

## **Отзыв официального оппонента**

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

Диссертация изложена на 325 страницах, состоит из введения, шести глав, выводов, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы, насчитывающего 322 ссылки на работы отечественных и зарубежных авторов.

### **Актуальность темы диссертации**

Коррозионные разрушения инфраструктурных металлических объектов приносят существенный ущерб различным отраслям промышленности. Внутренняя коррозия является одной из основных причин повреждений на нефтегазовых объектах. Наличие  $\text{CO}_2$  и / или  $\text{H}_2\text{S}$  в добываемой и транспортируемой продукции в присутствии водной среды вызывает протекание сероводородной или углекислотной коррозий. Наиболее металлоемкой частью в нефтегазовой отрасли являются трубопроводы. Предметом многих коррозионных исследований были нефтяные объекты, эксплуатационные условия которых отличаются от добычи и транспортировки газа. Защита от внутренней коррозии газопромыслового оборудования и трубопроводов преимущественно разрабатывалась для  $\text{H}_2\text{S}$ -содержащих условий Астраханского ГКМ и Оренбургского НГКМ. В связи с широким освоением в последние десятилетия новых перспективных газовых объектов (Бованенковское, Уренгойское (ачимовские отложения) и др.) стала актуальной проблема защиты от углекислотной коррозии газопроводов месторождений. В связи с этим выбор автором в качестве предмета исследования закономерностей углекислотной коррозии и защиты от нее представляется логичным и актуальным. В качестве объектов исследования автор рассматривает газопроводы, которые будут эксплуатироваться в коррозионно-агрессивных средах не только в составе газосборных сетей, но и для других целей: при закачке  $\text{CO}_2$  в пласт при интенсификации газодобычи, на объектах подземного хранения газа, для отделения и захоронения  $\text{CO}_2$  и / или  $\text{H}_2\text{S}$  и др.

Как показал выполненный автором анализ, многие действующие газовые объекты отличаются присутствием повышенных количеств агрессивных компонентов флюида, поэтому предложенный в диссертации комплекс методов оценки эффективности ингибиторной защиты представляется актуальным для обеспечения безопасной и надежной работы газопроводов.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность**

Анализ опыта эксплуатации газопроводов, подвергающихся внутренней коррозии, позволил автору определить ограничения и недостающие элементы их противокоррозионной защиты. Для защиты в  $\text{CO}_2$  - и  $\text{H}_2\text{S}$ -содержащих средах автором был разработан комплекс методов для обеспечения работоспособности газопроводов, включающий:

- Способы оценки коррозионной агрессивности сред, содержащих  $\text{CO}_2$ ;
- Комплекс методов по проведению имитационных испытаний при оценке коррозионной агрессивности и эффективности средств ингибиторной защиты в условиях воздействия агрессивных газов;
- Обоснование и обновление технических требований к ингибиторам коррозии и критерии оценки их эффективности в рамках данных, получаемых при коррозионном мониторинге;
- Комплекс мер и последовательность шагов при выработке, внедрении и эксплуатации мер по обеспечению надежности газопровода в условиях присутствия коррозионно-активных компонентов в транспортируемых средах на протяжении всего жизненного цикла.

Существенное развитие получил методический подход к проведению коррозионных испытаний при оценке коррозионности сред и при подборе ингибиторов для защиты газопроводов, который носит цельный и комплексный характер. Он позволяет всесторонне исследовать коррозионную ситуацию для получения достоверных данных. Предложен и выполнен комплекс испытаний для TOL условий, которые являются основными наиболее коррозионно-опасными в газопроводе. Определено влияние основных эксплуатационных факторов, влияющих на TOL коррозию газопровода.

Получило развитие методическое обеспечение при проведении имитационных испытаний физическими методами испытаний (метод рентгеновской дифракции и хроматомасс-спектрометрия). Данные результаты позволяют повысить информативность получаемых в рамках коррозионного мониторинга данных по коррозионному состоянию газопроводов (анализ коррозионных осадков и отложений и влияния на них эксплуатационных условий, определение наличия ингибитора коррозии и его влияния на образование осадков).

Предлагаемые научные положения не вызывают возражений и представляются достоверными.

У оппонента нет принципиальных возражений против полученных автором результатов и сделанных выводов, поскольку большинство из них подтверждено результатами испытаний, прошло апробация и применяется при ингибиторной защите газопроводов от внутренней коррозии.

Можно поставить в заслугу автора то, что результаты, полученные им при выполнении диссертации, отражены в разработанных при его участии ключевых положениях государственных и корпоративных стандартах: 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». Их использование позволит повысить безопасность и надежность эксплуатации нефтегазовых объектов в условиях наличия коррозионно-агрессивных сред.

Необходимо отметить, что в результате проведенных исследований в государственные нормативные документы впервые были включены методы и критерии оценки коррозионной опасности, предложения по применению ингибиторной защиты и организации коррозионного мониторинга, важные для своевременного принятия мер защиты от внутренней коррозии, уже начиная с этапа проектирования работающих при повышенных давлениях газопроводов.

**Личный вклад** автора заключается в постановке задач исследования, планировании проведения и выборе методов исследования, обработке результатов исследования и их сопоставлении с эксплуатационными условиями, анализе большого количества литературы по теме диссертации, обобщении и систематизации полученных данных, разработке научного подхода к формированию и обоснованию взаимосвязи комплекса методов по обеспечению работоспособности газопроводов в коррозионных условиях, апробации основных положений диссертации.

### **Научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Предложенный автором комплексный подход к решению проблем по обеспечению надежности эксплуатации газопроводов в условиях транспортировки коррозионно-агрессивных сред имеет положения, которые подробно рассмотрены в разделах диссертации и которые последовательны, логичны и взаимосвязаны между собой.

Автором впервые в отечественной научной практике так широко определены и рассмотрены закономерности и условия развития коррозионных повреждений и влияние основных факторов (условия конденсации влаги) применительно к эксплуатационным условиям газопроводов месторождений РФ. Важную практическую и научную значимость имеют зависимости скорости локальной коррозии при конденсации влаги от парциального влияния

CO<sub>2</sub>, влажности, концентрации спирта и гликоля и других факторов, которые подтверждены по результатам испытаний.

Проведенные автором исследования позволили расширить научно-методические основы экспериментальных способов моделирования условий при проведении коррозионных испытаний в имитационных условиях газопровода. Выбранные для испытаний методы (гравиметрические, электрохимические и др.) взаимно дополняют друг друга и повышают достоверность получаемых результатов. Проведена их апробация, в процессе которой использованы не вовлеченные ранее широко в лабораторную практику физические методы испытаний. Подтверждена возможность применения газовой хроматомасс-спектрологии для определения состава ингибитора коррозии. При помощи метода рентгеновской дифракции определено влияние эксплуатационных факторов и ингибитора на состав продуктов коррозии. Подтверждено образование нестехиометрического сидерита (CaMgFe)CO<sub>3</sub>, защитные свойства которого будут отличаться от FeCO<sub>3</sub>, обладающего изоструктурностью. Установлено образование метастабильного FeS (кубического), который образуется одновременно с макинавитом, FeS (тетрагональным), что будет сказываться на защитных свойствах пленки продуктов коррозии последнего. Таким образом подтверждена правильность выбора автором в качестве модельных растворов многокомпонентных водных сред (конденсационных или пластовых) вместо широко применяемого другими исследователями растворов NaCl.

Полученные автором результаты подтверждают возможность корректной оценки опасности коррозионно-активных сред и эффективности средств защиты от них для последующего рационального подбора оптимальных технических решений по их реализации на газопроводах.

Анализ результатов проведенных ТОЛ испытаний дал возможность определять условия и особенности эксплуатации наиболее опасных участков газопроводов в условиях развития локальных дефектов. Автором предложены решения по ранжированию газопроводов по степени агрессивности транспортируемых по ним сред.

Автором в ходе выполнения диссертации были 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.

С использованием результатов исследований автора на ряде объектов с углекислотной коррозией были внедрены и используются для защиты газопроводов ингибиторы и коррозионный мониторинг.

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты работы следует использовать на различных этапах проектирования и эксплуатации газовых объектов с коррозионно-осложненными условиями присутствия агрессивных  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$  в добываемой и транспортируемой продукции. Внедрение разработанных автором решений по организации ингибиторной защиты и коррозионного мониторинга газопроводов обеспечит их работоспособность в условиях коррозионных сред.

Комплекс разработанных при участии автора государственных и корпоративных стандартов должен обеспечить необходимое научно-методическое и нормативно-техническое сопровождение вышеуказанных работ, поскольку эти нормативные документы охватывают основные области и условия при оценке коррозии, использовании ингибиторов и коррозионного мониторинга.

### **Основное содержание диссертационной работы**

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формируется цель и основные задачи выполнения работы, показана научная новизна и практическая значимость результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен литературный анализ опыта эксплуатации и современное состояние сухопутных и морских нефтегазовых объектов в условиях воздействия коррозионных компонентов, а также эффективных способов их защиты.

Во второй главе автором рассмотрены методы анализа и обработки исходных данных по эксплуатационным условиям, влияющим на достоверность оценки степени опасности агрессивных сред по отношению к газопроводу (по результатам имитационных испытаний).

В третьей главе выработаны критерии оценки агрессивности эксплуатационных сред и проведен сравнительный анализ применимости способов защиты газопроводов с целью обеспечения их надежности при эксплуатации.

В четвертой главе автор рассмотрел технические требования (защитные и технологические параметры), технологии применения и система оценка эффективности применения ингибиторов коррозии, получившего наибольшее применение для защиты газопроводов из углеродистой /низколегированной сталей, а также решениям по мониторингу их эффективности.

Пятая глава посвящена научно-методическим аспектам проведения испытаний по определению и оценке агрессивности сред, подбору ингибиторов. Для определения эффективности ингибиторов используется поэтапный подход и комплекс коррозионных испытаний: лабораторные, автоклавные (или стендовые) и эксплуатационные испытания. Для проведения лабораторных испытаний применяется разработанный при участии автора корпоративный стандарт, который включает полное описание процедур

проведения испытаний, адаптированных для условий газовых объектов. Они согласуются и соответствуют основным техническим требованиям к ингибиторам, приведенным в главе 4.

В шестой главе рассмотрены разработанные решения по оценке основных аспектов обеспечения работоспособности газопроводов и нормативного регулирования по контролю процессов их разрушения и эффективности применяемых средств защиты.

В заключении автор приводит основные научные и практические результаты диссертации.

#### **Замечания по работе:**

1. Стр. 74 и рис.22А. В тексте указано: особенно сильному снижению подвергается давление (Р) со временем эксплуатации трубопровода (рисунок 2.2А), но на рисунке видно, что давление повышается.

2. Стр. 85. Автор пишет: «Работы иностранных авторов отражают результаты исследований для эксплуатационных условий зарубежных газопроводов, прямой перенос их на отечественные объекты без оценки отличий факторов, режимов работы, технических и технологических решений был бы ошибочным». Необходимо было показать, в чем заключаются указанные отличия и что они существенно влияют на закономерности углекислотной коррозии трубных сталей. Например, в чем недостатки документа NACE SP0775-2018.

3. Выводы главы 2. Не рассмотрено влияние переноса твердых частиц потоком флюида, хотя фактор эрозии защитного слоя карбонатных продуктов коррозии на стенке трубы может иметь важное значение.

4. Глава 3. Автор справедливо отмечает важность определения скоростей общей и локальной коррозии по данным коррозионного мониторинга для оценки коррозионной агрессивности среды, но при этом в работе нет сопоставления результатов имитационных испытаний со значениями скоростей коррозии трубопровода в условиях эксплуатации.

5. В разделе 4.4 (коррозионный мониторинг) даны скорости коррозии, определенные с помощью купонов, датчиков электросопротивления и поляризационного сопротивления (табл. 4.8 и 4.9), но при этом не изучены причины расхождения в показаниях датчиков и, следовательно, не определены области их применения.

6. Глава 6. При расчете скорости коррозии в соответствии с ур. (6.3) учитывается всего 2 параметра (температура и минерализация среды), что явно недостаточно для описания такого сложного процесса, как углекислотная коррозия. Лучший результат прогноза, полученный по (6.3), по сравнению с моделью стандарта NORSOK M-506 (ур. 6.9), связан, возможно, с тем, что ур.(6.9) дано в диссертации с ошибкой.

7. В работе мало внимания уделено такому опасному виду коррозии как водородное охрупчивание или коррозионное растрескивание, инициируемое водородом. Было бы желательно включить в критерии оценки коррозионной

агрессивности среды и оценки эффективности ИК параметры (показатели), характеризующие этот вид коррозионного разрушения трубных сталей.

### **Оформление диссертации, публикации**

В структуре диссертации содержатся все необходимые этапы в последовательности научного исследования, результаты достаточно хорошо представлены в 31 рисунке и 51 таблице.

Оформление работы выполнено в соответствии с необходимыми правилами.

Автореферат дает адекватное представление о выполненных исследованиях и полученных выводах и соответствует основному содержанию диссертационного исследования. Результаты диссертации полностью отражены 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 российских и международных конференциях по теме диссертации.

### **Соответствие диссертации научной специальности**

Цель и задачи диссертации Вагапова Р.К. полностью соответствуют паспорту специальности 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ»:

- Разработка и оптимизация методов проектирования, сооружения и эксплуатации сухопутных и морских нефтегазопроводов, нефтебаз и газонефтехранилищ с целью усовершенствования технологических процессов с учетом требований промышленной экологии;
- Разработка и усовершенствование методов эксплуатации и технической диагностики оборудования насосных и компрессорных станций, линейной части трубопроводов и методов защиты их от коррозии.

### **Заключение**

Несмотря на высказанные замечания, они не затрагивают основных положений и выводов диссертации и не снижают ее общую положительную оценку.

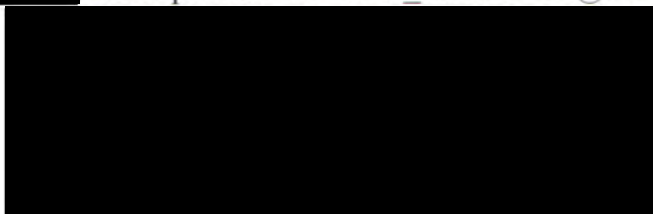
Диссертация Вагапова Руслана Кизитовича «Разработка комплексных методов обеспечения работоспособности газопроводов в условиях коррозионно-агрессивных сред» соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2014 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ».

Я, Маршаков А.И., даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку в соответствии с требованиями Минобрнауки России.

**Официальный оппонент:**

Маршаков Андрей Игоревич – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории коррозии металлов в природных условиях ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук»

Адрес: 119071, г. Москва, Ленинский пр-т., д. 31, корп. 4, телефон: [REDACTED]  
[REDACTED] электронная почта: a\_marshakov@mail.ru



Маршаков Андрей Игоревич



«Подпись Маршакова Андрея Игоревича заверяю»

Ученый секретарь ИФХЭ РАН, к.х.н.

«31» 08 2022 г.