

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.9
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 29.09.2026 № 21

О присуждении Злотину Владимиру Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обоснование выбора составов внутренних покрытий трубопроводов для снижения проницаемости транспортируемого водорода» по специальности 2.6.17. Материаловедение принята к защите 27.07.2026, протокол заседания № 17, диссертационным советом ГУ.9 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 10.03.2023 № 312 адм, с изменениями от 13.07.2023 № 1090 адм, от 05.09.2023 № 1227 адм, от 29.07.2024 № 1207 адм, от 03.06.2025 № 673 адм, от 12.09.2025 № 1121 адм, от 08.06.2026 № 632 адм.

Соискатель, Злотин Владимир Андреевич, 01 июля 1998 года рождения, в 2022 г. с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело.

С 01.10.2022 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры материаловедения и художественных изделий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Работает ассистентом кафедры материаловедения и художественных изделий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения и художественных изделий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Петкова Ани Петрова**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра материаловедения и технологии художественных изделий, профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

Атрошенко Светлана Алексеевна, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской Академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в Санкт-Петербурге, лаборатория физики разрушения, ведущий научный сотрудник;

Бобкова Татьяна Игоревна, кандидат технических наук, федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», дирекция, учёный секретарь института; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»**, Великий Новгород, в своем положительном отзыве, подписанном Нозирзой Шодмоном Салохидином, кандидатом технических наук, исполняющим обязанности заведующего кафедрой промышленных технологий, Филипповым Дмитрием Александровичем, доктором физико-математических наук, профессором, профессором той же кафедры, Бордашевым Кириллом Анатольевичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом той же кафедры, секретарём заседания, и утвержденном Дайнекиным Юрием Викторовичем, доктором экономических наук, доцентом, первым проректором, указала, что теоретическая значимость работы заключается в развитии представлений о влиянии состава, распределения и агломерации нанодобавок на диффузию и поток водорода через фторопластовые покрытия, и в предложенном показателе η_J/η_D , расширяющим методический аппарат сравнительной оценки барьерных покрытий; практическая значимость работы состоит в обосновании состава внутреннего фторопластового покрытия на основе эмали ФП-566, модифицированного УНТ и β -SiC, а также в разработке композиционной системы с адгезионным слоем Al–AlOOH и в усовершенствовании методики проведения испытаний методом Деванатана–Стачурски путем нанесения

графитового электропроводящего слоя на непроводящие полимерные покрытия.

Соискатель имеет по теме диссертации 6 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, 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 международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 5,5 печатных листов, в том числе 3,4 печатных листов - 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:

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Болобов В. И. Сравнительный анализ потерь сжатого водорода при транспортировке по трубопроводам из различных материалов / В. И. Болобов, А.П. Петкова, **В.А. Злотин**, Г.Г. Попов, И.В. Жуйков и др. // Вопросы материаловедения. – 2023. – №. 1 (113). – С. 124-133. DOI 10.22349/1994-6716-2023-113-1-124-133.

Соискателем выполнен расчёт объёма протекшего газа для различных давлений и температур, а также анализ полученных численных данных, позволивший установить диапазоны потерь для стальных и полимерных трубопроводов. Определены потери при комнатной температуре составляющие доли процента, и при повышенных температурах, возрастающие до десятков процентов для полимерных материалов. Обоснован выбор материалов трубопроводов для транспортировки сжатого водорода по уровню проницаемости.

2. **Злотин В.А.** Сравнительный анализ эффективности снижения проницаемости водорода посредством применения защитных покрытий при его транспортировке, хранении и производстве / **В.А. Злотин**, А.П. Петкова, Е.И. Пряхин, Д.В. Гареев // Дизайн. Материал. Технологии. – 2024. - №4 (76). – С. 167-174. DOI 10.46418/1990-8997_2024_4(76)_167_174.

Соискателем выполнен сравнительный анализ эффективности различных защитных покрытий, предназначенных для снижения проницаемости водорода при его транспортировке, хранении и производстве, с учетом условий эксплуатации и типов используемых

конструкционных материалов. На основе литературных данных и расчетных оценок выполнена систематизация влияния толщины, структуры и физико-химических свойств покрытий на уровень диффузионных потерь водорода, а также сформулированы практические рекомендации по выбору покрытий для элементов водородной инфраструктуры.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Petkova A.P. Analysis of the efficiency of reducing hydrogen losses in a pipeline made of various austenitic stainless steels / A.P. Petkova, **V.A. Zlotin** // *Chernye metally*. – 2024. – №. 9. – P. 50. DOI 10.17580/chm.2024.09.08

Петкова А.П. Анализ эффективности снижения потерь водорода в трубопроводе из различных аустенитных коррозионностойких сталей / А.П. Петкова, **В.А. Злотин** // *Черные металлы*. – 2024. – №. 9. – С. 50. DOI 10.17580/chm.2024.09.08

Соискателем выполнен анализ эффективности снижения потерь водорода при его транспортировке по трубопроводам из различных аустенитных коррозионностойких сталей на основе расчетных данных о проницаемости и растворимости водорода в исследованных марках сталей. Соискателем выполнены расчёты объёмов утечки водорода в зависимости от марки стали, давления и температуры, проведено сравнение полученных значений потерь и сформулированы выводы о наиболее предпочтительных марках аустенитных сталей для снижения диффузионных потерь водорода в трубопроводах.

4. Petkova A.P. Reducing the hydrogen permeability of steel pipelines by applying internal composite polymer coatings / A.P. Petkova, **V.A. Zlotin**, V.S. Borisova, Ya.E. Gekht, G. Yu. Kalinin // *CIS Iron and Steel Review*. – 2026. - №31. – P. 92-98. DOI: 10.17580/cisirs.2026.01.15

Петкова А.П. Снижение водородопроницаемости стальных трубопроводов путём нанесения внутренних композиционных полимерных покрытий / А.П. Петкова, **В.А. Злотин**, В.С. Борисова, Я.Э. Гехт, Г.Ю. Калинин // *CIS Iron and Steel Review*. – 2026. - №31. – P. 92-98. DOI: 10.17580/cisirs.2026.01.15

Соискателем выполнен анализ снижения проницаемости водорода через стальные трубопроводы за счет применения внутренних композиционных полимерных покрытий на основе опубликованных экспериментальных и расчетных данных. Соискателем выполнена систематизация влияния типа полимерной матрицы, структуры композита, толщины и сплошности покрытия на поток водорода через

стенку трубы, проведено сравнение эффективности различных покрытий и сформулированы практические рекомендации по выбору внутренних композитных полимерных покрытий для элементов водородной инфраструктуры.

Публикации в прочих изданиях:

5. **Злотин В.А.** Оценка потерь водорода за счёт диффузии при его транспортировке по трубопроводу с нанесённым внутренним покрытием из Cu, Ta, Al, V / **В.А. Злотин, А.П. Петкова** // Нанозифика и наноматериалы. – 2022. – С. 218-222.

Соискателем проведена оценка потерь водорода за счёт диффузии при его транспортировке по трубопроводу с внутренними металлическими покрытиями из Cu, Ta, Al и V на основе известных термодинамических и кинетических характеристик растворимости и проницаемости водорода в этих материалах.

6. **Злотин, В.А.** Анализ эффективности сокращения потерь транспортируемого водорода посредством нанесения внутренних защитных покрытий / **В.А. Злотин, А.П. Петкова** // Транспорт и хранение углеводородов. Тезисы докладов V Всероссийской научно-технической конференции молодых учёных. – Омск, 2024. – С. 100-103.

Соискателем выполнены расчётные оценки влияния типа, толщины и сплошности покрытий на величину диффузионных потерь водорода, проведено сравнение различных вариантов защитных покрытий и сформулированы практические рекомендации по их применению для элементов водородной инфраструктуры.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024664143 Российская Федерация. Программа определения распределения концентрации транспортируемого водорода по толщине стенки трубы. Заявка № 2024663063: заявл. 10.06.2024; опубли. 17.06.2024 / А.П. Петкова, **В.А. Злотин**, Б.С. Александрук; заявитель/правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» – 1с.: ил. – Текст: непосредственный.

Соискателем разработана и реализована программа для ЭВМ, предназначенная для определения распределения концентрации транспортируемого водорода по толщине стенки трубы с учётом параметров транспортировки и физико-механических свойств материала трубопровода. Проведено математическое моделирование процессов

диффузии водорода в стенке трубы, реализованы алгоритмы численного решения соответствующих дифференциальных уравнений и выполнена верификация программы на основе литературных данных и расчетных примеров.

Апробация работы проведена на 5 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 3 международных; за последние 3 года принято участие в 5 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 3 международных:

V-я Всероссийская научно-техническая конференция молодых учёных «Транспорт и хранение углеводородов» (г. Омск, 2024 г.); Международная научно-практическая конференция «Новое в машиностроении, механике и мехатронике: актуальные проблемы, инновационные решения» (г. Ташкент, Узбекистан, 2026 г.); IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы развития науки и современного общества» (г. Пенза, 2026 г.); Международная научно-практическая конференция «Цифровизация и технологические революции: современные вызовы и возможности» (г. Воронеж, 2026 г.); VII Всероссийская научно-практическая конференция «Техника и технология современных производств» (г. Пенза, 2026 г.).

В диссертации Злотина Владимира Андреевича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: заведующего кафедрой материаловедения и технологии конструкционных материалов ФГБОУ ВО ТИУ, к.т.н., доцента **В.И. Плеханова**; заведующего лабораторией Научного технологического комплекса «Новые технологии и материалы» ФГАОУ ВО «СПбПУ», к.т.н. **А.С. Цветкова**; старшего научного сотрудника НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», к.т.н. **Н.А. Сердюка**; профессора высшей школы машиностроения, ФГАОУ ВО «СПбПУ», д.т.н., доцента **А.Д. Бреки**; начальника металлографической лаборатории ЦЗЛ, АО «Научно-производственное объединение «Северо-Западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз-Антей» – «Обуховский завод», к.т.н., доцента **С.А. Пескишева**; профессора кафедры инжиниринга технологического оборудования НИТУ МИСИС, д.т.н., профессора **С.М. Горбатюка**; профессора кафедры «Технологии промышленной и художественной обработки материалов», ФГБОУ ВО «Ижевский государственных университет имени М.Т. Калашникова», д.т.н., профессора **М.М. Черных**.

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. Шероховатость поверхности является одним из факторов, влияющих на адгезию покрытия с основой. При подготовке образцов достигалась шероховатость поверхности $Ra = 5-5,5$ мкм. Из автореферата не вполне ясно, чем обусловлен выбор именно такого значения шероховатости. (к.т.н. **В.И. Плеханов**);
2. Указано, что введение нанодобавок в количестве по 0,5% масс. каждого в состав наносимых на подложку фторопластовых покрытий повышает эффективность снижения диффузии и потока водорода через них, но не пояснено, как влияет повышение/понижение количества на контролируемые параметры. (к.т.н. **В.И. Плеханов**);
3. Будет ли композиционное покрытие устойчиво к воздействию прочих компонентов транспортируемой среды, включая возможные примеси и влагу? (к.т.н. **А.С. Цветков**);
4. В работе не указано, почему для испытаний образцов было выбрано значение плотности тока 3,75 мА/см². (к.т.н. **А.С. Цветков**);
5. Каким образом учитывалось возможное влияние исходного состояния стальной подложки, включая структурную неоднородность проката, на водородопроницаемость через неё? (к.т.н. **Н.А. Сердюк**);
6. Как влияет шероховатость стальной подложки и параметры пескоструйной подготовки поверхности на адгезию и водородопроницаемость сформированных покрытий? (к.т.н. **Н.А. Сердюк**);
7. Стоит уточнить, какое влияние оказывает наносимое графитовое лакокрасочное покрытие на измеряемые параметры диффузии водорода в электрохимическом методе. (д.т.н. **А.Д. Бреки**);
8. Следует провести статистическую обработку полученных данных в ходе экспериментов с целью оценки погрешности метода исследования и определения доверительных интервалов результатов. (д.т.н. **А.Д. Бреки**);
9. Расчетная оценка потерь водорода выполнена на основе коэффициента K , учитывающего нестационарную и стационарную составляющие массопереноса, однако не оценена чувствительность этого коэффициента к изменению основных исходных параметров: толщины стенки трубы, давления, температуры и времени эксплуатации. (к.т.н. **С.А. Пескишев**);
10. В работе не оценен отдельно вклад фторопластового и адгезионных слоев в снижение коэффициента диффузии и стационарного потока

водорода. Это позволило бы точнее определить границы применимости полученных результатов. (д.т.н. С.М. Горбатюк);

11. В автореферате технология нанесения покрытий апробирована только на плоских образцах из стали 20. Представляет интерес оценка возможности нанесения исследованных составов на внутреннюю поверхность труб, включая вопросы равномерности толщины по длине трубы, а также контроля качества покрытия в труднодоступных зонах. (д.т.н. М.М. Черных).

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:

разработана новая научная идея повышения барьерных свойств внутреннего фторопластового покрытия на базе эмали ФП-566 модифицированием нанодобавками УНТ, β -SiC и h-BN, и дополнительное увеличение его адгезии и снижение проницаемости и потерь водорода через стенку трубопровода за счет адгезионного слоя (Al-AlOOH, акрилового или фосфатирующего грунта);

предложено оригинальное суждение о влиянии состава нанодобавок (УНТ, β -SiC и h-BN) на их склонность к агломерации и водородопроницаемости покрытия через отношение коэффициентов снижения диффузии и потока η_l/η_D , где η_D характеризует барьерный эффект от наночастиц и равномерность их распределения, а η_l чувствителен к сквозным дефектам, через которые поток существенно выше, чем через объем;

доказана перспективность использования на практике предлагаемых внутренних покрытий на основе расчета потерь водорода при его транспортировке;

введено изменение трактовки старого понятия «барьерные свойства покрытия», отличающейся совместной оценкой способности покрытия замедлять диффузию водорода и снижать его стационарный поток с использованием отношения η_l/η_D , позволяющего учитывать влияние состава нанодобавок и их агломерации на водородопроницаемость покрытия.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, вносящие вклад в расширение представлений об изучаемом явлении и представляющие собой решение актуальной научно-технической проблемы, в частности, модифицирование фторопластовой эмали ФП-566 диспергированными ультразвуковой обработкой

нанодобавками УНТ, β -SiC, h-BN и фотоинициатора Irgacure 819 позволяет снизить диффузию водорода через барьерные покрытия (DRF) до 11,2 раз, диффузионный поток (JRF) – до 7,6 раз, а потери (K) – до 7,5 раз; адгезионный слой Al+AlOOH улучшает адгезию модифицированного фторопластового покрытия к стальной подложке до 8,4 МПа, повышает барьерные свойства композиционного покрытия η_D (до 97%) и снижает его проницаемость η_I (до 89%) и потери K (до 8,9 раз);

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

использованы комплекс существующих базовых методов исследования: метод Деванатана–Стачурски для оценки водородопроницаемости, метод отрыва для определения адгезионной прочности, а также метод сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии для исследования структуры и состава сформированных барьерных покрытий; расчетный анализ для сопоставления значений коэффициентов диффузии, стационарного потока, эффективности барьерного действия и расчетных потерь водорода;

изложены идеи о повышении барьерных свойств внутренних композитных покрытий стальных трубопроводов, снижении диффузионной проницаемости и потерь транспортируемого водорода, а также об обосновании выбора состава наномодифицированных полимерных слоёв и адгезионных покрытий, обеспечивающих надёжную и энергоэффективную работу трубопроводных систем водородной энергетики;

раскрыты и выявлены новые проблемы, связанные с влиянием на защитные свойства и дефектность фторопластового покрытия равномерности распределения и склонности к агломерации вводимых нанодобавок (УНТ, β -SiC и h-BN);

изучена связь между уменьшением количества и размеров наблюдаемых углеродных агломератов, обусловленных составом модифицированного фторопластового покрытия, и снижением его водородопроницаемости и потерь транспортируемого водорода;

проведена модернизация существующей математической модели расчёта диффузионных потерь транспортируемого водорода, обеспечивающей оценку эффективности снижения этих потерь при нанесении внутренних защитных покрытий в трубопроводе.

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

разработана и внедрена технология формирования металлополимерных слоёв «Сталь-Al-AlOOH-наномодифицированная эмаль ФП-566» в ООО

«ВИАСМ Плюс» (акт от 26.05.2026 г.) в виде рекомендации по повышению эффективности внутренних покрытий стальных трубопроводов с целью снижения потерь водорода при его транспортировке;

определены перспективы практического использования теории формирования фторопластового покрытия на базе эмали ФП-566, модифицированного нанодобавками УНТ и β -SiC, и адгезионного слоя AlOON на практике для обеспечения наименьшей диффузии и потока водорода через стенку трубопровода;

создана система практических рекомендаций предложенных составов и технологических решений к производственному использованию при строительстве и обслуживании стальных трубопроводов с целью снижения потерь транспортируемого водорода;

представлены методические рекомендации по выбору составов внутренних барьерных покрытий и адгезионных слоёв, обеспечивающих снижение диффузионных потерь водорода и повышение надёжности трубопроводных систем для применения при проектировании и эксплуатации стальных трубопроводов, предназначенных для транспортировки газообразного водорода.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты электрохимических, адгезионных испытаний и микроструктурных исследований получены на сертифицированном оборудовании; показана воспроизводимость результатов исследования при разных составах основных и адгезионных слоёв покрытия;

теория построена на известных данных, закономерностях и уравнениях о растворимости и диффузии водорода в металлах и полимерах, проверяема и согласуется с опубликованными данными о влиянии нанодобавок на барьерные свойства и проницаемость полимерных композиционных покрытий;

идея базируется на обобщении передового опыта использования различных нанодобавок в повышении барьерных свойств защитных покрытий для водородной энергетики;

использовано сравнение авторских и литературных данных о влиянии нанодобавок и адгезионных слоёв на повышение барьерных свойств защитных покрытий и снижение их водородопроницаемости;

установлено качественное и количественное соответствие авторских результатов с результатами независимых источников по влиянию состава и характера распределения нанодобавок в полимерной матрице на снижение водородопроницаемости покрытий;

использованы современные стандартизированные методики сбора и обработки экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке цели и задач диссертационного исследования; выборе составов применяемых барьерных покрытий и адгезионных слоев; усовершенствовании методики исследования водородопроницаемости покрытий; получении исходных данных; обработке и интерпретации экспериментальных данных; установлении влияния состава нанодобавок на их склонность к агломерации и на водородопроницаемость покрытия; предложении коэффициента снижения диффузионных потерь транспортируемого по трубопроводам водорода; апробации результатов исследования; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Злотин Владимир Андреевич ответил на все заданные вопросы и замечания на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию научной, теоретической и практической значимости полученных результатов диссертации.

На заседании 29.09.2026 диссертационный совет принял решение присудить **Злотину Владимиру Андреевичу** ученую степень кандидата технических наук за решение научно-технической задачи обоснования составов внутренних композиционных покрытий и адгезионных слоев для снижения диффузии, потока и потерь водорода через стенку стального трубопровода, имеющей существенное значение для развития водородной энергетики.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Максаров
Вячеслав Викторович

Ефимов
Александр Евгеньевич

29.09.2026