

О Т З Ы В

**официального оппонента кандидата технических наук
Алексеевой Марии Сергеевны
на диссертацию Наконечной Ксении Васильевны
«Гидроабразивное изнашивание промышленных трубопроводов
коррозионно-активной промышленной среды»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
2.5.3 – Трение и износ в машинах**

1. Актуальность темы диссертационного исследования

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения доли трудно извлекаемых запасов. При этом для увеличения интенсификации добычи нефти используются гидроразрыв пласта и увеличение депрессии на пласт. Но, как показывает практика, эти операции сопровождаются повышенным выносом частиц породы и высоким уровнем гидроабразивного износа погружного оборудования и промышленных трубопроводов. Кроме того, для промышленных трубопроводов коррозионная активность перекачиваемой среды и необходимость проведения очистных операций полости трубопровода вызывают усиление абразивного износа. Эксплуатационные факторы, включающие изнашивание, деградацию свойств защитного покрытия, коррозию труб, вызывают разгерметизацию промышленных трубопроводов, что приводит в итоге к аварийным ситуациям. Поэтому необходима оценка риска разгерметизации трубопровода, что, в свою очередь, требует оценки ресурса внутреннего покрытия и металла трубы в зависимости от условий эксплуатации. Существующие средства оценки ресурса, основанные на способах внутритрубного неразрушающего контроля и толщинометрии, как показывает опыт эксплуатации промышленных трубопроводов, недостаточны. Поэтому встала острая потребность в разработке комплексной расчетно-экспериментальной методики, позволяющей на основе данных испытаний (том числе и лабораторных) учесть вклад изнашивающих, гидродинамических и коррозионных факторов в разгерметизацию промышленных трубопроводов и с учетом комплекса факторов оценить их ресурс. Последнее позволяет рассматривать диссертацию Наконечной К.В. как работу, решающую важную и актуальную научно-практическую проблему.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Наконечной К. В. состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 97 наименований и 2 приложений, отражающих применение результатов работы, которые содержатся в отчете по целевому заданию промышленного предприятия. Общий объем работы составляет 126 страниц, включая 25 иллюстраций, 33 таблицы, список литературы из 97 наименований.

Во введении сформулирована актуальность, степень проработанности темы научного квалификационного исследования; отражены цель и задачи работы, научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость, достоверность результатов и выводов работы. Описана методология научных исследований; сформулированы положения, выносимые на защиту и личный вклад соискателя в представляемые итоги работы.

В первой главе описано современное состояние проблемы, включающей вклад гидроабразивного изнашивания в работоспособность промышленных трубопроводов, а также методы повышения износостойкости материалов трубопроводов. Отмечается, что современное состояние технологических процессов добычи нефти характеризуется увеличением содержания механических примесей в перекачиваемой среде и усилением изнашивания внутренних поверхностей труб, негативное влияющих на увеличение риска разгерметизации промышленных трубопроводов.

Большую часть главы составляет описание методов повышения износостойкости материалов трубопроводов и их испытаний на износостойкость. Подробно рассмотрены эксплуатационные и технологические факторы воздействий на внутреннюю полость промышленного трубопровода, вызывающие его износ.

Основываясь на результатах анализа научных исследований в области трения и износа материалов трубопроводов и условий их реальной эксплуатации сформулирована цель работы, основу которой составляет разработка методики оценки ресурса трубопроводов с внутренними полимерными покрытиями, эксплуатируемых в условиях гидроабразивного изнашивания в коррозионно-активной промышленной среде.

Поставленная цель достигнута в итоге решения задач, включающих комплекс методов лабораторных испытаний, исследование износостойкости полимерных покрытий труб и конструкционного материала трубы при действии гидроабразивного потока и очистных устройств и разработку расчётно-экспериментальной методики оценки ресурса промышленных трубопроводов.

Вторая глава посвящена описанию методик экспериментальных исследований. Для оценки ресурса трубопроводов при воздействии гидроабразивного потока предложен комплексный метод испытаний на гидроабразивное изнашивание, включающий выявление вклада в износ внутреннего покрытия операций по очистке полости трубопровода от солевых отложений и асфальто-смоло-парафинистых отложений, деградацию свойств внутреннего покрытия в результате сброса давления (декомпрессии) и агрессивным воздействием промышленных сред, вклад коррозии металла труб под действием коррозионно-активной промышленной среды.

Подробно описаны факторы снижения работоспособности труб в условиях реальной эксплуатации, что позволило автору обоснованно сформировать структуру исследования и выделить основные значащие критерии экспериментальной оценки. Проведен анализ значимости факторов и их ранжирование, что было использовано при составлении матрицы полного факторного эксперимента. В результате детального анализа влияющих факторов были получены расчетные зависимости для определения коэффициента снижения эксплуатационных свойств внутреннего покрытия и материала трубы за фактическое время эксплуатации.

Для каждого значимого фактора, влияющего на эксплуатационные характеристики покрытия и материала трубы, автором обоснованы методы исследования и детально описаны их суть.

В целом, приведенный методический аспект диссертационной работы свидетельствует о высоком уровне квалификации автора, умении глубоко профессионально обосновывать условия проведения экспериментальной части исследовательской работы.

В третьей главе представлены основные результаты экспериментальных исследований на гидроабразивное изнашивание по модифицированной методике ASTM G65 и СТО ТЭКЕРТ 4.2-2015, результаты экспериментальной оценки степени снижения адгезионной прочности сцепления полимерных покрытий с металлом труб под действием эксплуатационных факторов и рассмотрено влияние коррозионной среды на развитие

процесса разгерметизации трубопровода. На основе полученных экспериментальных данных разработаны расчетные зависимости по определению скорости разрушения металла труб и полимерных покрытий под действием изнашивающих и коррозионных факторов промышленной среды.

На основе обработки большого числа экспериментальных данных получены зависимости для расчета удельной скорости гидроабразивного изнашивания труб из сталей 20А и 09Г2С при эксплуатации в промышленных средах, а также зависимости для расчета скорости коррозии труб из этих сталей.

Особо следует отметить важные положения диссертационной работы, констатирующие, что с использованием полученных уравнений для расчета скорости гидроабразивного изнашивания и коррозионного разрушения металла труб представляется возможность прогнозирования ресурса промышленных трубопроводов без внутреннего покрытия в зависимости от фактического состава промышленной среды, содержащей абразивные примеси и коррозионно-активные компоненты. При этом подчеркивается, что выбросы абразива приводят к резкому усилению процесса разрушения внутренних поверхностей трубопроводов, которые в несколько раз превышают вклад коррозионного процесса, что требует корректировки сроков технической диагностики промышленных трубопроводов.

В четвертой главе представлено описание методики расчета ресурса промышленных трубопроводов.

В основу подхода к оценке ресурса трубопроводов использовалось разработанное дерево отказов, с помощью которого составлен алгоритм расчета и, соответственно, разработана расчетно-экспериментальная методика оценки ресурса промышленного трубопровода, которая обеспечивает практическое применение СП 366.1325 00.2017 «Промысловые трубопроводы. Оценка технических решений на основе анализа риска».

Методика оценки ресурса складывается из нескольких этапов: определения агрессивных факторов, действующих на покрытие в процессе эксплуатации трубопровода; сбора информации для формирования перечня исходных данных для расчета; аналитической оценки величины агрессивных факторов; расчета коэффициента снижения эксплуатационных свойств в зависимости от типа применяемого покрытия; аналитического расчета ресурса внутреннего покрытия и стального трубопровода; на основе экспериментальных данных проводится учет действия коррозионной агрессивности транспортируемой среды; объединения учетных характеристик, позволяющего оценить ресурс промышленного трубопровода.

Успешная апробация предложенной методики была достигнута при разработке Классификатора внутренних покрытий промышленных трубопроводов, разработанного по заказу ПАО «Газпром нефть».

В заключении, общих выводах и рекомендациях приведены основные научные результаты исследования, полученные в соответствии с поставленными в диссертации целью и задачами, а также выводы и предложения автора.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Автором диссертации выполнен критический обзор и анализ научных исследований в области изнашивания материалов промышленных трубопроводов и факторов, определяющих их безопасную эксплуатацию. Глубокое понимание проблемы позволило автору с позиций научно-практических критериев обосновать цель и задачи исследования, выделить методический подход к решению поставленных задач. Положения, выносимые

на защиту, логично, обоснованно сформулированы и подтверждены результатами экспериментальных и теоретических разработок.

4. Достоверность полученных результатов

Результаты диссертационной работы, основные выводы и рекомендации имеют научную и теоретическую составляющую, а также имеют выраженную практическую направленность и значимость. Их достоверность подтверждается применением в практике эксплуатации промышленных трубопроводов. Кроме того, достоверность полученных в диссертации результатов исследований обеспечивается корректным проведением экспериментальных исследований, повторяемостью значений, полученных на 3-5 параллельно выполненных испытаниях, применением стандартизированных средств измерений (прошедших государственную поверку) и обработкой в соответствии с классическими положениями математической статистики.

5. Научная новизна результатов диссертационной работы

Научную новизну представленного исследования составляют

1. Предлагаемый автором методологический системный подход к решению задач исследования, включающий экспериментальное определение наиболее важных параметров, влияющих на уровень гидроабразивного изнашивания, получение на их основе расчетных зависимостей и последующей проверке их адекватности путем проведения повторных экспериментов в исследованном диапазоне значимых факторов.
2. Закономерности изменения скорости гидроабразивного изнашивания полимерных защитных покрытий и стальных поверхностей промышленных труб в зависимости от концентрации абразива в среде, скорости движения потока и давления в трубопроводе, коррозионной активности среды.
3. Аналитические зависимости коэффициентов изнашивания и степени повреждения покрытий от эксплуатационных факторов в условиях гидроабразивного изнашивания в коррозионно-активной среде.

6. Значимость полученных результатов для науки и практики

Теоретическая значимость работы состоит в обосновании системного методологического подхода для изучения многофакторного процесса гидроабразивного изнашивания в коррозионно-активной среде при эксплуатации промышленных трубопроводов. Разработан комплекс расчетных зависимостей, позволяющих оценить ресурс промышленного трубопровода с внутренним полимерным покрытием на разных этапах эксплуатации в промышленных средах с широким диапазоном разрушающих факторов.

Практическая значимость работы состоит в разработке расчетно-экспериментальной методики оценки ресурса промышленного трубопровода с внутренним полимерным покрытием, учитывающая вклад изнашивающего действия гидроабразивного потока, истирающего действия очистных устройств, снижения адгезионной прочности сцепления внутреннего полимерного покрытия и коррозии металла труб при длительном контакте с промышленными средами.

7. Полнота изложения материалов диссертации в открытой печати

Апробация квалификационной работы прошла на 13 международных и всероссийских научно-практических конференциях. Опубликованные и доложенные на конференциях материалы достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

Результаты работы в полной мере отражены в 17 печатных работах, из них в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК - 4, в изданиях, включенных в международную базу данных Scopus и Web of Science - 3. Содержание диссертации достаточно полно изложено в автореферате и в опубликованных работах, личный вклад автора подтвержден. Имеются ссылки на авторов и источники заимствования.

8. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация Наконечной Ксении Васильевны «Гидроабразивное изнашивание промышленных трубопроводов коррозионно-активной промышленной средой» соответствует паспорту научной специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах по следующим пунктам: п.3 – Закономерности различных видов изнашивания и поверхностного разрушения; п.7 – Триботехнические свойства материалов, покрытий и модифицированных поверхностных слоев.

9. Соответствие автореферата и диссертации установленным требованиям

Структура и оформление диссертации и автореферата соответствуют ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы и отражает ее основные положения.

10. Замечания по диссертационной работе

1. В цели работы обозначена разработка методики оценки ресурса промышленных трубопроводов, а сама работа имеет явно выраженное практическое назначение. Поэтому имело бы смысл отдельным приложением представить конкретную методику, оформленную четко, по соответствующим строгим требованиям, а не ограничиваться только описанием алгоритма оценки ресурса.

2. В работе нечетко представлено учет различий данных коррозионных испытаний в статических условиях и их возможный уровень для динамических условий эксплуатации.

3. Имеется много неточностей, требующих редакционных правок.

Высказанные замечания в основном носят факультативный характер и не изменяют высокой оценки выполненного диссертационного исследования.

11. Рекомендации по диссертационной работе

В работе исследуются закономерности гидроабразивного изнашивания покрытий и сталей, из которых изготовлены трубы. Установленные уровни изнашивания и факторы, их определяющие, характеризуют триботехнические свойства конструкционных материалов и покрытий. При этом в практике эксплуатации применяются разные стали и разные покрытия. Поэтому для обоснования выбора материала стали и соответствующего материала покрытия необходимо иметь представления не только об уровне их разрушения при контактных взаимодействиях, но и о механизме разрушения и процессах структурно-фазовых превращений в зоне поверхностного разрушения, определяющих характеристики свойств материалов. Эти данные важны для более широкого внедрения результатов работы и рекомендаций для заводов изготовителей промышленных труб с целью корректировки качества материала труб и особенно покрытий.

12. Заключение по диссертационной работе

Диссертация Наконечной Ксении Васильевны «Гидроабразивное изнашивание промышленных трубопроводов коррозионно-активной промышленной средой» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной задачи усовершенствования методик лабораторных испытаний с учетом вклада изнашивающих, гидродинамических и коррозионных факторов в разгерметизацию промышленных трубопроводов и разработка расчетно-экспериментальной методики оценки их ресурса. Работа выполнена автором самостоятельно на достаточно высоком методическом и научном уровне. Наконечная К.В. проявила себя квалифицированным специалистом в области решения триботехнических задач применительно к условиям эксплуатации промышленных трубопроводов.

Содержание автореферата диссертации Наконечной К.В. соответствует ее содержанию и охватывает полный спектр вопросов тематики исследования. Диссертация и автореферат написаны доступным языком, текст сформирован логично и имеет строгую последовательность изложения, содержит ссылки на заимствованные источники.

Диссертация Наконечной Ксении Васильевны «Гидроабразивное изнашивание промышленных трубопроводов коррозионно-активной промышленной средой» выполнена в соответствии с требованиями «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Наконечная Ксения Васильевна достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук (05.02.01 – *Материаловедение (машиностроение)*),
заместитель начальника лаборатории металлофизических исследований
НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ
Тел. +7 (495) 263-87-75
e-mail alekseeva_ms@list.ru

 Алексеева Мария Сергеевна

«31» 08 2022 г.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ), 105005, г. Москва. ул. Радио, д. 17, priem@viam.ru, +7(495)263-85-43

Подпись *Алексеевой Марии Сергеевны* удостоверяю,

Ученый секретарь «Ученого совета»
к.т.н., доцент



 Свириденко
Данила Сергеевич