

О Т З Ы В

официального оппонента, к.т.н., Михайлова Алексея Вадимовича на диссертацию Алехнович Варвары Владимировны на тему: «Комплексный контроль металлических покрытий шаровых пробок запорной арматуры газопроводов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

1. Актуальность темы диссертации

Эксплуатация элементов газотранспортной системы показывает, что одним из ключевых компонентов являются запирающие устройства, в конструкции которых важную роль играют шаровые пробки, обеспечивающие герметичность затвора. В современном производстве шаровой запорной арматуры для защиты стальных шаровых пробок от воздействия агрессивных сред, обеспечения герметичности сопряжения пробки с седлом и достижения требуемого срока службы широко применяются металлические покрытия. Для таких покрытий устанавливаются требования к следующим характеристикам: толщина, твердость, шероховатость и адгезия покрытия к основанию. Контроль этих параметров предусмотрен на этапах нанесения покрытия, операционного и выходного контроля, а также на входном контроле на предприятиях, занимающихся сборкой шаровых кранов. При этом измерение шероховатости и адгезии покрытия уже технологически отработано, тогда как определение толщины и твердости покрытия осложнено влиянием различных мешающих факторов. Эти задачи на текущий момент требует применения **разрушающих** методов контроля, возможных только в специализированных лабораториях с учетом типа покрытия и материала основания. На сегодняшний день на рынке отсутствуют портативные измерительные средства, реализующие **неразрушающие** методы контроля, и позволяющие достоверно определять толщину и твердость наиболее распространенных металлических покрытий — таких как закаленные никель-фосфорные (ENP) и покрытия из твердого хрома — с устранением влияния мешающих параметров в условиях операционного контроля. Разработке такого типа портативных устройств и посвящена данная диссертация.

В связи с этим диссертационная работа Алехнович В.В. является своевременной и актуальной.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна результатов диссертации заключается в следующем:

2.1 Установлены зависимости, описывающие процессы намагничивания в двухслойной системе «никельфосфорное покрытие — стальное основание». На основе этих зависимостей разработана модель магнитоиндукционного двухобмоточного трансформаторного

преобразователя с подмагничиванием. Выполнены расчеты параметров преобразователя, обеспечивающих требуемую точность измерения толщины покрытия при одновременном компенсировании влияния его магнитных свойств.

2.2 Обоснована и создана конечно-элементная модель для измерения твердости металлического покрытия шаровых пробок с использованием преобразователя, работающего по методу ультразвуковой контактной импедансии (UCI). Модель охватывает диапазон толщин от 25 до 150 мкм и позволяет определить оптимальные параметры нагружения, обеспечивающие необходимую точность измерений в пределах допустимых технологических значений твердости покрытия.

2.3 Разработаны принципы и структура метрологического обеспечения, а также организационные основы комплексного неразрушающего контроля металлических покрытий шаровых пробок. Предложенные решения обеспечивают единство измерений и требуемую точность, что служит основой для технического диагностирования в соответствии с нормативно-технической документацией на распределенных производственных площадках при изготовлении и входном контроле никельфосфорных и хромовых покрытий.

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

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- использованием современных методов математического моделирования, включая конечно-элементный анализ, с привлечением общепринятых физико-математических моделей процессов намагничивания и деформационного взаимодействия при измерении твердости;
- корректной постановкой задач моделирования с учетом граничных условий, свойств материалов и геометрических параметров объектов контроля;
- результатами экспериментальных исследований, подтверждающих адекватность разработанных моделей и соответствие теоретических расчетов практическим данным;
- воспроизводимостью результатов при повторных измерениях и испытаниях, а также сопоставлением с существующими методами контроля;
- соблюдением требований нормативно-технической документации при разработке методов и средств измерения, а также при интерпретации результатов.

Таким образом, научные положения и практические рекомендации, сформулированные в работе, обладают высокой степенью достоверности и могут быть применены в условиях серийного производства и контроля изделий с металлическими покрытиями.

4. Научные результаты, их ценность

В ходе выполненного исследования получены следующие научные результаты, обладающие как теоретической значимостью, так и прикладной ценностью:

– разработана и обоснована модель магнитоиндукционного преобразователя с подмагничиванием для измерения толщины немагнитных металлических покрытий (в частности, никельфосфорных) на ферромагнитном основании, позволяющая компенсировать влияние магнитных свойств покрытия и обеспечить высокую точность измерения в производственных условиях;

– создана конечно-элементная модель измерения твердости металлических покрытий шаровых пробок по методу UCI, что позволило установить рациональные режимы нагружения индентора при различных толщинах покрытия (25–150 мкм) и повысить достоверность оценки твердости без разрушения контролируемого объекта;

– разработаны научно обоснованные принципы и структура системы метрологического обеспечения комплексного неразрушающего контроля металлических покрытий, позволяющие обеспечить единство измерений и соответствие требованиям нормативной документации на всех стадиях технологического цикла — от нанесения покрытия до входного контроля при сборке арматуры.

Ценность полученных результатов заключается в создании научной и методической базы для разработки портативных средств неразрушающего контроля параметров металлических покрытий, применяемых в запорной арматуре газотранспортных систем. Это открывает возможности для повышения надежности изделий, оптимизации производственных процессов и повышения эффективности технического диагностирования.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 11 печатных работах, в том числе в 1 статье – в издании 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 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

5.1 Разработанные в ходе исследования математические и конечно-элементные модели позволяют повысить эффективность анализа влияния информативных и мешающих факторов, обусловленных геометрическими и физико-механическими характеристиками основания и покрытия, на достоверность измерения толщины и твердости металлических покрытий.

5.2 На основе предложенных моделей спроектированы измерительные преобразователи, реализующие концепцию многопараметрических измерений, что обеспечивает повышение достоверности определения геометрических и механических свойств покрытий без разрушения контролируемого объекта.

5.3 Полученные научные результаты прошли практическую апробацию и внедрены в производственный процесс предприятия ООО «Константа» (акт внедрения № 4 от 05.11.2024 г., Приложение А диссертации), что подтверждает их прикладную значимость и готовность к

использованию в промышленной среде.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

6.1 Разработанные математические и конечно-элементные модели могут быть использованы в научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях при создании новых и совершенствовании существующих средств неразрушающего контроля толщины и твердости металлических покрытий на элементах арматуры и машиностроительных изделий.

6.2 Предложенные технические решения и принципы построения преобразователей, основанных на концепции многопараметрических измерений, могут быть применены в производственных условиях для повышения достоверности и воспроизводимости результатов контроля в условиях массового или серийного выпуска продукции.

6.3 Сформированная структура метрологического обеспечения комплексного контроля металлических покрытий может быть рекомендована для внедрения на предприятиях, осуществляющих изготовление, сборку и входной контроль изделий трубопроводной арматуры, в том числе в газотранспортной отрасли, с целью обеспечения единства измерений и соответствия нормативным требованиям.

6.4 Результаты диссертационной работы могут быть использованы в учебном процессе высших учебных заведений по направлениям подготовки, связанным с неразрушающим контролем, метрологией, машиностроением и технической диагностикой, при подготовке специалистов, магистров и аспирантов.

6.5 Внедрение разработанных методик и преобразователей возможно на предприятиях, выпускающих или эксплуатирующих оборудование с защитными металлическими покрытиями, в том числе в условиях агрессивных или критически важных сред, где необходим высокий уровень надёжности контроля.

7. Замечания и вопросы по работе

7.1 В работе уделено значительное внимание моделированию и разработке преобразователей, однако объем экспериментальной верификации предложенных технических решений ограничен следующими покрытиями: ENP, молочный хром, твердый хром. Представляется целесообразным расширение экспериментальной базы за счет испытаний на более широком классе покрытий и материалов оснований.

7.2 Не в полной мере раскрыты вопросы влияния условий эксплуатации (например, температурных и вибрационных воздействий) на стабильность параметров преобразователей и точность измерений в реальных производственных условиях.

7.3 В тексте диссертации встречаются отдельные повторения и перегруженность терминологией, что может затруднять восприятие материала специалистами смежных областей.

7.4 Было бы полезно дополнительно обосновать выбор конкретных диапазонов измеряемых параметров (например, диапазона толщин покрытий от 25 до 150 мкм), с учетом их соответствия наиболее распространённым технологическим требованиям отрасли.

7.5 «Итерационным путем был получен представленный на рисунке 2.37 вариант размещения внешнего кольцевого постоянного с остаточной индукцией $B_r = 3,5$ Тл». Скорее всего имеется в виду кольцевой постоянный магнит. Неясно о какой остаточной индукции $B_r = 3,5$ Тл идет речь, т.к. это значение в несколько раз превышает характеристики доступных на сегодняшний день постоянных магнитов. Также в тексте диссертации и автореферата отсутствует информация о направлении поляризации (радиальной или осевой) постоянных магнитов в преобразователе.

7.6 Неясен характер распределения кривых на рисунке 2.38. Если материал покрытия находится в состоянии технического насыщения, начальный угол наклона кривых должен быть одинаков. Также неясно, чем вызвано пересечение кривых $h_{coat}=0.100, 0.125, 0.150$.

7.7 Автореферат и диссертация не лишены редакционных и грамматических неточностей:

- сокращение названия метода «UCI» встречается в тексте диссертации 124 раза, а вводится только на 46 странице, в заголовке 2.1, без конкретного описания сути метода;

- термин «подавление магнитных свойств» целесообразнее было бы заменить на «компенсирование»;

- на рисунках 2.12-2.16 отсутствуют цветовые шкалы распределения представленного параметра, указание на сам параметр также отсутствует;

- не указан источник заимствования распределений $B(H)$ для железа, стали (не указано какой именно) и никеля (рисунки 2.32-2.34). Название рисунка 2.34 «Намагничивание железа и никеля» не соответствует содержанию: корректнее было бы использовать, как и на предыдущих рисунках 2.32 и 2.33, термин «кривые намагничивания». Сами кривые намагничивания $B(H)$ изображены на рисунке 2.34 не совсем корректно;

Несмотря на допущенные ошибки и необходимые для ее понимания пояснения, диссертация в целом написана достаточно грамотным техническим языком.

Отмеченные замечания и сформулированные вопросы не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на достоверность полученных результатов.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Комплексный контроль металлических покрытий шаровых пробок запорной арматуры газопроводов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды 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 Алехнович Варвара Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ

Официальный оппонент

старший научный сотрудник лаборатории комплексных методов контроля ИФМ УрО РАН
К.Т.Н.



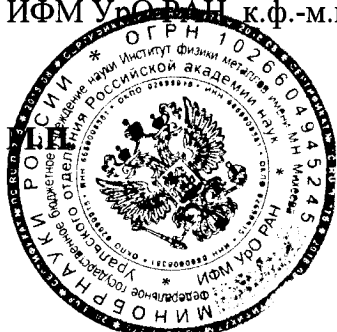
Михайлов Алексей Вадимович

29.08.2025

подпись Михайлова А.В. заверяю

Ученый секретарь

ИФМ УрО РАН, к.ф.-м.н.



Арапова Ирина Юрьевна

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН).

Почтовый адрес: 620108, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д.18.

Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.imp.uran.ru>.

эл. почта: mikhaylov@imp.uran.ru телефон: +7 (343) 378 35 25