



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,
ОКПО 02068574

Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251
тел.: +7(812)297 2095, факс: +7(812)552 6080
office@spbstu.ru



Утверждаю
Проректор по научно-
организационной деятельности
д.т.н. доцент

Ю.С. Клочков
_____ 2022 г.

Отзыв ведущей организации

на диссертацию **Вагапова Руслана Кизитовича** на тему «**Разработка комплексных методов обеспечения работоспособности газопроводов в условиях коррозионно-агрессивных сред**», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.19 - Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

Диссертационная работа Вагапова Р.К. состоит из введения, шести глав, выводов, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы, насчитывающего 322 ссылки на работы отечественных и зарубежных авторов. Диссертация изложена на 325 страницах, содержит 31 рисунок и 51 таблицу.

Актуальность темы диссертации

Проблема защиты от внутренней коррозии является важной составной частью в обеспечении надежной и безопасной эксплуатации нефтегазовых объектов. Однако, большинство исследований было посвящено, преимущественно, нефтяным месторождениям. Нефтяные и газовые месторождения отличаются по условиям эксплуатации и фазовому состоянию флюида, что сказывается на условиях коррозионной агрессивности и подбора сред защиты для них. Поэтому выбор в качестве объекта исследований в диссертации газопроводов месторождений является актуальным и целесообразным. Разработка мер по обеспечению их комплексной защиты в условиях наличия в транспортируемой углеводородной продукции

сероводорода (H_2S) или диоксида углерода (CO_2) является необходимым и требующим исследования на современном этапе развития газовых объектов в РФ. Проблема обеспечения работоспособности газопроводов рассмотрена автором для условий сероводородной (Астраханское ГКМ, Оренбургское НГГМ), так и углекислотной (Бованенковское, Уренгойское (ачимовские отложения) и др.) коррозий. В исследовании коррозионно-агрессивных условий автор не ограничился только газопроводами месторождений, но и дополнительно рассмотрел технологические газопроводы (транспорт и закачка CO_2 в пласт при интенсификации газодобычи; использование CO_2 в качестве части буферного газа на объектах подземного хранения газа; отделение, транспортировка и захоронение CO_2 в целях снижения углеродного следа), которых вскоре могут стать актуальными и перспективными.

Коррозионные повреждения и разрушения имеют высокую цену и последствия для газопроводов, которые эксплуатируются в коррозионно-активных средах (при повышенных давлениях, температурах и содержаниях CO_2 и / или H_2S). Помимо этого, при авариях возникают существенные последствия в виде загрязнений окружающей среды.

В связи с вышеизложенным выполненная автором разработка комплексных методов для решения проблемы по обеспечению работоспособности газопроводов в условиях присутствия в транспортируемых средах коррозионно-агрессивных компонентов является актуальной, как с научной, так и с практической точек зрения.

Научная новизна

На основании анализа эксплуатационных условий и данных имитационных испытаний автором предложены научно-обоснованные комплексные решения по обеспечению безопасной и надежной работы газопроводов месторождений и технологических газопроводов в условиях транспортировки коррозионных флюидов.

Определены закономерности и условия развития коррозионных повреждений и влияние основных факторов (условия конденсации влаги),

характерных именно для газопроводов. Получены зависимости скорости локальной коррозии при конденсации влаги от парциального влияния CO_2 , влажности, концентрации спирта и гликоля и других факторов.

Предложены научно-методические основы, по комплексной оценке агрессивности сред на основе экспериментальных методов моделирования условий в целях поиска и выбора решений по защите от внутренней коррозии. Выполнена апробация предложенных методов испытаний с использованием не вовлеченных ранее в широкую лабораторную практику физических методов исследований. Подтверждена возможность применения газовой хроматомасс-спектрологии для определения состава ингибитора коррозии. При помощи метода рентгеновской дифракции определено влияние эксплуатационных факторов и ингибиторов на состав продуктов коррозии. С помощью этого метода подтверждено образование нестехиометрического сидерита $(\text{CaMgFe})\text{CO}_3$, у которого защитные свойства будут отличаться от FeCO_3 . Установлено образование метастабильного FeS (кубического), который образуется одновременно с макинавитом, FeS (тетрагональным), что будет сказываться на защитных свойствах пленки продуктов коррозии последнего.

Автором в государственные и нормативные документы включены методы и критерии оценки коррозионной опасности (в зависимости от агрессивных факторов), которые важны при реализации решений по обеспечению надежности газопроводов в присутствии коррозионно-опасных компонентов.

Теоретическая и практическая значимость

Обоснованы научно-методические решения по оценке степени агрессивности эксплуатационных сред, составу испытаний, процедурам подбора средств защиты, применению оборудования и технологий коррозионного мониторинга для совершенствования контроля за надежностью и обеспечению работоспособности газопроводов.

Подтверждена возможность корректной оценки опасности CO_2 и эффективности средств защиты для последующего рационального подбора

решений по обеспечению работоспособности газопроводов месторождений и технологических газопроводов, и выбору оптимальных средств и методов их мониторинга.

Проведенные испытания в условиях конденсации влаги позволяют определить условия и особенности эксплуатации наиболее коррозионно-агрессивных участков газопроводов с опасностью интенсивного развития локальных дефектов. Использование результатов позволяет проводить, как их ранжирование по степени агрессивности, так и предиктивный анализ в рамках лабораторных испытаний, оптимизируя их проведение.

На основе и с учетом результатов исследований автором были разработаны ключевые положения нормативных документов, позволяющие эффективно обеспечить безопасную и надежную эксплуатацию газовых объектов в условиях наличия коррозионно-агрессивных сред: ГОСТ Р 55990-2014 «Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования», ГОСТ Р 58284-2018 «Нефтяная и газовая промышленность. Морские промысловые объекты и трубопроводы. Общие требования к защите от коррозии», СТО Газпром 9.3-028-2014 «Защита от коррозии. Правила допуска ингибиторов коррозии для применения в ОАО «Газпром», СТО Газпром 9.3-011-2010 «Защита от коррозии. Ингибиторная защита от коррозии промысловых объектов. Основные требования», СТО Газпром 9.3-007-2010 «Защита от коррозии. Методика лабораторных испытаний ингибиторов коррозии для оборудования добычи, транспортировки и переработки коррозионно-активного газа».

Следует отметить практическую значимость указанных автором в автореферате данных о разработке СТО ООО «Газпром ВНИИГАЗ» 31323949-062-2022 по методу испытаний при барботировании газами и создании стендов (Патент № 2772612 «Способ коррозионных испытаний и высокоскоростная циркуляционная установка для его осуществления» и Патент №2772614 «Способ коррозионных испытаний и установка для его осуществления»).

Использование результатов исследований позволило обеспечить на ряде ключевых объектов ПАО «Газпром» внедрение систем защиты и контроля коррозионного состояния газопроводов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность

Все основные результаты, выводы и положения диссертации, выносимые на защиту, получены автором лично. Достоверность и обоснованность результатов научных исследований подтверждаются корректным проведением и методами статистического анализа результатов испытаний, использованием экспериментальных сведений, а также корреляцией полученных результатов с эксплуатационными данными системы коррозионного мониторинга, которые используются на газопроводах.

Среди основных результатов и выводов, полученных при решении поставленной автором научной проблемы следует выделить:

- разработанную градацию коррозионной агрессивности, что подтверждено экспериментальными результатами и включает комплексную систему ранжирования по степени коррозионности эксплуатационных сред в диапазоне $P(\text{CO}_2)$ от 0,02 до 0,2 МПа с учетом дополнительных коррозионных факторов (присутствия водной фазы, рН-фактора, температуры).

- предложенный на основе анализа эксплуатационных условий комплекс методов для обеспечения работоспособности газопроводов (анализ коррозионной опасности, имитационные испытания, мониторинг коррозии, использование средств защиты), положения которого взаимосвязаны и последовательны.

- разработанные научно-методические решения к анализу и обработке исходных параметров (минерализации, температуры, содержания CO_2 , катионно-анионного состава и рН-фактора воды и др.), позволяющие выявить оптимальные и в полной мере отражающие эксплуатационные условия и агрессивные факторы для имитационных испытаний. Автором учитывается динамика их изменения на всем протяжении жизненного цикла газопровода и

возможное влияние сторонних факторов, а также других применяемых реагентов с возможностью ранжирования трубопроводных участков по степени агрессивности сред в рамках организации и функционирования коррозионного мониторинга.

- определенные по результатам исследования основные коррозионные процессы, возникающие в газопроводе при конденсации влаги на верхней образующей трубы (ТОЛ коррозия) и по нижней образующей трубы (БОЛ коррозия). Предложены параметры оценки степени агрессивности (характеристики трубопроводной системы, скорость коррозии, минерализация и другие параметры воды, содержание растворенного железа, параметры эксплуатации).

- предложенный комплексный подход к проведению коррозионных испытаний при оценке коррозионности и при подборе средств защиты газопроводов. Для всех основных методов испытаний разработано методическое обеспечение, учитывающее эксплуатационные условия.

Научные результаты и их ценность

Для газопроводов посчитано касательное напряжение, характеризующее влияние движения потока на коррозию. Их сравнение показало, что агрессивность динамических условий лабораторной коррозионной установки имеет схожий порядок значений с потоком среды в газопроводе. Методами статистической обработки рассчитана зависимость (уравнение) для предиктивной оценки скорости коррозии в динамических условиях от основных коррозионных параметров (минерализации и температуры), которая показала хорошую сходимость с экспериментальными данными.

Полученные результаты комплекса испытаний для ТОЛ условий, которые являются основными и наиболее коррозионно-опасными в газопроводе, позволили выявить зависимость и определяющее влияние на образование локальных дефектов от основных факторов (степени увлажненности среды и градиента температур, парциального давления CO_2 , присутствия CH_3COOH). Установлено, что в водно-спиртовой / водно-

гликолевой средах при TOL испытаниях важную роль играет содержание спирта / гликоля в водном конденсате на стали, а не в испаряемой жидкости. Автором определено, что снижение агрессивности и подавление протекания CO₂-коррозии в пленке сконденсировавшейся на стали жидкости начинается при достижении концентрации спирта / гликоля в испаряемой жидкости от 80-85% и выше.

Разработаны и сформулированы технические требования к ингибиторам, которые являются одним из основных средств защиты от внутренней коррозии газопроводов, изготовленных из углеродистой или низколегированной трубных сталей. Параметры их оценки включают как защитные, так и технологические параметры. Основной технологией применения ингибиторов является постоянное дозирование в CO₂ условиях, когда наблюдается образование локальных дефектов, предугадать место и время образование которых затруднительно. Определено, что основными параметрами оценки ингибиторной защиты являются скорость коррозии, степень защиты, содержание ингибитора и растворенного железа в жидкости, получаемые в рамках функционирования системы коррозионного мониторинга.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы рекомендуются к применению на различных этапах проектирования, строительстве и в процессе эксплуатации газопроводов для обеспечения их безопасной эксплуатации при транспортировке продукции с присутствием коррозионно-активных компонентов. Комплекс разработанных при участии автора государственных и корпоративных стандартов обеспечивает необходимое научно-методическое и нормативно-техническое сопровождение вышеуказанных работ (в области оценки коррозии, использования ингибиторов коррозии и коррозионного мониторинга).

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации недостаточно подробно освещен вопрос причины локализации коррозии в условиях TOL-коррозии?
2. Следует уточнить существует ли взаимосвязь между технологическими и защитными свойствами ингибиторов коррозии?
3. Требуют уточнения составы и марки основных сталей, применяемых на газопроводах, какие из них были испытаны и какую коррозионную стойкость они показали?
4. Каким образом учитывались динамический фактор и pH-фактор в уравнении для предиктивного анализа?
5. Как соотносятся результаты диагностических замеров (толщинометрии) с результатами имитационных испытаний?
6. Были ли подтверждены на практике (на эксплуатируемых объектах) выявленной в имитационных испытаниях зависимости скорости углекислотной коррозии от парциального давления?

Публикации, освещающие основное содержание диссертации

Полученные в результате диссертационного исследования результаты в достаточной степени освещены в 34 научных работах, в том числе 19 статьях в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 8 – в изданиях, индексируемых в международных базах SCOPUS и Web of Science, 2 государственных стандартах, 3 нормативных документах организации. Результаты неоднократно докладывались и обсуждались на многих российских и международных конференциях, семинарах и конгрессах по теме диссертации.

Опубликованные работы и автореферат в полной мере отражают содержание диссертации, что позволяет сделать вывод о достаточной апробации результатов диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Вагапова Руслана Кизитовича «Разработка комплексных методов обеспечения работоспособности газопроводов в условиях коррозионно-агрессивных сред» является полностью завершенной научно-

квалификационной работой, выполненной на высоком научно-техническом уровне. Результаты научного исследования отвечают поставленным целям.

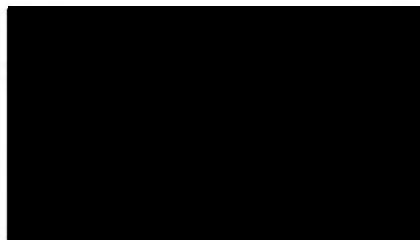
Считаем, что диссертационная работа Вагапова Р.К. в полной мере отвечает паспорту заявленной специальности 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» и соответствует критериям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

Автор диссертации Вагапов Р.К. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ».

Диссертация и отзыв были обсуждены и одобрены на заседании научно-технического совета Научно-технологического комплекса «Новые технологии и материалы» Национального исследовательского университета ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (Протокол №2 от «27» июля 2022 г.). Присутствовали 11 человек, из них 1 доктор наук и 4 кандидатов наук.

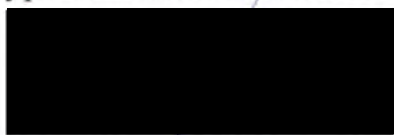
Даем согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Лауреат Премии Правительства РФ,
доктор технических наук, профессор



Б.С. Ермаков

Директор Научно-технологического комплекса «Новые технологии и материалы» Национального исследовательского университета ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»



Альхименко Алексей Александрович

Полное наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Адрес организации: Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, дом 29.

Телефон: +7 (812) 297-20-95

Адрес электронной почты: office@spbstu.ru

Веб-сайт организации:

https://www.spbstu.ru

