

О Т З Ы В

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора Атрошенко Светланы Алексеевны на диссертацию Злотина Владимира Андреевича на тему: «Обоснование выбора составов внутренних покрытий трубопроводов для снижения проницаемости транспортируемого водорода», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

1. Актуальность темы диссертации

Стремление к экологически чистым продуктам приводит к использованию водорода в качестве энергоносителя. Водород обладает высокой проникающей способностью в материалы, что приводит к ухудшению механических свойств и водородному охрупчиванию водородопроводов, кроме того, за счёт диффузии происходят потери водорода через стенку трубопровода. Отсюда следует, что тема диссертации, посвященная выбору составов внутренних покрытий трубопроводов, снижающая проницаемость транспортируемого водорода, является, безусловно, актуальной.

2. Научная новизна диссертации

Установлена корреляция между введением нанодобавок в состав наносимых на стальную подложку фторопластовых покрытий на базе эмали ФП-566 и повышением эффективности снижения диффузии (до 35 раз) и потока водорода (до 9,3 раз) через них. Выявлена зависимость между уменьшением количества углеродных агломератов и снижением водородопроницаемости и потерь транспортируемого водорода. Предложено отношение коэффициентов снижения диффузии и потока в качестве критерия количественной оценки влияния состава нанодобавок на их склонность к агломерации и водородопроницаемость покрытия. Научная новизна диссертации подтверждается также полученным свидетельством о регистрации программы для ЭВМ «Программа определения распределения концентрации транспортируемого водорода по толщине стенки трубы».

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность и объективность полученных в работе результатов обеспечиваются комплексным подходом: использованием воспроизводимых экспериментальных методик, сертифицированного измерительного оборудования, а также сопоставлением полученных данных с результатами, представленными в современной научной литературе и апробацией результатов на всероссийских и международных научно-практических конференциях и публикациями в рецензируемых научных журналах.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-530 от 10.09.26
АУ УС

4. Научные результаты, их ценность

По итогам выполнения диссертационной работы соискателем получены следующие результаты.

1. Диссертантом показана перспективность выбора покрытий фторполимеров для снижения диффузии и проницаемости водорода через стенку стальных водородопроводов.

2. Соискателем предложена комбинация УНТ с β -SiC и дополнительной ультразвуковой обработкой, что уменьшает количество углеродных агломератов за счет равномерного распределения наноразмерного карбида кремния в полимерной матрице.

3. Автором получены количественные данные электрохимического наводороживания, подтвердившие влияние состава нанодобавок (УНТ, β -SiC и h-BN) на их склонность к агломерации, барьерные свойства и водородопроницаемость фторопластового покрытия. Выявлена лучшая комбинация УНТ с β -SiC с минимальной склонностью к агломерации и наименьшей проницаемостью покрытия, что позволило повысить эффективность снижения диффузии водорода на 89,5%, а диффузионного потока – на 86,8%.

4. Аспирантом установлено повышение адгезии фторопластового покрытия к стальной подложке до 8,4 МПа за счет адгезионного слоя Al+AlOOH. Закономерности влияния состава нанодобавок на барьерные свойства и водородопроницаемость полностью сохраняются и на покрытиях с адгезионным слоем Al+AlOOH, при этом обеспечивается наибольшая эффективность снижения потерь транспортируемого водорода через стенку трубопровода (в 8,9 раз).

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 6 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, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Основные положения и выводы по работе прошли апробацию на 5 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 3 международных.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Усовершенствована методика проведения эксперимента за счет нанесения на полимерные покрытия графитового лака, обеспечивающего электропроводность. Аргументирован выбор состава модифицированного нанодобавками УНТ и β -SiC фторопласта для обеспечения наименьшей диффузии и потока водорода через стенку трубопровода. Мотивирована подготовка поверхности и выбор состава адгезионного слоя для обеспечения наибольшей адгезии покрытия к подложке при наводороживании.

Разработан алгоритм оценки потерь водорода через стенку трубы с предлагаемыми барьерными покрытиями в виде программы для ЭВМ

«Программа определения распределения концентрации транспортируемого водорода по толщине стенки трубы» №2024664143. На основе этого проведен анализ потерь, показавший высокую эффективность покрытий в снижении диффузии и потока водорода. Материалы диссертации приняты к внедрению в ООО «ВИАСМ Плюс» (акт от 26.05.2026). Рекомендации по составу предлагаемых барьерных покрытий и адгезионных слоев признаны применимыми для повышения эффективности внутренних покрытий стальных трубопроводов с целью снижения потерь водорода при его транспортировке.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные в диссертации результаты обладают практической значимостью и могут быть применены для экологичной и энергоэффективной водородной энергетики и создания водородопроводов с минимальными потерями энергоресурсов. Предложенные решения позволят улучшить механические свойства и уменьшить водородное охрупчивание стальных трубопроводов, а также уменьшить потери водорода через стенки трубопроводов.

7. Замечания и вопросы по работе

По работе имеются некоторые вопросы:

1) Из диссертации трудно понять, как определялась доля адгезионного отрыва предложенных покрытий.

2) На стр.76 диссертации написано «Результаты испытаний модифицированных фторопластовых покрытий с адгезионными акриловым, фосфатным и Al-Al₂O₃ слоями представлены на рисунке 4.3», но на этом рисунке представлены результаты только со слоем Al-Al₂O₃. Хотелось бы узнать результаты испытаний с другими слоями.

3) В диссертации при обсуждении вязкости используется единица «с», что это за единица, так как известно, что в системе СИ вязкость имеет размерность Па·с, а в метрической системе – пуаз.

4) Вероятно, в предложении «Структура фторопластовых покрытий с различными модифицирующими добавками анализировалась с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией (ЭДС) для интенсификации фаз» на стр.54 диссертации слово «интенсификация» следует заменить на «идентификация».

Отмеченные замечания не умаляют достоинства диссертационной работы Злотина Владимира Андреевича. Работа содержит все необходимые для диссертационной работы разделы, включая детальное описание разработанного метода исследований, а также данные по результатам проведенного эксперимента и их научную интерпретацию. Получено много новых интересных результатов, замечания носят лишь уточняющий характер.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Обоснование выбора составов внутренних покрытий трубопроводов для снижения проницаемости транспортируемого водорода», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по

специальности 2.6.17. Материаловедение полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Злотин Владимир Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Официальный оппонент

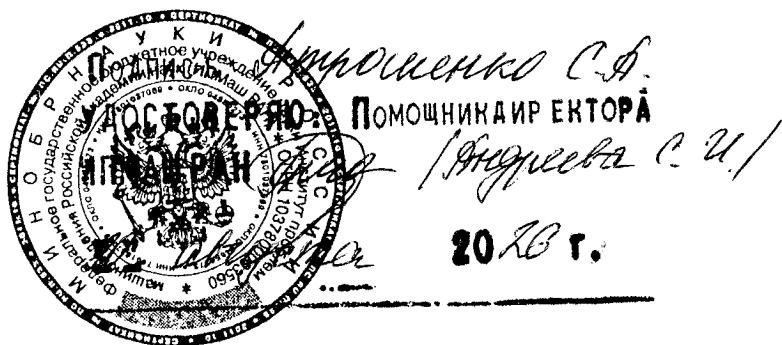
Ведущий научный сотрудник лаборатории физики разрушения
института проблем машиноведения Российской Академии наук –
федерального государственного бюджетного учреждения науки
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в Санкт-
Петербурге
доктор физико-математических наук, профессор

**Атрошенко Светлана
Алексеевна**

20.08.2026
(дата)

Ат
(подпись)

(ФИО полностью)



Сведения об официальном оппоненте:

Институт проблем машиноведения Российской Академии наук — федеральное государственное бюджетное учреждение науки Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в Санкт-Петербурге

Почтовый адрес: 199178, г. Санкт-Петербург, Большой проспект В.О., д.61

Официальный сайт в сети Интернет: <https://ipme.ru/>

эл. почта: ipmash@ipme.ru ; телефон: +7 (812) 321-47-78