

## ПИСЬМЕННЫЙ ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу Догадкина Дмитрия Сергеевича  
 «Физические закономерности формирования структуры и функциональных свойств кальций-фосфатных покрытий на титане в процессе плазменно-электролитического оксидирования», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05301 – «Техническая физика»

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) <u>диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы);</u> 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); 3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Основные результаты диссертационной работы Догадкина Д.С. были выполнены в рамках реализации проекта «Разработка и реализация конкурентоспособных научно-обоснованных технологий для обеспечения устойчивого развития горно-металлургической отрасли Восточно-Казахстанской области» (BR24992854), финансируемого при поддержке Комитета науки МНВО РК в период 2024–2026 гг. Диссертационная работа Догадкина Д.С. выполнена соответствии с основными задачами приоритетного направления развития науки Республики Казахстан в области биомедицинского материаловедения и аддитивных технологий.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта</u> /не раскрыта.	Работа вносит существенный вклад в область технической физики и функционального материаловедения. В диссертации впервые установлены

			<p>фундаментальные физические закономерности формирования кальций-фосфатных слоев на титановых подложках, изготовленных методом селективного лазерного плавления. Автором экспериментально доказана взаимосвязь между параметрами плазменно-электролитического оксидирования и фазовой эволюцией покрытий.</p>
3.	Принцип самостоятельности	<p>Уровень самостоятельности:  1) <b>высокий</b>;  2) средний;  3) низкий;  4) самостоятельности нет.</p>	<p>Высокий уровень самостоятельности подтверждается тем, что соискатель принимал непосредственное участие в разработке методики получения покрытий, выборе режимов обработки, планировании экспериментальной части, анализе морфологии, элементного и фазового состава, а также в интерпретации механических и трибологических характеристик полученных покрытий. В диссертации прослеживается личный вклад автора в установление взаимосвязи между напряжением ПЭО, структурно-фазовым состоянием покрытий и их функциональными свойствами. Соискателем выполнено обобщение полученных экспериментальных данных, сформулированы основные научные положения, выводы и практические рекомендации. Результаты исследования отражены в научных публикациях, что</p>

			дополнительно подтверждает самостоятельный вклад автора в получение, анализ и научную интерпретацию представленных результатов.
4.	Принцип внутреннего единства	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>обоснована;</b></li> <li>2) частично обоснована;</li> <li>3) не обоснована.</li> </ol>	<p>Автор убедительно обосновал актуальность выбранной темы, отметив необходимость совершенствования методов модификации поверхности титановых сплавов, полученных с помощью аддитивных технологий. В работе подчеркивается, что использование метода плазменно-электролитического оксидирования является критически важным шагом для создания биоактивных покрытий, способных обеспечить надежную интеграцию имплантатов с костной тканью. Актуальность исследования подтверждается необходимостью глубокого понимания физических процессов формирования покрытий для управления их структурой и фазовым составом, что напрямую влияет на долговечность и функциональность медицинских изделий.</p>
		<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>отражает;</b></li> <li>2) частично отражает;</li> <li>3) не отражает.</li> </ol>	<p>Представленное в работе глубокое исследование микроструктуры, фазового состава и эксплуатационных характеристик кальций-фосфатных покрытий полностью раскрывает тему диссертации. Структура работы</p>

			<p>выстроена логически: от анализа современного состояния ПЭО-технологий и аддитивного производства титановых имплантатов до выявления конкретных физических закономерностей формирования покрытий. Содержание глав последовательно отражает влияние параметров процесса на функциональные свойства систем, что в полной мере соответствует заявленной теме исследования. Вместе с тем следует отметить, что расчетно-модельный и клинический блоки диссертации имеют более опосредованную связь с основной темой плазменно-электролитического оксидирования покрытий. Однако при рассмотрении работы как комплексного исследования титановых имплантационных материалов указанные разделы дополняют основную экспериментальную часть и усиливают практическую значимость результатов. В целом содержание диссертации отражает заявленную тему, а представленные разделы образуют внутренне связанную научную логику.</p>
		<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:  1) <b>соответствуют;</b>  2) частично соответствуют;  3) не соответствуют.</p>	<p>Цель работы напрямую вытекает из названия диссертации. Поставленные задачи последовательно раскрывают заявленную тему. Между темой, целью и задачами наблюдается строгая</p>

			логическая взаимосвязь, что позволило автору комплексно изучить объект исследования.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <b><u>полностью взаимосвязаны;</u></b> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	Представленная работа обладает строгой логической последовательностью и единством научного замысла. Все разделы диссертации взаимосвязаны и направлены на решение единой задачи: выявление физических закономерностей формирования биоактивных покрытий. Научные положения логически вытекают из результатов структурных и трибомеханических исследований, образуя целостную картину.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <b><u>критический анализ есть;</u></b> 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	Автор убедительно доказывает преимущества метода плазменно-электролитического оксидирования для обработки аддитивно-изготовленных имплантатов, аргументируя это более высокой адгезионной прочностью и возможностью формирования развитой пористой структуры. Выводы по каждой главе содержат авторскую оценку полученных данных, сопоставленную с известными мировыми аналогами, что подтверждает достоверность предложенных подходов.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <b><u>полностью новые;</u></b> 2) частично новые (новыми являются 25-75%);	Научные результаты и положения, представленные в диссертационной работе, обладают научной новизной, поскольку они получены на основе собственного комплексного

3) не новые (новыми являются менее 25%).

экспериментального исследования закономерностей формирования кальций-фосфатных покрытий на подложках из сплава Ti-6Al-4V, изготовленных методом селективного лазерного плавления. Новизна работы заключается не только в применении метода плазменно-электролитического оксидирования, который известен в материаловедении, а в установлении конкретных физических взаимосвязей между параметрами ПЭО-обработки, структурно-фазовым состоянием покрытий и их функциональными характеристиками применительно к аддитивно изготовленным титановым подложкам.

Новизна подтверждается публикацией результатов в высокорейтинговых международных журналах (Q1, Q2), таких как Coatings, Journal of Functional Biomaterials и Materials, в изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК, а также наличием патента Республики Казахстан на полезную модель, указанные в диссертационной работе.

Несмотря на широкое изучение метода ПЭО, новизна полученных результатов подтверждается тем, что автором выполнено сопоставление морфологических, элементных, фазовых, механических и трибологических

			<p>характеристик покрытий, что позволило перейти от описания отдельных экспериментальных данных к формулированию физических закономерностей формирования кальций-фосфатных покрытий.</p> <p>Кроме того, научный интерес представляет обнаруженное изменение фазового состояния приповерхностной области титановой подложки, связанное с увеличением содержания <math>\beta</math>-фазы титана под действием локального высокоэнергетического воздействия микроразрядов.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) <b>полностью новые;</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Сформулированные в работе выводы базируются на детальном анализе обширного массива экспериментальных данных и являются полностью новыми. Автором впервые сделаны выводы о характере влияния высокого напряжения ПЭО на эволюцию фазового состава покрытий на СЛП-титане. Все выводы диссертации касаются исключительно собственных результатов автора, прошли проверку на воспроизводимость и существенно дополняют существующие представления о физике плазменно-электролитического оксидирования на аддитивно-изготовленном титане.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие</p>	<p>Предложенные в диссертации технологические режимы плазменно-электролитического оксидирования</p>

		<p>решения являются новыми и обоснованными:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) полностью новые;</li> <li>2) <b><u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u></b></li> <li>3) не новые (новыми являются менее 25%).</li> </ol>	<p>являются новыми и научно обоснованными. Обоснованность решений подтверждается результатами физико-механических исследований и не противоречит фундаментальным законам материаловедения и физики твердого тела. Они представляют научный и практический интерес, поскольку позволяют управлять морфологией, фазовым составом и трибомеханическими свойствами кальций-фосфатных покрытий на титановых подложках. Вместе с тем в работе не приведен полный комплекс данных, необходимых для подтверждения готовности технологии к промышленному или клиническому внедрению. В частности, требуют дополнительного изучения воспроизводимость процесса на изделиях сложной геометрии, адгезионная прочность покрытий, коррозионная стойкость, биосовместимость, долговременная стабильность в физиологических средах, а также вопросы масштабирования и нормативной валидации технологии.</p>
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы <b><u>основаны</u></b>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (куолитатив ресеч) и направлений</p>	<p>Сформулированные в работе выводы являются глубоко обоснованными и опираются на фундаментальные принципы технической физики. Автор использует системный подход, при</p>

		подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	котором данные структурного анализа (фазовый состав и морфология) коррелируют с измеренными функциональными свойствами (модуль упругости, износостойкость). Высокая степень достоверности подтверждается согласованностью полученных данных с мировыми результатами в области ПЭО-технологий, а также практической верификацией предложенных решений. Заключительные выводы представляют собой логический итог работы, подтверждающий выполнение всех поставленных задач.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:	В диссертационной работе соискателем представлены три положения, выносимых на защиту.
		7.1 Доказано ли положение? 1) <b>доказано</b> ; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <b>нет</b> . 7.3 Является ли новым? 1) <b>да</b> ; 2) нет. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний;	№1. Установлены физические закономерности влияния напряжения плазменно-электролитического оксидирования (200-300 В) на структурно-фазовую эволюцию кальций-фосфатных покрытий на титане. Показано, что рост напряжения приводит к увеличению толщины покрытия от 1 до 35-37 мкм и последовательной трансформации фазового состава от анатаза к рутилу и гидроксипатиту. Определено, что формирование гетерофазной анатазно-рутильной структуры при 250 В обеспечивает

	<p>3) <b>широкий.</b>  7.5 Доказано ли в статье?  1) <b>да;</b>  2) нет.</p>	<p>минимизацию модуля упругости и снижение скорости износа до <math>2,765 \times 10^{-4}</math> мм<sup>3</sup>/Н·м, тогда как режим 300 В характеризуется преобладанием биоактивной гидроксиапатитной фазы.</p>
	<p>7.1 Доказано ли положение?  1) <b>доказано;</b>  2) скорее доказано;  3) скорее не доказано;  4) не доказано.  7.2 Является ли тривиальным?  1) да;  2) <b>нет.</b>  7.3 Является ли новым?  1) <b>да;</b>  2) нет.  7.4 Уровень для применения:  1) узкий;  2) средний;  3) <b>широкий.</b>  7.5 Доказано ли в статье?  1) <b>да;</b>  2) нет.</p>	<p>№2. Обнаружено, что процесс плазменно-электролитического оксидирования приводит к увеличению содержания β-фазы титана в приповерхностных слоях подложки, что способствует снижению эффективного модуля упругости композита «покрытие-подложка» со 110 до 25-35 ГПа и повышению его пластичности.</p>
	<p>7.1 Доказано ли положение?  1) <b>доказано;</b>  2) скорее доказано;  3) скорее не доказано;  4) не доказано.  7.2 Является ли тривиальным?  1) да;  2) <b>нет.</b>  7.3 Является ли новым?</p>	<p>№3. Определено, что применение октетной геометрии ячейки размером 2 мм с толщиной прутка 250 мкм (пористость 80,5 %, размер пор 750 мкм) обеспечивает согласование эффективного модуля упругости полученной структуры с механическими характеристиками трабекулярной кости (1–22,3 ГПа), что подтверждено</p>

		<p>1) <b>да</b>;</p> <p>2) нет.</p> <p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>1) узкий;</p> <p>2) средний;</p> <p>3) <b>широкий</b>.</p> <p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) <b>да</b>;</p> <p>2) нет.</p>	<p>методами конечно-элементного моделирования и эмпирического анализа.</p>
8.	<p>Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации</p>	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:</p> <p>1) <b>да</b>;</p> <p>2) нет.</p>	<p>Выбранная автором методология исследования является обоснованной и полностью соответствует современным стандартам в области технической физики и материаловедения. Применение комплекса взаимодополняющих методов позволило получить всесторонние данные о структуре покрытий. Методики проведения экспериментов описаны в диссертации с высокой степенью детализации, что обеспечивает воспроизводимость результатов и подтверждает их достоверность.</p>
		<p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:</p> <p>1) <b>да</b>;</p> <p>2) нет.</p>	<p>Результаты диссертационного исследования получены на современном высокотехнологичном оборудовании, прошедшем необходимую аттестацию и калибровку. Обработка экспериментальных массивов данных и их графическая интерпретация осуществлялись с помощью лицензионного специализированного</p>

			<p>программного обеспечения и современных графических пакетов, что гарантирует высокую точность и статистическую значимость представленных в работе результатов.</p>
		<p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) <u>да</u>; 2) нет.</p>	<p>Все теоретические предположения и выявленные физические закономерности в работе прошли строгую экспериментальную проверку. Установленные зависимости подтверждены прямыми измерениями. Согласованность данных, полученных различными независимыми методами, подтверждает достоверность выявленных закономерностей формирования биоактивных покрытий.</p>
		<p>8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u>/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.</p>	<p>Важные утверждения и теоретические предпосылки работы полностью подтверждены ссылками на актуальные научные источники. Список литературы включает фундаментальные труды и современные статьи в области плазменно-электролитического оксидирования и материаловедения. Автор провел глубокий библиографический анализ публикаций в базах данных Scopus и Web of Science, что позволило объективно сопоставить собственные результаты с мировыми достижениями в сфере создания биоактивных кальций-фосфатных покрытий. Использование ссылок на</p>

			<p>работы ведущих отечественных и зарубежных ученых подтверждает высокую осведомленность автора в исследуемой области.</p>
		<p>8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u>/не достаточны для литературного обзора.</p>	<p>Количество и качество использованных литературных источников являются полностью достаточными для проведения глубокого и всестороннего обзора. Автор проанализировал значительный объем литературы, что позволило детально отразить актуальные проблемы и послужило веским основанием для постановки цели и задач данного диссертационного исследования.</p>
9.	Принцип практической ценности	<p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u>; 2) нет.</p>	<p>Диссертационная работа обладает высокой теоретической значимостью для развития физики конденсированного состояния и материаловедения. Полученные автором данные расширяют фундаментальные представления о механизмах формирования гетерофазных структур в условиях высокоэнергетического плазменно-электролитического воздействия на титановые СЛП-подложки. Теоретически обоснована роль электрических параметров процесса в инициации кристаллизации биоактивных фаз (гидроксиапатита), что вносит вклад в теорию неравновесных фазовых</p>

			<p>превращений на границе раздела электролит-металл.</p>
		<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:  1) <u>да</u>;  2) нет.</p>	<p>Диссертационная работа имеет ярко выраженную практическую направленность. Полученные результаты по формированию биоактивных кальций-фосфатных покрытий на титане, изготовленном методом СЛП, могут быть использованы как научно-технологическая основа для дальнейшей разработки медицинских изделий. Существует высокая вероятность применения данных результатов на предприятиях, специализирующихся на выпуске биомедицинской продукции и аддитивных технологиях.</p>
		<p>9.3 Предложения для практики являются новыми:  1) полностью новые;  2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u>  3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Предложенные автором практические рекомендации обладают существенной новизной. Они направлены на преодоление ключевого недостатка современных имплантатов – низкой биоактивности поверхности при высокой жесткости основы. Внедрение рекомендаций позволит оптимизировать процесс постобработки аддитивных изделий, обеспечивая получение покрытий с контролируемой пористостью, что значительно повышает эффективность остеоинтеграции по сравнению с традиционными методами обработки.</p>

10.	<p>Качество написания и оформления</p>	<p>Качество академического письма:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>высокое;</b></li> <li>2) среднее;</li> <li>3) ниже среднего;</li> <li>4) низкое.</li> </ol>	<p>Работа характеризуется достаточно высоким уровнем изложения научного материала. Структура диссертации в целом логична, основные результаты представлены последовательно, а выводы соотносятся с поставленными задачами. Оформление графического материала выполнено качественно и наглядно иллюстрирует основные выводы работы.</p>
11.	<p>Замечания к диссертации</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) На рисунках, представленных в диссертации, отсутствует единый стиль оформления. Приведение к единому стилю (размер шрифтов, подписи, и т.д.) позволило бы облегчить восприятие информации с иллюстраций.</li> <li>2) На рисунке 3.5 показаны коэффициенты трения ПЭО-образцов. Не совсем понятно, как они связаны с трибологическими свойствами образцов, при таком большом уровне флуктуаций?</li> <li>3) В таблице 3.2 можно было бы указать погрешности измерений коэффициента трения.</li> <li>4) Как определялась оптимальная пористость решетки, максимизирующая выигрыш в соотношении жесткость/вес, составляющая 55-65%? Какие методы применялись?</li> </ol> <p>Все приведенные замечания носят рекомендательный характер, и ни в коем случае не снижает научной и практической значимости проведенного исследования. Цели и задачи, поставленные в диссертации, достигнуты и решены в полном объеме. Намеченные экспериментальные работы выполнены, анализ полученных эмпирических данных проведен. Полученные в ходе выполнения диссертационного исследования результаты и выводы не противоречат основным положениям материаловедения и физики конденсированного состояния</p>	
12.	<p>Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные</p>	<p>Научный уровень статей докторанта по теме диссертационного исследования следует оценить как высокий. Основные результаты диссертационной работы нашли отражение в статьях, опубликованных в рецензируемых отечественных и зарубежных</p>	

	рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	научных изданиях, включая журналы, индексируемые в международных базах данных. Следует отметить, что статьи носят самостоятельный научный характер, содержат элементы научной новизны и логически связаны с темой диссертации. Уровень представленных публикаций подтверждает способность автора проводить исследования на международном научном уровне и обоснованно излагать полученные результаты, что соответствует требованиям, предъявляемым к соискателям степени доктора философии (PhD).
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Рекомендую ходатайствовать перед Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан о присуждении докторанту Догадкину Дмитрию Сергеевичу степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D05301 – Техническая физика».

**Официальный рецензент:**  
**к.ф.-м.н., Заведующий лабораторией ионно-плазменной технологии**  
**Института ядерной физики Республики Казахстан,**



18.06.2026

**Жаканбаев Елдар Асхатович**