

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.11
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.09.2026 № 17

О присуждении Чжао Фумин, гражданину Китайской Народной Республики, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование методов обнаружения утечек газа на труднодоступных участках распределительных полиэтиленовых газопроводов» по специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ принята к защите 21 июля 2026 г., протокол заседания № 9, 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 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, от 08.06.2026 № 632 адм.

Соискатель, Чжао Фумин, 4 февраля 1996 года рождения, в 2020 году окончил магистратуру факультета переработки минерального сырья федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

С 01.10.2022 г. по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры транспорта и хранения нефти и газа федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре транспорта и хранения нефти и газа федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель — кандидат технических наук **Палаев Александр Григорьевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра транспорта и хранения нефти и газа, доцент кафедры.

Официальные оппоненты:

Бурков Петр Владимирович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отделение нефтегазового дела Инженерной школы природных ресурсов, профессор;

Фигаров Эльдар Намикович – кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «НИИ Транснефть», лаборатория прочностных расчетов, заместитель заведующего лабораторией; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»**, г. Альметьевск, в своем положительном отзыве, подписанном Алиевым Мехрали Мирзали оглы, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа», Исмагиловой Зульфией Фаритовной, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом той же кафедры, секретарем заседания, и, утвержденном Дьяконовым Александром Анатольевичем, доктором технических наук, профессором, ректором, указала, что теоретическая значимость диссертации заключается в развитии представлений о формировании диагностических признаков утечки газа в системе «полиэтиленовый газопровод-грунт-волоконно-оптический кабель», а также в разработке расчетно-алгоритмического подхода к объединению акустических, температурных и гидродинамических признаков аварийного события. Практическая значимость работы состоит в разработке архитектуры комплексной системы распределенного волоконно-оптического мониторинга распределительных полиэтиленовых газопроводов, включающей одномодовый волоконно-оптический кабель, интеррогаторы DAS и DTS, программные средства фьюжн-аналитики, геопривязку событий и интеграцию с телеметрией давления и расхода. Предложенный подход ориентирован на непрерывный неинвазивный контроль без нарушения целостности полиэтиленовой трубы, что особенно важно для труднодоступных участков.

Соискатель имеет 4 опубликованные работы по теме диссертации: 2 статьи опубликованы в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций, и 2 статьи — в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025690988 от 12 ноября 2025 г.

Общий объем публикаций — 1,44 печатных листа, в том числе личный вклад соискателя — 0,94 печатных листа.

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. Палаев, А.Г. Применение технологии обнаружения утечек с помощью отрицательного давления в газопроводах / А.Г. Палаев, Фумин Чжао, Ифань Тянь // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2024. – № 3–4. – С. 32–36. (№ 2707 Перечня ВАК ред. 10.06.2024). (ссылка в диссертации на страницах 10–11, 92–93).

Соискателем выполнен анализ применимости метода отрицательной волны давления для обнаружения утечек газа в газопроводах; рассмотрен механизм формирования волны разрежения при нарушении герметичности трубопровода и обоснованы диагностические признаки утечки, связанные с изменением давления во времени. По результатам анализа сделан вывод о возможности оперативной фиксации факта возникновения утечки и ее предварительной локализации по времени прихода сигнала к контрольным точкам.

2. Палаев, А.Г. Сравнительное исследование методов локализации подземных полиэтиленовых трубопроводов / А.Г. Палаев, Фумин Чжао, Ифань Тянь, Бинь Ван, Минян Шао // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2023. – № 3–4. – С. 23–27. (№ 2571 Перечня ВАК ред. 17.07.2023). (ссылка в диссертации на страницах 10–11, 92–93).

Соискателем проведен сравнительный анализ методов локализации подземных полиэтиленовых трубопроводов; выполнена интерпретация результатов сравнения и установлено, что эффективность локализации определяется материалом трубопровода, глубиной заложения, состоянием грунта, условиями трассы и уровнем внешних помех. Сделан вывод о необходимости выбора метода локализации с учетом конкретных эксплуатационных условий.

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных и системах цитирования (Scopus):

3. Palaev, A.G. A Leak Detection Method for Underground Polyethylene Gas Pipelines Using Simulation Software Ansys Fluent / A.G. Palaev, Z. Fuming // International Journal of Engineering, Transactions B: Applications. – 2024. – Vol. 37, Issue 8. – P. 1615–1621. (ссылка в диссертации на страницах 10–11, 92–93).

3. Палаев, А. Г. Метод обнаружения утечек в подземных полиэтиленовых газопроводах с использованием программного комплекса AnsysFluent / А. Г. Палаев, Фумин Чжао // Международный инженерный журнал. Серия В: Приложения. – 2024. – Т. 37, вып. 8. – С. 1615–1621.

Соискателем разработана и реализована расчетная модель истечения газа из подземного полиэтиленового газопровода с использованием AnsysFluent; получены и проанализированы результаты численного моделирования, на основании которых определены особенности формирования зоны распространения газа в грунте при утечке. Сделан вывод о возможности применения численного моделирования для оценки диагностических признаков утечки и обоснования параметров системы контроля.

4. Palaev, A.G. Method for Assessing Damage to Gas Distribution Network Pipelines based on Nonlinear Guided Wave / A.G. Palaev, Z. Fuming, T. Yifan // International Journal of Engineering, Transactions B: Applications. – 2024. – Vol. 37, Issue 5. – P. 852–859. (ссылка в диссертации на страницах 10–11, 92–93).

4. Палаев, А. Г. Метод оценки повреждений трубопроводов газораспределительной сети на основе нелинейной направленной волны / А. Г. Палаев, Фумин Чжао, Ифань Тянь // Международный инженерный журнал. Серия В: Приложения. – 2024. – Т. 37, вып. 5. – С. 852–859.

Соискателем выполнен анализ возможности применения нелинейных направленных волн для оценки повреждений трубопроводов газораспределительных сетей; обработаны расчетные и экспериментальные данные и установлено, что изменение параметров волнового сигнала может использоваться как признак повреждения трубопровода. Сделан вывод о применимости метода для выявления повреждений, влияющих на техническое состояние и безопасность эксплуатации трубопровода.

Апробация диссертационной работы проведена на научных конференциях международного и всероссийского уровня:

1. The XIX International forum-contest of students and young researchers «Topical issues of rational use of natural resources» (22–26 May 2023, Saint Petersburg).

2. Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы транспорта и хранения углеводородных ресурсов при освоении Арктики и Мирового Океана» (7–8 ноября 2023 года, г. Тюмень).

3. The 17th Conference on New Technologies in Nondestructive Testing 2025 (13.07–17.07.2025, Harbin, China).

4. The 5th International Conference on Detection Technology and Intelligence System (DTIS 2025) (12–14 December 2025, Nanchang, China).

В диссертации Чжао Фумин отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы от: начальника отдела надежности и ресурса Северного коридора газотранспортной системы филиала ООО «Газпром ВНИИГАЗ Ухта», к.т.н. **И.В. Шишкина**; доцента кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений ФГБОУ ВО «СамГТУ», к.т.н. **П.В. Рощина**; старшего научного сотрудника военного института ФГБОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», д.т.н. **В.Е. Махова**; Технический директор ООО НПП Симплекс к.т.н., **М.А. Тарасенко**; директора института нефти и газа ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», д.т.н., профессора **Л.Ш. Махмудовой**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечены актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, логичность построения работы и использование актуальной научной информации. Вместе с тем высказан ряд замечаний:

1. Желательно подробнее раскрыть требования к устойчивости алгоритмов при наличии техногенных акустических помех, характерных для городской среды; показать изменение параметров обнаружения при увеличении протяжённости контролируемого участка и разветвлённости распределительной сети; дополнить экономическую оценку диапазоном капитальных и эксплуатационных затрат при различных вариантах размещения волоконно-оптического кабеля (д.т.н. В.Е. Махов);

2. Желательно подробнее описать требования к монтажу волоконно-оптического кабеля на существующих полиэтиленовых газопроводах; дополнительно раскрыть сезонную настройку температурного канала DTS при изменении влажности и теплофизических свойств грунта; привести более развёрнутое сравнение предложенного способа с регламентными методами эксплуатационного контроля газораспределительных сетей (к.т.н. И.В. Шишкин);

3. Экономический расчёт приведён в достаточно сжатом виде: целесообразно более чётко разделить капитальные затраты на внедрение, эксплуатационные затраты и экономию от сокращения времени поиска дефекта; подробнее описать критерии настройки порогов тревоги при разных режимах транспорта газа; дополнить анализ применимости метода для

трубопроводов с различной глубиной заложения и отличающимися теплофизическими свойствами грунта (к.т.н. П.В. Рошин).

4. Желательно подробнее обосновать минимальный размер утечки, устойчиво обнаруживаемой предложенной системой при различных рабочих давлениях и диаметрах распределительных газопроводов; раскрыть влияние способа монтажа и расстояния от волоконно-оптического кабеля до полиэтиленовой трубы на амплитуду акустического сигнала и точность локализации; дополнить оценку эффективности сравнением трудоёмкости технического обслуживания комплексной системы с традиционными методами периодического контроля газовых сетей (д.т.н. Л.Ш. Махмудова).

Высказанные замечания имеют уточняющий и рекомендательный характер, не ставят под сомнение достоверность основных результатов и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием их научной квалификации и направлений профессиональной деятельности тематике диссертации. Официальные оппоненты являются специалистами в области надежности, диагностики, прочностных расчетов и эксплуатации нефтегазопроводных систем; ведущая организация осуществляет научную и образовательную деятельность по транспорту и хранению нефти и газа и располагает специалистами по мониторингу и безопасной эксплуатации трубопроводов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана комплексная методика обнаружения и локализации утечек газа на труднодоступных участках распределительных полиэтиленовых газопроводов, основанная на совместном применении распределенного акустического и температурного волоконно-оптического мониторинга с верификацией по отрицательной волне давления; методика предусматривает последовательное выявление акустического события, подтверждение температурной аномалии и сопоставление результатов с изменениями давления и расхода газа, что обеспечивает формирование единого диагностического решения;

предложены алгоритмы обработки и мультисенсорного объединения акустических, температурных и гидродинамических диагностических признаков, а также критерии оценки качества обнаружения по вероятности обнаружения, времени реакции, частоте ложных тревог и ошибке локализации; обработка включает фильтрацию и нормирование сигналов, выделение информативных признаков, их пространственно-временную привязку и

объединение на уровне принятия решения, повышающее устойчивость системы к одиночным помехам;

доказана перспективность совместной схемы DAS + DTS, обеспечивающей вероятность обнаружения утечки до 98 %, среднее время реакции 1,49 мин и ограничение ошибки локализации до $\pm 1,97$ м в исследованных условиях; совместная проверка акустического отклика, температурного изменения и гидродинамических параметров позволяет одновременно подтвердить факт утечки и уточнить координату дефекта;

введены количественные показатели и процедуры валидации результатов мультисенсорного мониторинга, позволяющие сопоставлять одноканальные и комплексные схемы контроля. валидация включает повторные испытания, сопоставление расчётных и экспериментальных данных и отдельное определение показателей POD, FAR, TTD и LE для одноканальных и комплексной конфигураций;

обоснована структура комплексной системы мониторинга, включающая сенсорный волоконно-оптический кабель, интеррогаторы DAS и DTS, телеметрию давления и расхода, средства синхронизации и программный модуль аналитики, с возможностью интеграции результатов в цифровой контур эксплуатационного контроля.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны закономерности формирования и распространения акустического отклика, локальной температурной аномалии и фронта отрицательной волны давления при утечке газа из полиэтиленового газопровода;

применительно к проблематике диссертации результативно **использован** комплекс методов математического моделирования переходных процессов и распространения волн, обработки сигналов, статистической оценки качества детектирования и экспериментальной проверки;

изложены положения о комплексном распознавании утечки как события, обладающего взаимодополняющими акустическими, температурными и гидродинамическими признаками;

раскрыты ограничения традиционных способов обхода, локальных измерений, газоанализаторов и выборочных раскопок применительно к протяженным и труднодоступным участкам распределительных сетей;

изучены причинно-следственные связи между параметрами утечки, координатой дефекта, параметрами регистрируемых сигналов и качеством локализации;

проведена модернизация алгоритмов обработки диагностических сигналов за счет совместной фильтрации, выделения признаков, классификации события и верификации результата по независимым измерительным каналам.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и приняты к внедрению на предприятии ЗАО «Балтийская Жемчужина» методические рекомендации по мониторингу утечек газа на распределительных полиэтиленовых газопроводах;

определены пределы применимости экспериментально подтвержденной конфигурации для трубы ПЭ100 SDR11 диаметром 110 мм, глубины заложения 1,3–1,8 м, диаметра моделируемого дефекта 2–5 мм и давления 0,2–0,6 МПа, а также перспективы масштабирования системы;

создана программа для расчета утечек газа в полиэтиленовых газопроводах, зарегистрированная как программа для ЭВМ № 2025690988;

представлены рекомендации по размещению измерительных каналов, настройке порогов, обработке событий и интеграции результатов в цифровой контур эксплуатационного мониторинга.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ **результаты получены** на полигоне на участке полиэтиленового газопровода с контролируемым моделированием утечек и сопоставлением данных DAS, DTS, давления и расхода; показана воспроизводимость зарегистрированных диагностических признаков;

теория построена на известных положениях газовой динамики, теории переходных процессов и распространения волн и согласуется с опубликованными данными по мониторингу трубопроводных систем;

идея базируется на анализе отечественного и зарубежного опыта обнаружения утечек и на потребности эксплуатационных организаций в непрерывном неинвазивном контроле труднодоступных участков;

использованы сравнения авторских результатов для одноканальных конфигураций и комплексной схемы DAS + DTS с верификацией по отрицательной волне давления;

установлено качественное и количественное соответствие расчетных и экспериментальных проявлений утечки по времени возникновения, форме диагностических сигналов и пространственной привязке дефекта;

использованы современные методики цифровой обработки сигналов, численного моделирования, статистической оценки показателей POD, FAR, TTD и LE, а также опытно-эксплуатационной апробации.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач исследования; анализе отечественных и зарубежных источников; разработке математических моделей и алгоритмов обработки и объединения диагностических сигналов; участии в подготовке и проведении полигонных исследований; обработке и интерпретации экспериментальных данных; оценке показателей эффективности; разработке программы для ЭВМ; апробации результатов и подготовке публикаций.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Чжао Фумин ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 24.09.2026 г. диссертационный совет принял решение присудить **Чжао Фумин** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи совершенствования методов обнаружения утечек газа на труднодоступных участках распределительных полиэтиленовых газопроводов и разработку новых научно обоснованных технических решений, направленных на повышение надежности и безопасности газопроводов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 8 человек, из них 8 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 8 , против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Щипачев
Андрей Михайлович

Носов
Виктор Владимирович

24.09.2026 г.