ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.288.02 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.06.2019 № 17

О присуждении Горбаткову Михаилу Викторовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Информационно-измерительная система контроля толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования» по специальности 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (в промышленности и медицине) принята к защите 26.04.2019 г., протокол № 13, диссертационным советом Д 212.288.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, созданного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 717/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель Горбатков Михаил Викторович 1991 года рождения, работает инженером-конструктором отдела НИОКР в ООО «ПРОМ-ТЭК».

В 2014 году диссертант окончил Уфимский государственный авиационный технический университет по специальности «Электроника и наноэлектроника».

С сентября 2014 по август 2018 обучался в очной аспирантуре по специальности 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими

процессами и производствами (по отраслям) в Уфимском государственном авиационном техническом университете.

Диссертация выполнена на кафедре теоретических основ электротехники ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Парфенов Евгений Владимирович, профессор кафедры теоретических основ электротехники ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий Самарского государственного технического университета Батищев Виталий Иванович;

2. Доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий и компьютерной математики Башкирского государственного университета Болотнов Анатолий Миронович.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (г. Москва) в своем положительном заключении, подписанном профессором кафедры 307 «Технология приборостроения», д.т.н., профессором Медведевым А.В., доцентом кафедры 307 «Технология приборостроения», к.т.н., доцентом Ванцовым С.В., заведующим кафедрой 307 «Технология приборостроения», к.т.н., доцентом Васильевым Ф.В. и утвержденном проректором по научной работе, д.т.н., профессором Равиковичем Ю.А., указала, что диссертационная работа Горбаткова М.В. «Информационно-измерительная система контроля толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования» является научно-квалификационной работой, соответствующей п.9. Положения о присуждении ученых степеней. Автореферат диссертации и публикации автора в полной мере отражают основное содержание исследования. Таким образом, автор работы

Горбатков Михаил Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (в промышленности и медицине).

Соискатель имеет 43 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации 4 статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК, 2 статьи в рецензируемых журналах, издаваемых за рубежом и индексируемых в системе Scopus, получено 3 патента РФ на изобретение способов и 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Горбатков, М.В.** Измерение толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования по оптическим спектрам / Горбатков М.В., Е.В. Парфенов, В.Р. Мукаева, С.В. Жернаков, А.Л. Ерохин // Датчики и системы. – 2018. № 1. – С. 36–39.

2. Мукаева, В.Р. Исследование акустического спектра процесса электролитно-плазменного полирования для диагностики шероховатости поверхности / В.Р. Мукаева, **М.В. Горбатков**, Р.Г. Фаррахов, Е.В. Парфенов, А.Л. Ерохин // Вестник УГАТУ. – 2017. – Т. 21, № 3 (77). – С. 32–39.

3. Парфенов, Е.В. Автоматизированная технологическая установка для исследования электролитно-плазменных процессов / Е.В. Парфенов, Р.Г. Фаррахов, В.Р. Мукаева, **М.В. Горбатков**, И.А. Мелемчук, А.Г. Стоцкий, Я.В. Чернейкина // Вестник УГАТУ. – 2016. Т. 20, № 4 (74). – С. 23–31.

4. **Горбатков, М.В**. Функциональная модель процесса электролитно-плазменной обработки как объекта управления / М.В. Горбатков, Е.В. Парфенов, С.В. Жернаков, Р.Р. Невьянцева // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т. 18, № 3. – (64). С. 181–188.

5. Farrakhov, R.G. Plasma electrolytic oxidation treatment mode influence on corrosion properties of coatings obtained on Zr-1Nb alloy in silicate-phosphate electrolyte (Влияние режима плазменно-электролитического оксидирования на коррозионные свойства покрытий на сплаве Zr-1Nb, полученных в силикатно-фосфатном электролите) / R.G. Farrakhov, V.R. Mukaeva, A.R. Fatkullin,

M.V. Gorbatkov, P.V. Tarasov, D.M. Lazarev, N. Ramesh Babu, E.V. Parfenov // 2nd International Conference on New Material and Chemical Industry. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – V. 292. – P. 012006.

6. Parfenov, E.V. Towards smart electrolytic plasma technologies: An overview of methodological approaches to process modelling (Об интеллектуальных технологиях в области электролитно-плазменной обработки: обзор методологических подходов к моделированию процесса) / E.V. Parfenov, A. Yerokhin, R.R. Nevyantseva, **M.V. Gorbatkov**, C.-J. Liang, A. Matthews // Surface and Coatings Technology. – 2015. – V. 269. – P. 2 22.

7. Патент Российской Федерации № 2672036 G01B 11/06, C25D 21/12. Способ измерения толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования и устройство для его реализации / М.В. Горбатков, Е.В. Парфенов, А.Л. Ерохин, В.Р. Мукаева. – Опубл. 08.11.2018.

8. Патент Российской Федерации № 2668344 G01B 7/06. Способ измерения толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования / **М. В. Горбатков**, Е.В. Парфенов, П.В. Тарасов, В.Р. Мукаева, Р.Г. Фаррахов. – Опубл. 28.09.2018.

9. Патент Российской Федерации № 2611632 G 01 B 7/06 Способ определения толщины покрытия в ходе процесса твердого анодирования / Е.В. Парфенов, И.Ю. Шевчук, **М.В. Горбатков**, А.В. Гусаров, Д.М. Лазарев, В.Р. Мукаева, А.Р. Фаткуллин, Р.Г. Фаррахов, З.Г. Порутчикова, Н.А. Назарова. – Опубл. 28.02.2017.

10. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2018660868. Программа для решения краевой задачи распределения плотности тока при плазменно-электролитическом оксидировании с учетом нелинейных характеристик / **М.В. Горбатков**, Е.В. Парфенов, А.Л. Ерохин. – Зарег. 29.08.2018.

11. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2013618088. Программа микроконтроллера для спектральной диагностики и управления процессами электролитно-плазменной обработки / **М.В. Горбатков**, Е.В. Парфенов, В.Р. Мукаева. – Зарег. 29.09.2013.

12. Фаррахов, Р.Г. Влияние состава электролита на защитные свойства ПЭО-покрытия на циркониевом сплаве Zr-1Nb / Р.Г. Фаррахов, Е.В. Парфенов, В.Р. Мукаева, **М.В. Горбатков**, П.В. Тарасов, А.Р. Фаткуллин, Н. Рамешбабу, Б. Рависанкар // Электронная обработка материалов. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 23-30.

13. **Горбатков, М.В**. Устройство импульсного управления и диагностики процесса электролитно-плазменной обработки / М.В. Горбатков // Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области технических наук: материалы работ победителей и лауреатов конкурса. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2012. – С. 96.

14. **Горбатков, М.В**. Микроконтроллерное устройство импульсного управления и диагностики для процесса плазменно-электролитического оксидирования / М.В. Горбатков // Мавлютовские чтения: материалы Всероссийской научной конференции. – Уфа: изд. УГАТУ. – 2012. – Т. 3. – С. 82-83.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Ведущей организации ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (г. Москва). Замечания: 1) В диссертационной работе приведены результаты экспериментального исследования методики только на алюминиевых образцах. Не показана возможность использования предлагаемых способов измерения толщины слоя на иных металлах и сплавах? В частности, на титане? 2) Среди других в работе предлагается способ контроля толщины, основанный на измерении интенсивности оптического излучения в жидкости. Не показано влияние газовыделения и замутнения продуктами реакции на работу системы? 3) Экспериментальные исследования в работе ограничены напряжением 600 В и соответствующими ему толщинами конверсионного покрытия. Не показана возможность расширения диапазона измерений.

2. Официального оппонента, д.т.н., Батищева Виталия Ивановича, профессора кафедры информационных технологий ФБГОУ ВО «Самарский

государственный технический университет» (г. Самара). Замечания: 1) Во втором предлагаемом способе на основе оптических характеристик расчет толщины покрытия ведется на основе логарифма от отношения двух спектральных линий – компонента электролита и подложки. При этом сказано, что линия подложки снижает свою интенсивность со временем. Что произойдет при полном угасании этой линии? Как это повлияет на практическую применимость способа? 2) В работе не приводится непосредственного сравнения способов при внедрении в производство. Каковы затраты на внедрение каждого из способов? В чем заключаются их преимущества и недостатки? 3) «Выводы по главам» по форме изложения больше похожи на аннотации, а не на содержательные выводы, которые должны представлять по существу используемые методы и полученные результаты. 4) Автореферат, в целом, достаточно точно отражает содержание диссертации, однако, при написании содержания первой главы на с. 8 автореферата приведены структура феноменологической модели процесса ПЭО (рис. 1) и структурная схема системы управления ИИС ПЭО (рис. 2), представленные в диссертации соответственно в главе 4 (с. 75) и главе 5 (с. 107). Справедливости ради следует отметить, что ссылки на принадлежность иллюстраций соответствующим главам в тексте автореферата есть.

3. Официального оппонента, д.т.н., Болотнова Анатолия Мироновича, и.о. зав. кафедрой информационных технологий и компьютерной математики ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет» (г. Уфа). Замечания: 1) При разработке методики моделирования в главе 3 используется экспериментальная вольтамперная характеристика только одного вида. Является ли данная характеристика общей для всех типов плазменно-электролитического оксидирования? Если нет, то чем обоснован выбор именно этой характеристики? 2) В главе 3 численно решается двумерная задача для потенциала электрического поля в системе "пластина-анод внутри цилиндра-катода". Стоит отметить, что переход от трехмерной постановки к двумерной, в данном случае, представляется излишне смелым упрощением, а применение в два этапа сеточных методов значительно усложняет алгоритм. Имея в качестве исходных данных

экспериментальную ВАХ, легко построить алгоритм решения данной задачи методом граничных элементов, в трехмерной постановке, получив решение с более высокой точностью. 3) В структурной схеме информационно-измерительной системы в главе 5 указано, что разность сигналов целевой $h_ц$ и измеренной $h_{изм.ср.}$ толщины покрытия передается в виде сигнализации состоянии процесса оператору. Существует ли возможность полной автоматизации процесса без участия оператора? 4) В тексте диссертационной работы встречаются отдельные отклонения от литературной нормы или неудачные выражения, например: стр. 53 - "вовнутрь"; стр. 55 - "вдоль поверхности образца"; стр. 57: "Двумерное распределение электрического поля в проводящей среде определялось путем численного решения уравнения Лапласа в декартовых координатах (x, y, z)".

На автореферат поступило 8 положительных отзывов:

1. Малышев В.Н., д.т.н., профессор кафедры трибологии и технологий ремонта нефтегазового оборудования ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (г. Москва). Замечания: 1) Разработанные два варианта методики контроля толщины покрытия: по динамике изменения интенсивности оптических спектральных линий компонентов электролита (Al и Na) и по величине среднего значения напряжения на электролизере, имеющих примерно одинаковую погрешность (±9%), несомненно способствует повышению надежности измерений, однако диссертанту следовало бы, все-таки, обосновать более предпочтительный вариант.

2. Шаталов В.К., д.т.н., заведующий кафедрой «Материаловедение и химия» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга). Замечания: 1) Следует отметить некоторую узость исследований сплавов, нет информации о применении разработок к титановым сплавам. 2) Нет размеров испытываемых образцов.

3. Михеев А.Е., д.т.н., заведующий кафедрой летательных аппаратов ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени

академика М.Ф. Решетнева» (г. Красноярск). Замечания: 1) В работе в качестве объекта используется только один материал образца, один электролит, один электролизер и источник тока для ПЭО, в то время как вывод делается о том, что данная методика распространяется на обработку любых материалов в любых электролитах. 2) Не рассмотрено влияние на толщину покрытия таких важных параметров как качество подготовки поверхности, размеры электролизера, площадь обрабатываемой поверхности и др. 3) Методика определения толщины предусматривает определение корректирующих коэффициентов, для определения которых потребуется большое количество экспериментальных исследований, методика и минимальное количество которых в работе не раскрыто. 4) Четвертый пункт научной новизны, представленный в автореферате, в большей степени относится к практической значимости работы.

4. Живушкин А.А., ведущий специалист АО «ОДК-Климов» (г. Санкт-Петербург). Замечания: 1) В тексте автореферата недостаточно отражены результаты фактического экспериментального исследования процесса ПЭО в виде временных кривых толщины слоя покрытия по результатам металлографического анализа. 2) В автореферате не отражены сравнения косвенных тарировочных прямых для способов измерения толщины покрытия по величине среднего значения напряжения и интенсивности спектральных линий с фактическими экспериментальными кривыми (по п.1).

5. Матыкина Э.Ю., к.х.н., доцент кафедры химической инженерии и материаловедения Мадридского Университета Комплютенсе (г. Мадрид, Испания). Замечания: 1) Из автореферата не ясно, как именно производится сбор оптического излучения микроразрядов внутри емкости электролизера и каковы технологические сложности использования данного способа на практике в производстве. 2) В автореферате не указано, как определялся выход по току для оценки толщины покрытия. 3) В автореферате нет сведений о возможности обработки нескольких деталей в одном электролизере, что могло бы значительно повысить производительность установки.

6. Кусманов С.А., д.т.н., директор института физико-математических и естественных наук, доцент ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет». Замечания: 1) Не приводится обоснование использования программного пакета LabView в качестве среды для разработки информационно-измерительной системы. 2) В схеме замещения покрытия обычно появляется электрическая емкость, а в данной работе используется только сопротивление покрытия, поэтому не ясно, как наличие емкости повлияет на расчет распределения плотности тока на электролизере.

7. Ерохин А.Л., к.т.н., лектор Школы материалов, заведующий лабораторией плазменного электролиза, Университет Манчестера (г. Манчестер, Великобритания) Замечания: 1) В автореферате указано, что использовался общепринятый силикатно-фосфатный электролит, но не указан его химический состав и концентрация. Также не указана степень прозрачности электролита, что важно для оптического метода контроля толщины покрытия.

8. Гнеденков С.В., д.х.н., директор института, чл.-корр. РАН, Егоркин В.С., к.х.н., заведующий лабораторией электрохимических процессов, Институт химии ДВО РАН (г. Владивосток). Замечания: 1) Не приведен конкретный химический состав электролита, применяемого при оксидировании. 2) По одному модельному сплаву и электролиту сделан глобальный вывод о распространении методики на другие металлы и сплавы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается научной работой и достижениями рассматриваемой области, а также наличием трудов в рецензируемых журналах по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны способы и алгоритмы построения информационно-измерительных систем (ИИС), основанные на косвенном измерении толщины покрытия на алюминиевых сплавах, обеспечивающие повышение точности формирования покрытия по электрическим и оптическим характеристикам процесса плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО);

предложены: методика моделирования распределения толщины покрытия по поверхности детали на основе решения краевой задачи распределения плотности тока в электролизере и ПЭО покрытии; структура ИИС, включающая новый контур обратной связи, позволяющий проводить косвенную диагностику толщины покрытия на основе установленных связей между толщиной покрытия и электрическими и оптическими характеристиками процесса ПЭО с абсолютной погрешностью ±1,81 мкм и ±1,89 мкм соответственно.

доказана возможность осуществления косвенного измерения толщины покрытия без вмешательства в ход процесса на основе выявленных закономерностей между изменением толщины покрытия и электрическими и оптическими характеристиками процесса ПЭО.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано наличие связи между изменением среднего значения импульсов напряжения на электролизере и толщиной покрытия, а также между снижением интенсивности линии оптического излучения материала подложки на фоне роста интенсивности линии компонента электролита и толщиной покрытия (патенты № 2668344 и № 2672036);

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе методы планирования эксперимента, системного анализа, теоретических основ электротехники, теории электромагнитного поля, корреляционного и статистического анализа, цифровой обработки сигналов, оптической эмиссионной спектроскопии, методов измерения толщины покрытия;

изучены причинно-следственные связи между толщиной покрытия при ПЭО и закономерностями изменения формы импульсов на электролизере, а также закономерностями изменения интенсивности спектральных линий оптического излучения микроразрядов;

проведено уточнение существующих математических моделей распределения плотности тока по поверхности детали в ходе ПЭО на основе учета нелинейности

вольтамперной характеристики процесса, что позволяет оценивать изменение толщины покрытия на обрабатываемых деталях (программа для ЭВМ № 2018660868).

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

разработаны и внедрены (указать степень внедрения) в серийное производство элементы ИИС: программная реализация диагностической модели для косвенного измерения толщины покрытия; аппаратный интерфейс пульта управления установкой для отображения температура, тока, напряжения и толщины покрытия; аппаратное обеспечение формирования импульсов напряжения, служащие для сбора, обработки данных и реализации способа измерения толщины оксидного покрытия по электрическим характеристикам без прерывания процесса с абсолютной погрешностью, укладывающейся в диапазон ± 5 мкм на АО «Кумертауское авиационное производственное предприятие», что привело к повышению качества оксидирования алюминиевых сплавов за счет снижения числа бракованных деталей, имеющих избыточную или недостаточную толщину покрытия с 5-6% до 2-3% (патент РФ №2611632, акт использования результатов работы);

определены перспективы практического применения разработанных способов контроля толщины покрытия по электрическим и оптических характеристикам процесса ПЭО на практике;

создана система практических рекомендаций по применению методики моделирования распределения плотности тока процесса ПЭО и толщины покрытия для обрабатываемых деталей;

представлены методические рекомендации по разработке информационно-измерительных систем для процессов плазменно-электролитического оксидирования, имеющие новые контуры обратной связи на основе косвенного измерения толщины покрытия.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ при исследовании процесса ПЭО применялись общепринятые методы и методики планирования и проведения экспериментальных исследований, использовалась аттестованная измерительная и вычислительная аппаратура; показана корректная статистическая обработка данных эксперимента и воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

теория построена на известных проверяемых данных, согласуется с опубликованными рядом авторов экспериментальными данными по исследованию формы импульсов напряжения и изучению оптических эмиссионных спектров; интерпретация новых экспериментальных данных непротиворечива и основывается на известной теории плазменно-электролитических процессов;

идея контроля толщины покрытия в ходе процесса ПЭО **базируется** на выявленных закономерностях между толщиной покрытия и измерениями характеристик плазменно-электролитических процессов;

использованы сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по тематике косвенного измерения толщины покрытия в ходе плазменно-электролитического оксидирования;

установлено, что полученные новые результаты качественно и количественно согласуются с известными теоретическими положениями и экспериментальными данными;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, численного моделирования электрического поля.

Личный вклад соискателя состоит в участии в проведении экспериментов, обработке и анализе полученных данных, обсуждении результатов, разработке способов измерения, моделировании электрического поля, создании ключевых элементов ИИС и внедрении их на производстве, написании исходных текстов программ и участии в подготовке научных статей, материалов конференций и патентов.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что в диссертации:

- соблюдены установленные Положением о присуждении ученых степеней критерии, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени;

- отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации;

- соискатель ссылается на авторов и источники заимствования;

- оригинальность диссертационной работы составляет 93,34 %.

Диссертационная работа Горбаткова М.В. «Информационно-измерительная система контроля толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования» соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, в редакции с изменениями, утв. Постановлением Правительства РФ от 28 августа 2018 года № 1024).

Тема работы и содержание исследований соответствуют п.1, 3 и 6 паспорта специальности 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (в промышленности и медицине).

Диссертация Горбаткова М.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача расширения функционала ИИС процесса ПЭО, обеспечивающая повышение точности формирования покрытия на основе косвенного измерения его толщины в ходе обработки по электрическим и оптическим характеристикам процесса.

На заседании 27.06.2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Горбаткову М.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета Гизатуллин Фарит Абдулганеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета Демин Алексей Юрьевич

27 июня 2019 года