

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.11
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.09.2025 № 9

О присуждении Алёхину Алексею Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обоснование метода программного индентирования для оценки остаточного ресурса нефтегазопроводов» по специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ принята к защите 18.07.2025, протокол заседания № 6, диссертационным советом ГУ.11 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 03.07.2023 № 1024 адм, с изменениями от 31.08.2023 № 1193 адм, от 05.09.2023 № 1227 адм, от 03.06.2025 № 676 адм.

Соискатель, Алёхин Алексей Игоревич, 12 ноября 1997 года рождения, в 2021 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело.

С 01.10.2021 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры транспорта и хранения нефти и газа, организации и управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация Алёхина Алексея Игоревича выполнена на кафедре транспорта и хранения нефти и газа в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Щипачёв Андрей Михайлович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра транспорта и хранения нефти и газа, профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

Пермяков Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», кафедра «Техносферная безопасность», профессор кафедры;

Тигулев Егор Александрович – кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта», отдел информационной поддержки научной и производственной деятельности, начальник отдела; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет»**, г. Самара, в своем положительном отзыве, подписанном Стефанюк Екатериной Васильевной, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Трубопроводный транспорт», и утвержденном Ереминым Антоном Владимировичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе указала, что теоретическая значимость исследования обусловлена установлением количественной взаимосвязи между прочностными характеристиками материала, определяемыми методом индентирования (истинное напряжение разрыва), и параметром Зенера-Холломана, учитывающим термомеханические условия нагружения. Выявленная корреляция вносит вклад в развитие фундаментальных представлений о механизме деформационного поведения трубопроводных сталей при сложном нагружении и создает основу для прогнозирования их эксплуатационной долговечности. Практическая значимость работы подтверждается разработкой ресурсосберегающей технологии оперативной диагностики технического состояния и оценки остаточного ресурса труб нефтегазопроводов без прекращения транспортировки продукта. Внедрение методики программного индентирования позволяет достигать высокой точности контроля (погрешность менее 5%) и сокращает экономические потери, связанные с простоем оборудования.

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

Общий объем – 3,88 печатных листа, в том числе 2,14 печатных листа - соискателя.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Щипачев А. М. Диагностирование охрупчивания трубопроводных сталей с помощью метода инструментального индентирования / А.М. Щипачёв, А.И. Алёхин // Наука и технологии трубопроводного транспорта

нефти и нефтепродуктов. – 2024. – Т. 14, № 6. – С. 536–547. DOI: 10.28999/2541-9595-2024-14-6-536-547 (ВАК №1856 ред. 09.12.2024).

Соискателем разработан новый неразрушающий метод определения критической температуры хрупкости конструкционных сталей, основанный на анализе параметров индентирования. Методика использует установленную взаимосвязь между характеристиками пластической деформации под индентором и температурной зависимостью механических свойств материала. Особенностью подхода является учёт кинетических параметров деформационного процесса через анализ термической активации пластического течения. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости создания специализированной базы референсных данных по деформационным характеристикам материалов.

2. Щипачёв А. М. Прогнозирование хрупкого разрушения нефтегазопроводов на основе данных инструментального индентирования / А.М. Щипачёв, **А.И. Алёхин** // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2025. Вып. 3 (155). С. 79-88. DOI: 10.17122/ntj-oil-2025-3-79-88 (ВАК №2285 ред. 18.03.2025).

Соискателем проведены исследования по разработке нового метода определения критической температуры хрупкости сталей для магистральных трубопроводов и сосудов давления. Установлено, что метод инструментального индентирования позволяет с высокой точностью оценивать критическую температуру хрупкости после длительной эксплуатации и прогнозировать её изменение в зависимости от рабочих условий. Показано, что корреляция между истинным напряжением разрыва и параметром Зенера-Холломана обеспечивает достоверную оценку влияния температуры и скорости деформации на процесс охрупчивания материала.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus/WoS):

3. Schipachev, A.M. Thermally Activated Crack Growth and Fracture Toughness Evaluation of Pipeline Steels Using Acoustic Emission / Perveitalov, O.G.; Nosov, V.V.; Schipachev, A.M.; **Alekhin, A.I.** // Metals. – 2023. – №13. P. 1272. DOI:10.3390/met13071272.

Щипачев А.М. Термоактивированный рост трещин и оценка трещиностойкости трубопроводных сталей с использованием акустической эмиссии / Первейталов О.Г.; Носов В.В.; Щипачев А.М.; Алехин А.И. // Металлы. – 2023. – №13. С. 1272. DOI:10.3390/met13071272.

Соискателем предложен метод оценки сопротивления хрупкому разрушению конструкционных сплавов, основанный на анализе кинетики термоактивированного роста трещины с регистрацией акустической эмиссии. Установлено, что параметры активации (энергия активации, площадь активации перед фронтом трещины и скорость неактивационного роста) демонстрируют устойчивость и удовлетворительно согласуются с литературными данными. Метод исключает необходимость трудоёмких лабораторных испытаний для определения эмпирических констант

уравнений скорости роста трещины, позволяя проводить неразрушающую оценку вязкости разрушения с учетом индивидуальных особенностей дефектообразования в конкретном образце или оборудовании.

4. Shchipachev, A. M. Determining the Endurance Limit of Oil and Gas Steels Based on Software-assisted Indentation Testing Results / Shchipachev, A. M., **Alekhin, A. I.** // International Journal of Engineering. - № 39(3). – P.668-676. DOI: 10.5829/ije.2026.39.03c.09.

Щипачев А. М. Определение предела выносливости сталей нефтегазопроводов по результатам программного индентирования/ А. М. Щипачев, А. И. Алехин // Международный инженерный журнал. - № 39(3). – С.668-676. DOI: 10.5829/ije.2026.39.03c.09.

Соискателем была предложена методика оценки предела выносливости трубных сталей на основе инструментального индентирования с программной обработкой данных. Установлена линейная зависимость предела выносливости от предела прочности и относительного сужения (коэффициент корреляции $r = 0.92-0.96$), подтвержденная для стали 09Г2С и других конструкционных сталей. Разработаны регрессионные уравнения, позволяющие исключить объемные усталостные испытания при оценке циклической долговечности. Метод обеспечивает определение временного сопротивления с погрешностью $<5\%$ и применим для неразрушающего контроля эксплуатируемого оборудования. Перспективы связаны с адаптацией модели для других материалов и интеграцией алгоритмов машинного обучения.

Публикации в прочих изданиях:

5. Щипачев, А. М. Определение критической температуры хрупкости металла трубопровода методом инструментального индентирования / А. М. Щипачев, **А. И. Алёхин** // Трубопроводный транспорт–2024 : сборник статей научно-практической конференции. – 2024. – Т. 2. – С. 172–175.

Соискателем были проведены исследования процесса вязко-хрупкого перехода металлов нефтегазопроводов при различных эксплуатационных условиях и оценка их ресурса.

Патенты:

6. Патент №2838331 Российская Федерация, МПК G01N 3/60 (2006.01); СПК G01N 3/60 (2025.01). Способ определения критической температуры хрупкости материала трубопровода. Заявка №2024120454: заявл.19.07.2024: опубл. 14.04.2025 / А.М. Щипачев, **А.И. Алёхин**, Е.Е. Яковлева; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II".-13с.

Проведен патентный поиск. Соискателем разработан метод неразрушающего контроля (НК) механических свойств трубопроводных сталей, в частности определение критической температуры хрупкости (КТХ) без вырезки образцов. Способ определения КТХ, включающий

механическое воздействие на материал, отличающийся тем, что содержит локальное микроиндентирование поверхности трубы, измерение параметров кривой вдавливания и рассчитывает КТХ на основе корреляции с модифицированным параметром Зенера-Холломана.

Апробация диссертационной работы проведена на научных конференциях международного и всероссийского уровня. За последние 3 года принято участие в 5 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 5 международных:

- 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.

В диссертации Алёхина Алексея Игоревича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа» УГНТУ, д.т.н., профессора **Б.Н. Мастобаева**; директора научно-технического центра трубопроводного транспорта ООО «НИИ Транснефть», к.т.н. **Т.И. Безымянникова**; заместителя начальника отдела главного механика ООО «Газпром добыча Оренбург», д.т.н. **С.Н. Барышова**; начальника службы развития производственной системы ООО «Траснефть – Порт Приморск», к.т.н., доцента **А.В. Сальникова**; доцента кафедры «Трубопроводный транспорт» СамГТУ, к.т.н. **А.А. Афиногентова**; заведующего кафедрой «Техническая теплофизика», проректора ДонНТУ, д.т.н., профессора **А.Б. Бирюкова**; главного научного сотрудника отдела технологий сварки и металлургии ИФТПС СО РАН, д.т.н. **Н.И. Голикова**; доцента высшей нефтяной школы Югорского государственного университета, к.т.н. **А.М. Батырова**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. Из текста автореферата возникает вопрос о минимально необходимом количестве однородных индентирований металла

трубопровода для получения репрезентативных данных по результатам программного индентирования. (д.т.н. **Б.Н. Мастобаев**);

2. Из текста автореферата возникает вопрос о минимально необходимом количестве однородных индентирований металла трубопровода для получения репрезентативных данных по результатам программного индентирования. (д.т.н. **Б.Н. Мастобаев**);

3. В тексте автореферата отсутствует сравнительный анализ воспроизводимости результатов при использовании различного оборудования для индентирования. Желательно провести исследования на аппаратах разных производителей. (к.т.н. **Т.И. Безымянников**);

4. 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. (к.т.н. **Т.И. Безымянников**);

5. В перспективе рекомендуется исследовать возможность интеграции метода с системами автоматизированного мониторинга технического состояния трубопроводов. (к.т.н. **Т.И. Безымянников**);

6. В тексте автореферата недостаточно полно описаны необходимые условия применения метода программного индентирования: требования по шероховатости поверхности, микро- и макродефектам, минимальной толщине измеряемого объекта, допустимости следов коррозии и т.п. (д.т.н. **С.Н. Барышов**);

7. Целесообразно было бы представить сравнение параметров практического применения предложенного метода программного индентирования и существующих методов неразрушающего контроля и лабораторных разрушающих испытаний по таким параметрам как: трудоемкость, стоимость, время проведения измерений, необходимость и длительность простоев трубопроводов. (д.т.н. **С.Н. Барышов**);

8. В работе применён импортный прибор для индентирования Nano indenter G200. В то же время имеется отечественный аналог данного прибора для измерения механических характеристик материалов по диаграмме вдавливания ПИМ-ДВ-1 производства ООО «НПП РобоТест», г. Москва и включенный в государственный реестр средств измерений. Это затрудняет оценку области практического применения предложенного метода для оценки ресурса металла действующего трубопровода. (д.т.н. **С.Н. Барышов**);

9. Возникает вопрос о воспроизводимости методики на оборудовании других производителей, так как все эксперименты проводились на приборах Frontics и Nano Indenter. Были ли проведены или планируются исследования для подтверждения универсальности алгоритмов? (к.т.н. **А.В. Сальников**);

10. Хотелось бы видеть более развернутое описание практических аспектов апробации метода на реальном объекте: с какими трудностями пришлось столкнуться и как они были решены. Также необходимо более

подробно описать алгоритм перехода от лабораторных исследований к применению метода в промышленных условиях. **(к.т.н. А.В. Сальников);**

11. Одним из положений, вынесенных на защиту, и указанном в автореферате диссертации является утверждение, что за счёт применения инновационного метода программного индентирования обеспечивается более высокая точность определения механических характеристик металла трубопровода по сравнению с используемыми методами неразрушающего контроля. Однако, в качестве подтверждения данного положения приводится сравнение результатов испытаний, полученных методом программного индентирования с результатами испытания по ГОСТ-1497-84 (таблица 1). Приведенные результаты испытаний и их сравнение (определена относительная разница) лишь указывают на достаточную точность метода программного индентирования в сравнении с испытаниями по ГОСТ, но не на более высокую точность измерений по сравнению с другими методами неразрушающего контроля. Очевидно, что для подтверждения данного положения следует привести результаты, пусть и полученные не лично автором, а взятые из открытых источников, для других, используемых на сегодняшний день методов оперативного контроля механических характеристик металла трубопроводов. **(к.т.н. А.А. Афиногентов);**

12. В обзоре работ по основам механики разрушения, по нашему мнению, следовало бы упомянуть работы Ханукаева М.Г. и Беленького Д.М., возможно они подразумеваются в автореферате в уточнении «... и ряд других авторов». **(д.т.н. А.Б. Бирюков);**

13. Формулировка в пункте научной новизны «...более точного определения механических характеристик металла...» требует количественного подтверждения в сравнении с известными методиками и подходами. **(д.т.н. А.Б. Бирюков);**

14. Возможно ли повторение проведенных исследований и получение подтверждающих результатов без использования прибора Frontics AIS 3000 HD. **(д.т.н. А.Б. Бирюков);**

15. В автореферате не указано, какие напряжения были приложены к образцам из стали 09Г2С при проведении циклического нагружения (таблица 1)? При приложении нагрузок может произойти деформационное упрочнение стали, что влечет повышения его предела текучести. А по данным таблицы 1 происходит некоторое снижение пределов текучести и прочности стали при росте наработки. Вследствие чего происходит снижение механических характеристик? Одним из параметров деградации механических свойств металла трубопроводов в процессе эксплуатации считается увеличение отношения предела текучести к пределу прочности. Интересным было бы проведение исследований методом программного индентирования на образцах с повышенными значениями коэффициентов текучести стали, за счёт деформационного упрочнения. **(д.т.н. Н.И. Голиков);**

16. Не раскрыто каким образом выражение (3) на стр. 12 получено из уравнений (1) и (2). **(д.т.н. Н.И. Голиков);**

17. В автореферате не полностью раскрыты температурные аспекты применения метода. В работе представлены данные для комнатной температуры, однако для трубопроводов, работающих в различных климатических условиях, необходимо исследование температурных зависимостей параметров индентирования в диапазоне от отрицательных до повышенных температур. **(к.т.н. А.М. Батыров);**

18. Целесообразно добавить в главу 2 сводную таблицу, наглядно сравнивающую традиционные методы контроля (вырезка образцов, испытания на растяжение) и предлагаемый метод программного индентирования по ключевым параметрам: точность, воздействие на объект, время проведения, стоимость, возможность применения в полевых условиях. Это усилит убедительность обоснования выбранного метода. **(к.т.н. А.М. Батыров);**

19. Для полного убеждения в эффективности метода крайне желательно дать хотя бы ориентировочную оценку экономического эффекта от его внедрения. Например, за счет сокращения времени диагностики, отказа от дорогостоящих остановок и ремонтов для вырезки образцов, снижения риска аварий. Это можно вынести в раздел «Практическая значимость» или в Заключение. **(к.т.н. А.М. Батыров).**

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны научная концепция и новые экспериментально-аналитические методы оценки остаточного ресурса и критической температуры хрупкости металла нефтегазопроводов на основе метода программного индентирования. **предложены** научная гипотеза о связи истинного напряжения разрыва, определенного методом программного индентирования, с параметром Зенера-Холломана, а также новый подход к определению температуры вязко-хрупкого перехода на основе кинетической концепции прочности и данных инструментального вдавливания;

доказана перспективность использования метода программного индентирования для оперативной неразрушающей оценки прочностных свойств в частности трещиностойкости (KIC) металла трубопроводов, а также доказано наличие зависимостей между кинетическими параметрами деформации и критической температурой хрупкости;

введены уточненные трактовки понятий «критическая глубина вдавливания» и «параметр повреждения» применительно к оценке трещиностойкости пластичных материалов методом индентирования;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:
доказаны теоретические положения и методики, расширяющие границы применимости метода программного индентирования для решения задач механики разрушения и оценки ресурса нефтегазопроводов;
применительно к проблематике диссертации **результативно использованы** комплекс современных методов исследования, включая метод программного индентирования на системе Frontics AIS 3000 HD, стандартные механические испытания и кинетического анализа, что обеспечило получение обладающих новизной результатов;
изложены этапы создания модели, связывающей данные программного индентирования с параметром Зенера-Холломана для оценки температуры хрупкости;
раскрыты существенные противоречия и ограничения существующих методов неразрушающего контроля, в частности метода твёрдости;
изучены причинно-следственные связи между кинетическими параметрами процесса вдавливания, энергией активации и механическими свойствами материала;
проведена модернизация метода оценки механических характеристик и остаточного ресурса нефтегазопроводов на основе программного индентирования и получения новых результатов по оценке трещиностойкости и температуры хрупкости.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:
разработаны и внедрены (акт о внедрении от 11.06.2025 в ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург») технология и экспресс-методика оперативной оценки технического состояния металла и расчета остаточного ресурса нефтегазопроводов в процессе эксплуатации без остановки перекачки;
определены перспективы практического использования разработанной методики для мониторинга состояния трубопроводных систем;
создан метод оценки остаточного ресурса нефтегазопроводов с применением программного индентирования и метод прогнозирования критической температуры хрупкости и риска хрупкого разрушения;
представлены методические рекомендации по проведению измерений механических характеристик нефтегазопроводов и интерпретации данных программного индентирования по обеспечению более высокой точности оценки остаточного ресурса.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:
для экспериментальных работ: результаты получены на сертифицированном оборудовании (система Frontics AIS 3000 HD, ударный копер Tinius Olsen), показана воспроизводимость результатов исследования (стандартное отклонение ~2%) и их согласование с данными, полученными стандартными разрушающими методами по ГОСТ (относительная погрешность менее 5%);

теория построена на известных, проверяемых данных и фундаментальных положениях механики разрушения и кинетической теории прочности, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на обобщении передового отечественного и зарубежного опыта и глубоком анализе результатов теоретических и экспериментальных исследований в области диагностики трубопроводов;

использованы сравнение авторских данных, полученных методом программного индентирования, с данными, полученными ранее по рассматриваемой тематике стандартными методами (испытания на растяжение, ударную вязкость, трещиностойкость);

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов (значений прочности, трещиностойкости КИС, критической температуры хрупкости) с результатами, представленными в независимых источниках и полученными классическими методами.

использованы современные методики сбора и статистической обработки исходной информации по мировой и российской нефтегазовой отрасли, нормативно-методической документации, отчетных данных компаний по диагностике трубопроводов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах исследования: постановке цели и задач, проведении анализа зарубежной и отечественной литературы, разработке методики эксперимента, непосредственном проведении экспериментальных исследований на оборудовании для программного индентирования и механических испытаний, обработке и интерпретации полученных данных, разработке теоретической модели, участии в апробации результатов исследования и подготовке основных публикаций по теме диссертации, включая статьи в международных и российских журналах.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Алёхин Алексей Игоревич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 24.09.2025 диссертационный совет принял решение присудить **Алёхину Алексею Игоревичу** ученую степень кандидата технических наук за решение актуальной научно-практической задачи по обоснованию неразрушающего метода контроля технического состояния и оценки остаточного ресурса нефтегазопроводов, имеющей значение для развития отрасли диагностики трубопроводных систем и оборудования.

[illegible]

Носов
Виктор Владимирович

24.09.2025 г.