

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук **Тигулева Егора Александровича** на диссертацию **Алёхина Алексея Игоревича** на тему: «Обоснование метода программного индентирования для оценки остаточного ресурса нефтегазопроводов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время вопросам оценки прочности и долговечности участков нефтегазопроводов уделяется большое внимание. Это связано с необходимостью постоянного поиска оптимальных решений по ремонту и замене участков трубопроводов в части обеспечения надежности транспортировки углеводородного сырья, а также экономической эффективности капитальных вложений в ремонт. Постоянный поиск баланса между надежной эксплуатацией и экономической обоснованностью проведения ремонтов участков приводит к развитию средств и методов оперативной диагностики и прогнозирования ресурса. Указанные методы базируются на результатах диагностики трубопроводов, как внутритрубной, так и внешней, а также на статистических и детерминированных методах оценки остаточного ресурса участков с выявленными дефектами.

Вместе с тем, основные инженерные методы расчета используют либо паспортные данные участков трубопроводов, либо измеряют их фактические механические характеристики, заложенные в основу всех расчетных алгоритмов определения остаточного ресурса. Такой подход не учитывает проблематику деградации и изменения физико-механических характеристик трубных сталей в процессе эксплуатации под действием транспортируемого продукта, нагрузок на металл трубопровода и внешних условий эксплуатации. При этом из более чем 250 тысяч километров магистральных трубопроводов, а также более чем 500 тысяч километров технологических трубопроводов, эксплуатируемых в Российской Федерации, паспортный срок эксплуатации превышен для более чем 50 процентов, что является существенным вызовом

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-116 от 10.09.25
АУ УС

как для обеспечения надежности транспортировки, так и для сохранения технико-экономических моделей обеспечения регионов Российской Федерации и её торговых партнеров углеводородным сырьем.

В связи с этим диссертационная работа Алёхина А.И., направленная на обоснование применения метода программного индентирования для определения фактических механических характеристик и остаточного ресурса, является безусловно актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений.

Соискателем выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований по применению программного индентирования для определения фактических механических характеристик образцов разных трубопроводных сталей, а также верификация результатов измерений и определенной расчетным методом трещиностойкости со стандартными испытаниями образцов на трещиностойкость.

Автором в рамках диссертационной работы выявлена и математически показана взаимосвязь между истинным напряжением разрыва, полученным при испытаниях методом вдавливания индентора в поверхность металла трубопровода, и параметром скорости деформации с температурной компенсацией, учитывающим комплексное воздействие температуры и скорости нагружения на охрупчивание материала.

Практические и научные аспекты, положения и выводы сформулированы на основании известных математических зависимостей, а также на основании экспериментальных исследований. Технологические особенности проведения экспериментальных исследований и расчетов приняты в соответствии с материалами государственных и отраслевых нормативных и технических документов, результаты работы не противоречат

результатам научных исследований ученых в области расчетов остаточного ресурса и определения трещиностойкости трубопроводных сталей.

Основные результаты работы прошли апробацию в обсуждении докладов на следующих международных и всероссийских конференциях: Международная научно-практическая конференция «Модели и методы повышения эффективности инновационных исследований» 2022 г. в г. Екатеринбург; Международная научно-техническая конференция «Развитие науки, образования и технологий» 2023 г. Калуга; XIX Международная научно-практическая конференции «Трубопроводный транспорт – 2024. г. Уфа; Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы разработки и интеграции современных технологий» 2025 г. г. Новосибирск; Международная научно-практическая конференция «Научная инициатива. Проблемы и перспективы внедрения инновационных решений» 2025 г. г. Омск.

Тема диссертации и полученные научные результаты соответствуют паспорту научной специальности 2.8.5 «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» по пункту 4.

3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научна новизна диссертационной работы не вызывает сомнений и заключается в следующем:

- выполнена оценка и экспериментально обоснована точность определения механических характеристик металла трубопровода, в том числе параметров трещиностойкости, по результатам испытаний программным индентированием на приборе Frontics AIS 3000 HD, которая позволит применять указанный метод для расчета прочности и долговечности участка нефтегазопровода;

- математически показана связь истинного напряжения разрыва, определенного по результатам испытаний на вдавливание индентора в поверхность металла трубопровода, с параметром скорости деформации с

температурной компенсацией, который учитывает вклад как температуры, так и скорости нагружения в охрупчивание.

Достоверность полученных Алёхиным А.И. результатов диссертационного исследования подтверждается высокой степенью корреляции между полученными результатами экспериментов по программному индентированию и стандартными испытаниями образцов того же металла. Результаты получены с применением общепризнанных математических методов обработки информации, а также подтверждены корректностью теоретического обоснования, сравнением с данными, приведенными в научных исследованиях и нормативных документах.

4. Научные результаты, их ценность

Разработанные соискателем теоретические положения и алгоритмы значимы для оценки технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов на основе модифицированного закона Пэриса-Эрдогана. Ценным результатом стало аналитическое определение параметров роста трещин через структурные и энергетические характеристики материала, что устранило необходимость проведения масштабных испытаний для каждого конкретного случая. Теоретический подход был дополнен термодинамической теорией прочности, что обеспечило физическую обоснованность получаемых результатов.

Автором предложен оригинальный метод определения температуры хрупкости металла нефтегазопроводов, связывающий истинное напряжение разрыва и параметр скорости деформации с температурной компенсацией, определяемые по результатам испытаний на вдавливание индентора в поверхность трубопровода, что позволяет более оперативно и точно по сравнению с традиционными методами оценить температуру вязко-хрупкого перехода металла нефтегазопроводов в условиях различных температур и нагрузок.

В диссертационной работе Алёхина А.И. подтверждена целесообразность применения программного индентирования для оперативного определения

механических характеристик сталей трубопровода на основе сравнения со стандартными методами испытаний.

В диссертации показано, что применение метода программного индентирования помогает выполнить достоверную оценку критического коэффициента трещиностойкости металла и остаточного ресурса участков трубопроводов, подверженных циклическим нагрузкам.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Предложенные соискателем алгоритмы применения программного индентирования, а также основанные на результатах индентирования положения методики оценки остаточного ресурса участка трубопровода могут быть использованы для оперативного определения долговечности участка трубопровода с дефектом, а также планирования мероприятий по его ремонту. Развитие методов, предложенных в диссертационной работе, может быть использовано при экспресс-анализе различных классов материалов с применением элементов машинного обучения для обработки данных.

Важно, что полученные материалы и результаты диссертационной работы будут использованы при разработке обновленных методических рекомендаций по оценке механических свойств металла трубопровода в процессе эксплуатации и методических рекомендаций по оценке остаточного ресурса элементов трубопровода с использованием неразрушающих методов на базе инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» (акт о внедрении результатов диссертации от 11.06.2025).

Кроме того, полученные автором результаты кандидатской диссертации могут быть рекомендованы для применения нефтегазовым компаниям, оказывающим услуги в области диагностики нефтегазопроводов, а также в качестве научной работы, которая может быть использована для развития образовательного процесса при подготовке специалистов по направлению «Нефтегазовое дело».

6. Оценка содержания диссертации, степень ее завершенности

Текст диссертационной работы написан лаконично, специализированным научно-техническим стилем с использованием профильной терминологии. Соискателем реализован комплексный подход к решению поставленных задач с обоснованным применением математического аппарата, прослеживаемыми выводами. Результаты и выводы в отношении защищаемых соискателем положений подкреплены экспериментальными исследованиями, сопровождаются достаточным графическим и иллюстрационным материалом. Математические зависимости и модели представлены с обоснованием, пояснениями, расшифровкой переменных величин и единиц измерения.

Автором выполнен системный анализ современных методов определения механических свойств металлов на основе индентирования, а также методов оценки остаточного ресурса на основе показателей трещиностойкости. Анализ выполнен по данным отечественных и зарубежных источников, нормативной и технической документации, проанализированы понятия «пластические деформации», «деградация свойств», «остаточный ресурс».

При разработке и обосновании научных положений соискателем проанализированы и учтены разработанные ранее другими учеными научно-практические подходы по определению физико-механических свойств металлов, определению остаточного ресурса участков трубопроводов. Представлен критический анализ существующих методов индентирования, позволяющий подчеркнуть преимущества применения программного индентирования для оперативной оценки фактических механических свойств трубных сталей без вырезки образцов.

Предложена методика использования результатов программного индентирования для оценки остаточного ресурса участков трубопроводов без остановки эксплуатации. В целях верификации результатов автором спланированы и проведены экспериментальные исследования по определению

характеристик прочности и трещиностойкости образцов металла нефтегазопровода при статическом нагружении по ГОСТ 25.506-85 и методом программного индентирования.

Достоинством работы следует считать полученные соискателем результаты, позволяющие определять температуры хрупкости металла нефтегазопроводов. Оперативный контроль вязко-хрупкого перехода металла нефтегазопроводов в условиях различных температур и нагрузок позволит дополнительно оценивать участки нефтегазопроводов с выявленными дефектами на предмет приоритетности их ремонта.

Таким образом, в диссертационной работе решен комплекс научно-технических задач, связанных с оценкой применимости программного индентирования для определения механических свойств участка трубопровода в условиях его напряженного состояния и деградационных процессов, обусловленных уникальными условиями его эксплуатации. Указанные данные без необходимости вырезки образцов для испытаний позволят существенно увеличить базу знаний в области деградации механических характеристик трубопроводных сталей и сварных элементов.

Диссертация обладает научной новизной, практической и теоретической ценностью, содержит материалы исследований, свидетельствующие о корректном решении научных задач, является завершенной научно-квалификационной работой.

Основные положения диссертационной работы в достаточном объеме опубликованы в открытой печати. По теме диссертации опубликовано 5 научных работ, в том числе 2 работы в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 2 публикации, входящие в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Опубликованные работы соответствуют теме диссертации и в достаточном объеме отражают ее содержание.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.8.5. «Строительство и эксплуатация газонефтепроводов, баз и хранилищ».

7. Замечания и рекомендации по диссертационной работе

По диссертации и автореферату имеются следующие замечания:

1. В тексте диссертации не приводится подробный порядок проведения полевых измерений с применением оборудования для программного индентирования, включая процессы подготовки поверхности к контролю, необходимая и достаточная степень чистоты поверхности, а также шаг проведения измерений индентором для расчета остаточного ресурса участка.

2. В тексте диссертации подробно описывается индентирование бездефектного участка трубопровода или образцов с искусственным дефектом, при этом существенным практическим эффектом при эксплуатации трубопроводов стала бы оценка механических характеристик металла трубопровода в районе реальных выявленных дефектов разного типа (сварные, коррозионно-механические, механические). При этом наличие выявленного дефекта также может оказывать влияние на физико-механические свойства участка и, соответственно, на остаточный ресурс.

3. В обосновании актуальности целесообразно было бы указать влияние различных механизмов деградации металла, возникающих при эксплуатации трубопроводов, на результаты измерения механических характеристик при помощи программного индентирования.

4. При экспериментальном обосновании в Главе 3 было бы важно привести дополнительно результаты индентирования классическими методами (Виккерс, Бринелль) на тех же образцах для обоснования применения метода программного индентирования, как более точного.

5. Зависимости предела прочности и предела текучести от уровня накопления усталостных напряжений на образцах стали 09Г2С (на ребре и на поверхности), указанные на рисунках 3.5 и 3.6, не детализированы в части того, к какой поверхности относится результат измерения (ребро или поверхность). Кроме того, необходимо уточнить, каким образом специфика

физико-механических свойств слоев проката будет влиять на измерения программным индентированием для действующих участков нефтегазопроводов.

6. В качестве пожелания для развития работы предлагается реализовать предлагаемую технологию на практике, и на основе данных опытно-промышленных испытаний провести адаптацию и уточнение разработанных решений, а также провести анализ временных и финансовых затрат на внедрение метода в сравнении с традиционными подходами.

Указанные замечания не снижают научную и практическую ценность диссертации, которая является оригинальной законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему.

8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертация Алёхина Алексея Игоревича является законченной научно-квалификационной работой, все защищаемые положения диссертации прошли апробацию на международных конференциях, по теме исследования опубликовано 5 научных трудов, из них в изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК) – 2, в международных реферативных базы данных и системах цитирования Scopus, Web of Science – 2, получен 1 патент на изобретение.

Диссертация «Обоснование метода программного индентирования для оценки остаточного ресурса нефтегазопроводов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ, полностью соответствует требованиям раздела 2 «Положения присуждения учёных степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

от 20.05.2021 № 953 адм, а её автор – Алёхин Алексей Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

Я, Тигулев Егор Александрович, даю свое согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

Официальный оппонент

Начальник отдела,
Отдел информационной поддержки научной
и производственной деятельности,
ООО «НИИ Транснефть»,
Кандидат технических наук по
Специальности 2.8.5. «Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ»

Тигулев Егор Александрович

«08» сентября 2025 г.

Подпись Тигулева Е.А. заверяю

Начальник отдела кадров ООО «НИИ Транснефть» В.И. Занько

Сведения об официальном оппоненте:

Общество с ограниченной ответственностью

«Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта»

Адрес: Россия, г. Москва, Севастопольский проспект, д. 47а, 117186

Официальный сайт в сети Интернет: niitn.transneft.ru

Эл. почта: tigulevea@niitnn.transneft.ru

Телефон: +7(495) 950-82-95