Нефтегазовое дело. – 2017. – № 1. – С. 181-185.

7. Юдаш, С.Г. Анализ причин отказов трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды / С. Г. Юдаш, В. А. Бишель, Р. Ф. Мамбетов, В. М. Кушнарченко, Р. Н. Узяков, Е. В. Ганин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 2. – С. 70–77.

8. Мамбетов, Р. Ф. Сероводородное растрескивание штока вентиля манометра / Р.Ф. Мамбетов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2019. – № 1 (109). – С. 34–42.

9. Мамбетов, Р. Ф. Оценка эффективности ингибиторов коррозии для защиты промысловых трубопроводов сероводородсодержащего месторождения / Р. Ф. Мамбетов, В. М. Кушнарченко // Технологии нефти и газа. – 2019. – № 4. – С. 25–32.

10. Мамбетов, Р.Ф. Анализ причины отказа трубопровода транспорта сероводородсодержащего газа и система контроля загазованности на трубопроводах сероводородсодержащего месторождения / Р.Ф. Мамбетов, В.М. Кушнарченко, В.С Репях // Научно–технический журнал «Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе». – 2019. – № 5. – С. 22–26.

11. Мамбетов, Р.Ф. Оценка эффективности ингибиторов коррозии для защиты промысловых трубопроводов сероводородсодержащего месторождения / Р.Ф. Мамбетов, В.М.

Кушнаренко // «Нефтепромысловая химия» материалы VI Международной (XIV Всероссийской) научно-практической конференции. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2019. – С. 49-51.

12. Мамбетов, Р. Ф. Промысловые испытания стальных труб на сероводородосодержащем месторождении / Р.Ф. Мамбетов // «Новые технологии в газовой промышленности» материалы XIII Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2019. – С. 327-328.

13. Мамбетов, Р. Ф. Промысловые испытания труб из стали 20 и стали 05ХГБ на сероводородсодержащем месторождении / Р.Ф. Мамбетов, В.А. Свинцов, В.М. Кушнаренко // «Актуальные проблемы науки и техники – 2019» материалы XII Международной научно-практической конференции молодых – Уфа: УГНТУ, 2019. – Т. 1. – С. 169-171.

14. Мамбетов, Р. Ф. Причины сквозного повреждения сварного соединения трубопровода / Р.Ф. Мамбетов, В.М. Кушнаренко, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2020. – Т. 10. – № 1. – С. 42–52.

15. Mambetov, R.F. Causes of the field flowline weld joint rust-through damage / R F. Mambetov, V.M. Kushnarenko, F. Sh. Hafizov // Pipeline Science and Technology. – 2020. – № 1 – v. 4.

16. Мамбетов, Р. Ф. Обеспечение технологической безопасности на объектах нефтегазодобычи сероводородсодержащего месторождения / Р.Ф. Мамбетов, Л.В. Сорокина, В.М. Кушнаренко, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов // «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» материалы IV Международной научно-практической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2022. – С. 24-27.

17. Мамбетов, Р. Ф. Оценка и приоритезация рисков промышленных трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды / Р.Ф. Мамбетов, В.М. Кушнаренко, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». – 2022. – № 6. – С. 76-91.

18. Мамбетов, Р. Ф. Промысловые испытания стальных труб на сероводородсодержащем месторождении / Р.Ф. Мамбетов // «Новые технологии в газовой промышленности» материалы XIV Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2022. – С. 335-336.

19. Мамбетов, Р.Ф. Совершенствование методов повышения пожарной безопасности трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды с применением ингибитора коррозии / Р.Ф. Мамбетов, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов, В.М. Кушнаренко, Л.В. Сорокина // «Нефтепромысловая химия» материалы X Международной (XVIII Всероссийской) научно-практической конференции. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2023. – С. 113-116.