

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

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.12.2025 № 14

О присуждении Азарову Владимиру Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка технологии повышения адгезионной прочности гладкостного хладостойкого фторопластового покрытия магистральных газопроводов» по специальности 2.6.17. Материаловедение принята к защите 21.10.2025, протокол заседания № 13, 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.

Соискатель, Азаров Владимир Александрович, 15 июня 1998 года рождения, в 2022 году с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело.

С 1 октября 2022 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры материаловедения и технологии художественных изделий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

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

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Пряхин Евгений Иванович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра материаловедения и технологии художественных изделий, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Бреки Александр Джалюльевич – доктор технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», международный научно-образовательный центр «BaltTribo-Polytechnic», профессор;

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 – **федерального государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»**, г. Уфа в своём положительном отзыве, подписанном Чертовских Сергеем Владимировичем, председателем заседания, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Технологические машины и оборудование», Демченко Марией Вячеславовной, секретарем заседания, кандидатом технических наук, доцентом той же кафедры, утверждённом Ибрагимовым Ильдусом Гамировичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной и инновационной работе, указала, что в диссертации Азарова Владимира Александровича разработана новая технология обеспечения адгезионной прочности гладкостного покрытия на основе фторопластовых полимеров, позволяющего повысить надёжность эксплуатации магистральных газопроводов в районах Крайнего Севера и Арктики. В частности выявлено, что применение комплексной предварительной подготовки стальной поверхности, включающей предварительную лазерную обработку по экспериментально установленным режимам с дальнейшим «холодным» фосфатированием стальной поверхности составом Мажеф (25 г/л), $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (35 г/л), NaF (7 г/л) позволяет повысить прочность адгезионного сцепления фторопластового покрытия со стальной поверхностью в среднем на 80% по сравнению с абразивной обработкой. Также экспериментально обосновано применение внутреннего гладкостного хладостойкого фторопластового покрытия магистральных газопроводов, нанесённого на стальную поверхность по разработанной технологии, позволяющей повысить за счёт высокой адгезионной прочности покрытия надёжность эксплуатации магистральных газопроводов в условиях Крайнего Севера и Арктики.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ, 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 3 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Общий объем – 3,56 печатных листов, в том числе 2,63 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:

1. Пряхин, Е.И. Применение внутренних покрытий с целью повышения эффективности транспортировки природного газа и снижения коррозионных повреждений стенки трубопровода / Е. И. Пряхин, В. А. Азаров, А. П. Петкова, С. А. Модестова // Нефтегазовое дело. – 2023. – Т. 21, № 6. – С. 236-251. – DOI 10.17122/ngdelo-2023-6-236-251 (№ 1902 Перечня ВАК ред.19.12.2023).

Соискателем проведен аналитический обзор научных и технических источников по проблематике применения внутренних покрытий магистральных газопроводов для повышения эффективности транспортировки природного газа и снижения коррозионных повреждений внутренней стенки магистрального газопроводов. Установлены перспективные направления развития данной проблематики и выявлены недостатки существующих технических и технологических решений в области применения различных внутренних покрытий трубопроводов. На основании выполненного аналитического обзора сформулированы направления дальнейшего исследования: показана перспективность применений покрытий на основе фторсодержащих полимеров при обеспечении их адгезии к стальной поверхности.

2. Азаров, В. А. Обеспечение адгезии фторопластового покрытия к стальной подложке / В. А. Азаров, Е. И. Пряхин // Дизайн. Материалы. Технология. – 2024. – № 1(73). – С. 160-165. – DOI 10.46418/1990-8997_2024_1(73)_160_165 (№ 1092 Перечня ВАК ред. 23.04.2024).

Соискателем установлен состав «холодного» фосфатирования (Мажеф (соль: марганец, железо, фосфор) (25 г/л), $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (35 г/л),

NaF (7 г/л)), при фосфатировании которым стальной поверхности, предварительно подвергнутой лазерной обработке по экспериментально выявленным режимам, достигается максимальная величина усилия отрыва фторопластового покрытия от обработанной поверхности, а также минимальная площадь разрушения покрытия. При применении данной комплексной обработки величина усилия отрыва покрытия в среднем увеличивается на 80% относительно величины усилия отрыва покрытия от поверхности, обработанной путём предварительной абразивной обработки.

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

3. Пряхин, Е. И. Повышение адгезии фторопластовых покрытий к стальным поверхностям труб с перспективой их использования в газотранспортных системах / Е. И. Пряхин, В. А. Азаров // Черные металлы. – 2024. – № 3. – С. 69-75. – DOI 10.17580/chm.2024.03.11.

Соискателем экспериментально выбраны режимы лазерной обработки, позволяющие добиться морфологии поверхности, имеющей упорядоченный характер. Это позволяет обеспечить повсеместное качество адгезионного сцепления покрытия с обработанной поверхностью. Показано, что применение предварительной лазерной обработки совместно с «холодным» фосфатированием позволяет добиться более упорядоченного микрорельефа поверхности по сравнению с пескоструйной обработкой. Выявлено, что применение предварительной лазерной обработки совместно с «холодным» фосфатированием позволяет увеличить адгезию фторопластового покрытия к обработанной стальной поверхности.

4. Pryakhin, E. I. Comparative analysis of the use of epoxy and fluoroplastic polymer compositions as internal smooth coatings of the inner cavity of steel main gas pipelines / E. I. Pryakhin, V. A. Azarov // CIS Iron and Steel Review. – 2024. – Vol. 28. – pp. 93-98. – DOI 10.17580/cisistr.2024.02.16.

Пряхин, Е.И. Сравнительный анализ применения эпоксидных и фторопластовых полимерных составов в качестве внутренних гладкостных покрытий внутренней полости стальных магистральных газопроводов // Е.И. Пряхин, В.А. Азаров // CIS Iron and Steel Review. – 2024 – Т.28 – С. 93-98. – DOI 10.17580/cisistr.2024.02.16.

Соискателем выявлены более высокие физико-механические свойства фторопластового покрытия, нанесённого на поверхность, обработанную по разработанной технологии, относительно применяющегося в качестве гладкостного эпоксидного покрытия, нанесённого на поверхность, обработанную пескоструйным методом. Установлено, что фторопластовые покрытия сохраняют свои высокие механические

свойства, в том числе при низких отрицательных температурах, что позволяет их рекомендовать в качестве внутренних гладкостных покрытий газопроводов в районах Крайнего Севера и Арктики. Рассчитаны коэффициенты эквивалентной шероховатости для фторопластового и эпоксидного покрытий, на основании величины которых установлено, что покрытия имеют примерно одинаковый потенциал для обеспечения гидравлической эффективности газопровода. Показано, что применение внутренних гладкостных покрытий при транспортировке «жирного» газа, в том числе из районов Крайнего Севера, позволяет снизить потери давления по длине трубопровода в 1,5 раза.

5. Пряхин, Е. И. Исследование защитных свойств фторопластовых полимерных составов на стальных образцах с целью перспективы их применения для внутренних покрытий магистральных газопроводов / Е. И. Пряхин, В. А. Азаров // Черные металлы. – 2025. – № 4. – С. 62-66. – DOI 10.17580/chm.2025.04.10.

Соискателем произведена оценка защитных свойств фторопластового покрытия, нанесённого на стальную поверхность, предварительно обработанную лазерной обработкой и «холодным» фосфатированием, в результате которой установлены высокие защитные свойства покрытий, которые соответствуют требованиям к внутренним гладкостным покрытиям магистральных газопроводов. Также проведена оценка стойкости покрытия к низким температурам (хладостойкость), по результатам которой можно рекомендовать применять данное покрытие в условиях Крайнего Севера и Арктики.

Публикации в прочих изданиях:

6. Азаров, В. А. Перспективы использования предварительной лазерной обработки поверхности трубопроводов перед нанесением покрытий / В. А. Азаров, М. С. Иванов // Транспорт и хранение углеводородов - 2024 : Тезисы докладов III Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 03–05 апреля 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2024. – С. 4-6.

Соискателем обоснованы преимущества предварительной лазерной обработки перед применяющейся на сегодняшний день пескоструйной обработкой стальной поверхности трубопроводов перед нанесением полимерных покрытий. Показано, что стальная поверхность после пескоструйной обработки имеет хаотичный неупорядоченный рельеф с наличием резких пиков и впадин, что может приводить к дальнейшим дефектам финишного покрытия. Установлено, что после лазерной обработки по экспериментальным режимам образуется упорядоченный

рельеф поверхности, что позволяет получать более стабильное качество нанесённого финишного полимерного покрытия.

7. Азаров, В. А. Возможности повышения адгезии перспективных гладкостных покрытий газопроводов / В. А. Азаров // Транспорт и хранение углеводородов : Тезисы докладов V Всероссийской научно-технической конференции молодых учёных, Омск, 26 апреля 2024 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2024. – С. 117-119.

Соискателем установлено, что предварительная лазерная обработка по экспериментальным режимам совместно с «холодным» фосфатированием позволяет получать величину шероховатости микрорельефа, сопоставимую с величиной шероховатости после пескоструйной обработки. При этом поверхность имеет более упорядоченный характер и за счёт образованной фосфатной плёнки имеет способность к адсорбированию наносимого лакокрасочного функционального покрытия. На основании этого данная обработка рекомендуется перед нанесением фторопластового покрытия в качестве гладкостного покрытия магистральных газопроводов для повышения его адгезии.

Патент:

8. Патент № 2828891 Российская Федерация, МПК В23К 26/00 (2014.01); СПК В23К 26/00 (2024.08). Способ подготовки поверхности углеродистых и низколегированных сталей к нанесению полимерных покрытий. Заявка № 2024111457 : заявл. 25.04.2024 : опубл. 21.10.2024 / Е. И. Пряхин, В. А. Азаров ; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 11 с.

Соискателем выполнен комплекс экспериментальных исследований по выбору режимных параметров лазерной обработки стальной поверхности для достижения необходимой морфологии обрабатываемой поверхности. Проведён комплекс экспериментальных исследований по выбору состава «холодного» фосфатирования, при котором шероховатость обработанной лазером поверхности достигает наибольшего значения. По итогу исследования выбраны режимы лазерной обработки и состав «холодного» фосфатирования, которые позволяют обеспечить адгезию фторопластового покрытия.

Апробация работы проведена на 7 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 4 международных. За последние 3 года принято участие в 7 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 4 международных:

1. XI Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства (г. Минск, декабрь 2022 г.);

2. XXI Молодежная научная конференция «Функциональные Материалы: Синтез, Свойства, Применение», посвящённая 75-летию Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова (с международным участием) (г. Санкт-Петербург, декабрь 2023 г.);

3. III Всероссийская научная конференция «Транспорт и хранение углеводородов - 2024» (г. Санкт-Петербург, апрель 2024 г.);

4. V Всероссийская научно-техническая конференция молодых учёных «Транспорт и хранение углеводородов» (г. Омск, апрель 2024 г.);

5. V Международная научная конференция «Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах» (г. Санкт-Петербург, декабрь 2024 г.);

6. XIII Молодежная международная научно-практическая конференция «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность» (г. Москва, май 2025 г.);

7. Международный симпозиум «FLAMN-2025 Fundamentals of laser assisted micro- and nanotechnologies» (г. Санкт-Петербург, июнь 2025 г.).

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

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего кафедрой материаловедения и технологии конструкционных материалов ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», к.т.н., доцента **В.И. Плеханова**; инженера технолога ООО «Лазерный центр», к.т.н. **Е.Ю. Ждановой**; доцента высшей школы механики и процессов управления ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», к.т.н. **С.А. Филиппова**; начальника металлографической лаборатории ЦЗЛ Акционерного общества «Научно-производственное объединение «Северо-Западный региональный центр Концерн ВКО «Алмаз-Антей» - «Обуховский завод», к.т.н. **С.А. Пескишева**; заместителя начальника отдела организации ввода объектов в эксплуатацию управления организации и оформления ввода объектов в эксплуатацию ООО «Газпром Инвест», к.т.н. **А.В. Зарипова**; профессора кафедры литейных процессов и материаловедения ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», д.т.н., доцента **Е.В. Петрченко** и доцента той же кафедры, к.т.н., доцента **О.С. Молочковой**; доцента кафедры проектирования и эксплуатации магистральных газонефтепроводов ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», к.т.н.,

доцента **А.А. Игнатика**; профессора кафедры «Технология промышленной и художественной обработки материалов» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», д.т.н., профессора **М.М. Черных**; заведующего кафедрой «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», д.ф.-м.н., профессора **А.П. Амосова** и доцента той же кафедры, директора по науке ООО «Научно-производственный центр «Самара», члена ПК 2 ТК 23 «Нефтяная и газовая промышленность», к.т.н. **П.Е. Юдина**; заведующего лабораторией физики прочности ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, д.ф.-м.н. **А.Г. Кадомцева**; заместителя заведующего лабораторией прочностных расчетов отдела оценки технического состояния и прочностных расчетов ООО «Научно-исследовательский институт Трубопроводного транспорта», к.т.н. **Э.Н. Фигарова**.

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. В таблице 3 автореферата представлены результаты испытаний на стойкость к воздействию низких температур (хладостойкость). Не совсем ясно по какой методике испытания проводились – отсутствует информация по температуре испытаний, времени и других параметрах. (**к.т.н. В.И. Плеханов**);

2. Показано, что по результатам испытаний на стойкость к изменению гидравлического и газового давления фторопластовое покрытие выдерживает до 10 циклов. Как данное количество циклов соотносится с реальными условиями эксплуатации магистральных газопроводов? (**к.т.н. В.И. Плеханов**);

3. Автором не указана часть характеристик, относящихся к выбору режима лазерной обработки. К ним относятся длительность импульса и параметры используемого объектива (рабочее поле, фокусное расстояние). (**к.т.н. Е.Ю. Жданова**);

4. В автореферате автор на вклейках с графическим материалом приводит увеличение микрофотографий, которое характерно только для увеличений объектива оптического микроскопа без учета увеличения окуляра. Не смотря на это, на микрофотографиях указана шкала, которая позволяет идентифицировать истинное увеличение. (**к.т.н. Е.Ю. Жданова**);

5. В тексте автореферата приведены режимные параметры только двух основных проходов лазерного луча. Какие режимные параметры имеет так называемый режим «зачистки»? (**к.т.н. С.А. Филиппов**);

6. Как определялся коэффициент эквивалентной шероховатости исследуемых покрытий? (**к.т.н. С.А. Филиппов**);

7. В автореферате было бы целесообразно привести матрицу планирования эксперимента с указанием величин шероховатости, получаемых после обработки по исследуемым режимам. (**к.т.н. С.А. Филиппов**);

8. В работе представлено применение лазерного комплекса МиниМаркер 2. Возможно ли получение схожего микрорельефа поверхности при применении других лазерных комплексов при обработке труб в промышленных масштабах? (**к.т.н. С.А. Пескишев**);

9. Из автореферата не ясно, на основании каких стандартов или нормативных документов проводились исследования свойств предлагаемых покрытий? Соответствуют ли предлагаемые покрытия стандартам компании ПАО «Газпром»? (**к.т.н. А.В. Зарипов**);

10. Следовало бы на некоторых микрофотографиях сделать линейки с указанием масштаба более чёткими и крупными (**д.т.н. Е.В. Петроченко и к.т.н. О.С. Молочкова**);

11. На основании каких стандартов проводилось исследование свойств покрытий? (**д.т.н. Е.В. Петроченко и к.т.н. О.С. Молочкова**);

12. В автореферате интересно было бы увидеть экспериментально полученные значения эквивалентной шероховатости гладкостных покрытий, поскольку они используются в гидравлических расчётах магистральных газопроводов (**к.т.н. А.А. Игнатик**);

13. В тексте автореферата не приведены данные о сравнении производительности предлагаемой технологии лазерной обработки и традиционной пескоструйной обработки. Насколько они будут отличаться? (**д.т.н. М.М. Черных**);

14. При описании планирования эксперимента в тексте автореферата было бы целесообразно привести матрицу его планирования. (**д.т.н. М.М. Черных**);

15. Шероховатость поверхности, подготовленной абразивно-струйным методом значительно ниже, чем по предложенным автором методикам, хотя сам метод позволяет получать поверхности с шероховатостями в широком диапазоне R_z 10-120. Считаем корректным произвести сравнение адгезии у поверхностей с одинаковыми значениями

Rz, тем более что наблюдается однозначная корреляция между этими параметрами (д.ф.-м.н. А.П. Амосов и к.т.н. П.Е. Юдин);

16. Для корректного сравнения предложенной технологии и покрытия с применяемыми в отрасли следовало провести полный комплекс испытаний в соответствии с требованиями СТО 2-2.2-180-2007 «Технические требования на внутреннее гладкостное покрытие труб для строительства магистральных газопроводов» (д.ф.-м.н. А.П. Амосов и к.т.н. П.Е. Юдин);

17. В тексте автореферата не сказано, на основании какого критерия было установлено, что полученное уравнение регрессии адекватно описывает зависимость шероховатости от варьируемых параметров лазерного излучения (д.ф.-м.н. А.Г. Кадомцев);

18. На страницах 6-7,9 и 13-14 автореферата при описании методики лазерной обработки стальной поверхности указаны её параметры: мощность (P), скорость луча (v), линиятура (h) и частота ($f = 40$ кГц). Однако из текста остаётся неясным, какой тип лазера использовался в эксперименте, а также физический смысл указанной частоты ($f = 40$ кГц) (д.ф.-м.н. А.Г. Кадомцев);

19. Автором недостаточно подробно раскрыта возможность масштабирования разработанной технологии на трубы большого диаметра (к.т.н. Э.Н. Фигаров).

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 подготовки стальной поверхности, включающей операции лазерной обработки по экспериментально установленным режимам и «холодное» фосфатирование, обеспечивающей повышение адгезионной прочности фторопластового гладкостного покрытия в среднем на 80% по сравнению с традиционной абразивной обработкой, что позволяет применять такие покрытия в качестве внутренних гладкостных хладостойких покрытий магистральных газопроводов в условиях Крайнего Севера и Арктики;

предложен нетрадиционный подход к подготовке стальной поверхности под фторопластовые покрытия, основанный на комбинации управляемой лазерной обработки для создания упорядоченного микрорельефа и последующего «холодного» фосфатирования с использованием состава Мажеф (25 г/л), $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (35 г/л), NaF (7 г/л), что обеспечивает

высокий уровень адгезионного взаимодействия между стальной поверхностью и фторопластовым покрытием;

доказана перспективность применения внутреннего гладкостного фторопластового покрытия для магистральных газопроводов в условиях Крайнего Севера и Арктики, подтверждённая экспериментально установленным повышением адгезионной прочности при применении разработанной технологии предварительной подготовки стальной поверхности, а также выявлено превосходство физико-механических и защитных свойств фторопластового покрытия над традиционными эпоксидными аналогами в низкотемпературных условиях;

введено уточненная трактовка понятия «упорядоченный микрорельеф», как рельеф, формируемый лазерной обработкой и отличающий данную технологию от традиционной пескоструйной обработки, при этом обеспечивающий не просто увеличение шероховатости, а создание предсказуемой и однородной морфологии поверхности, необходимой для стабильно высокой адгезии полимерного покрытия.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, расширяющие границы применимости фторопластовых полимерных покрытий за счёт подготовки стальной поверхности, включающей предварительную лазерную обработку по экспериментально установленным режимам с дальнейшим «холодным» фосфатированием составом Мажеф (25 г/л), $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (35 г/л), NaF (7 г/л), что позволяет повысить прочность адгезионного сцепления покрытия со стальной поверхностью в среднем на 80% по сравнению с абразивной обработкой; экспериментально обосновано применение внутреннего гладкостного хладостойкого фторопластового покрытия магистральных газопроводов, нанесённого на стальную поверхность по разработанной технологии, позволяющей повысить за счёт высокой адгезионной прочности покрытия надёжность эксплуатации магистральных газопроводов в условиях Крайнего Севера и Арктики;

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

использован комплекс экспериментальных методов, включающий планирование многофакторного эксперимента, предварительную лазерную обработку, методы микроскопии и профилометрии для анализа морфологии и шероховатости поверхности, стандартизированные испытания адгезии (метод решётчатых надрезов и отрыв на адгезиметре), а также методы оценки физико-механических и защитных свойств покрытий;

изложены идеи, позволяющие аргументировано доказать необходимость замены эпоксидных покрытий на фторопластовые для условий Крайнего Севера, а также научно обосновать и экспериментально подтвердить технологию предварительной подготовки стальной поверхности, включающую операции лазерной обработки и «холодного» фосфатирования, как принципиальное решение проблемы адгезии полимерного фторопластового покрытия;

раскрыто ключевое противоречие в несоответствии традиционной абразивной подготовки для обеспечения адгезии фторопластового полимерного покрытия, что позволило чётко определить новую научно-техническую проблему и обосновать необходимость принципиально иного подхода к модификации поверхности;

изучены причинно-следственные связи между технологическими параметрами предварительной обработки, формируемой морфологией поверхности и итоговой адгезионной прочностью покрытия, а также влияние эксплуатационных факторов на функциональную надёжность покрытия;

проведена модернизация существующего алгоритма стандартизированных методов испытания гладкостных покрытий на стойкость к изменению гидравлического и газового давления, заключающаяся в проведении испытаний на адгезию методом решетчатых надрезов, обеспечивающая дополнительную оценку адгезионных свойств покрытий.

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

разработаны и приняты к внедрению рекомендации по технологии предварительной подготовки стальной поверхности, включающей операции лазерной обработки и «холодного» фосфатирования, для нанесения полимерных лакокрасочных покрытий на предприятии ООО «НПП ВОЛО» (акт о внедрении от 08.09.2025);

определена область применения гладкостных фторопластовых покрытий для конкретных условий эксплуатации магистральных газопроводов в условиях Крайнего Севера и Арктики;

создана система практических рекомендаций по подготовке стальной поверхности, включающей последовательность операций (лазерная обработка по заданным режим, дальнейшее «холодное» фосфатирование составом Мажеф (25 г/л), $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (35 г/л), NaF (7 г/л), обеспечивающая повышение адгезионной прочности фторопластового покрытия в среднем на 80% по сравнению с традиционной абразивной обработкой;

представлены рекомендации применения фторопластового покрытия в качестве внутреннего гладкостного покрытия магистральных газопроводов в условиях Крайнего Севера и Арктики на основании выполненной комплексной оценки его физико-механических и защитных свойств.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены при использовании стандартных методов исследований и сертифицированного и поверенного оборудования, а также применением методов математического планирования эксперимента;

теория построена на известных, проверяемых фактах о свойствах фторопластов и эпоксидных покрытий, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по адгезии полимеров и подготовке поверхности;

идея базируется на анализе отечественной и зарубежной практики применения внутренних покрытий газопроводов, а также обобщения передового опыта в области лазерной обработки и нанесении дополнительных адгезионных слоёв;

использованы данные отечественных и зарубежных исследований, опубликованные ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами независимых источников по свойствам исследуемых покрытий, а также общим закономерностям подготовки стальных поверхностей под нанесение полимерных покрытий для увеличения их адгезии;

использованы современные методики измерений, сбора и статистической обработки данных, нормативно-техническая документация по проведению исследований.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке цели и задач диссертационного исследования, анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования, установлении математической зависимости величины шероховатости от режимных параметров лазерной обработки и выборе режимов обработки; разработке технологии предварительной подготовки стальной поверхности из углеродистых и низколегированных сталей, включающей операции предварительной лазерной обработки и «холодного» фосфатирования, проведении экспериментальных исследований по оценке физико-механических и защитных свойств покрытий, формулировании выводов и защищаемых положений по итогу работы.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

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

На заседании 24.12.2025 диссертационный совет принял решение присудить **Азарову Владимиру Александровичу** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи по обеспечению адгезионной прочности наносимого фторопластового полимерного покрытия на стальную поверхность с целью его применения в качестве внутреннего гладкостного покрытия магистральных газопроводов для обеспечения их надёжной эксплуатации в районах Крайнего Севера и Арктики, что имеет существенное значения для перспективы развития газового комплекса страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Максаров
Вячеслав Викторович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Ефимов
Александр Евгеньевич

24.12.2025 г.