

**Письменный отзыв официального рецензента
на диссертационную работу Хожанова Александра Рафаэльевича
«Формирование функциональных покрытий с заданной структурой и
свойствами методом роботизированного микроплазменного напыления»,
представленную на соискание степени доктора философии (Ph.D.)
по специальности 8D05301-Техническая физика**

№п /п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
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:	На дату утверждения диссертация соответствует приоритетному направлению науки в области «Производство и обработка металлов и материалов»; согласно перечню 10 приоритетных направлений развития науки на 2021 – 2023 годы по приоритету «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции», (Протокол заседания Высшей научно- технической комиссии Республики Казахстан от 29 апреля 2020 года)
		1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого (ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)	Диссертация выполнена рамках проектов с госбюджетным (грантовым) финансированием Республики Казахстан: 2018-2020 гг – № АР 05130525 «Интеллектуальная роботизированная система для плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы». Руководитель проекта проф. Д.Л. Алонцева (ВКТУ им Д. Серикбаева)
		2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному	2022 – 2024 гг - № АР14869862 «Инновационные технологии изготовления покрытий для совершенствования медицинских имплантатов». Руководитель проекта PhD Ю.И. Сафарова (National Laboratory Astana) 2022 – 2024 гг - № АР13068317 «Разработка новых алгоритмов управления роботом-манипулятором для технологий 3D сканирования и аддитивного микроплазменного напыления покрытий». Руководитель проекта PhD А.А. Кадыролдина

		Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	(ВКТУ им Д. Серикбаева).. Следует отметить, что в статьях по теме исследования выражена благодарность за финансирование по вышеуказанным проектам, с указанием источника финансирования и ИРН проектов.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта</u> /не раскрыта	Работа вносит существенный вклад в науку по направлению «Техническая физика». В диссертации полно исследованы тенденции развития и применения методов термического плазменного напыления функциональных покрытий различного назначения: медицинских (биосовместимые покрытия имплантатов), терморезистивных (покрытия для нагревательных элементов), защитных, а также показаны возможности формирования заданных параметров микроструктуры, фазового состава и, соответственно, контроля свойств покрытий путем научно обоснованного выбора параметров микроплазменного напыления. Важность работы хорошо раскрыта, показаны преимущества применения роботизированной системы микроплазменного напыления покрытий, обладающей преимуществами в точности и эффективности выполнения технологического процесса по сравнению с существующими решениями, а именно в точности поддержания заданных параметров: дистанции напыления, скорости и траектории перемещения плазменного источника, что позволяет получить покрытия с контролируемой пористостью и хорошей адгезией к подложке. В работе установлены закономерности влияния параметров микроплазменного напыления на характеристики функциональных покрытий и дано научное обоснование выбора оптимальных параметров напыления, позволяющих эффективно (с максимальным коэффициентом использования

			материала) получать покрытия различного функционального назначения с заданными характеристиками.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	Уровень самостоятельности соискателя Хожанова Александра Рафаэлевича. является высоким, что подтверждается как качеством самой диссертации, так и количеством и качеством опубликованных Хожановым А. Р. работ. Всего по диссертации опубликовано 17 работ, из них 12 статей, в 3-х статьях автором для корреспонденции является соискатель, в том числе 1 статья в материалах конференции, индексируемых Scopus: D. Alontseva, A R. Khozhanov*, S.G.Voinarovych, O N. Kyslytsia, N.V. Prokhorenkova, A.B. Sadibekov, S Kaliuzhnyi, A. Krasavin. Robotic Microplasma Spraying and Characterization of Zirconium Coatings// 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE), 14-26 Sept. 2020, Tomsk, Russia. Publishing: IEEE, 2020.- P. 817 – 821. DOI: 10.1109/EFRE47760.2020.9242043 и 2 статьи опубликованы в журналах, рекомендованном Комитетом: Войнарович С.Г., Алонцева Д.Л., Хожанов* А.Р., Красавин А.Л., Кислица А.Н., Калюжный С.Н. Влияние параметров микроплазменного напыления на потери напыляемой Zr проволоки и пористость покрытия // Вестник КазНУ. Серия Физическая (ВКФ), Том. 79, №. 4, 2021, стр. 82-96. doi: https://doi.org/10.26577/RCPH.2021.v79.i4.10. Д.Л. Алонцева, А.Р. Хожанов*, С.С. Герт, А.Б. Садибеков, С.Н. Калюжный Роботизированное микроплазменное напыление функциональных покрытий из тантала на титановые имплантаты// Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева. Серия техническая. №3 - 2020. – С.52-65. DOI10.51885/15614212_2020_3_55 Также имеется Патент №5576 на

			полезную модель «Способ роботизированного микроплазменного напыления циркониевых покрытий» по заявке № 2020/0547.2 Дата приоритета 20.11.2020 (Авторы: Д.Л. Алонцева, Н.В. Прохоренкова, А.Л. Красавин, А.Р. Хожанов) Высокий уровень самостоятельности соискателя подтверждается широким представлением результатов работы на международных конференциях, где Хожанов А.Р. был докладчиком, как: "Advanced materials manufacturing and research: new technologies and techniques "(AMM&R-2021 online), 19 февраля 2021 г., г. Усть-Каменогорск, Казахстан; 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE), 14-26 сентября. 2020 г., г. Томск, Россия; VI Международная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и молодых ученых «Творчество молодых инновационному развитию Казахстана», 9-10 апреля 2020 г., ВКГУ, Усть-Каменогорск, Казахстан.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>Обоснована;</u> 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Актуальность диссертации обосновывается потребностями практики в функциональных покрытиях различного назначения (медицинских, защитных, терморезистивных) и научным интересом к проблеме получения материалов (в данном случае плазменно-напыленных покрытий) с прогнозируемыми (контролируемыми, заданными) структурой и свойствами. Целенаправленное варьирование основных параметров плазменного напыления, таких как сила электрического тока, расход плазмообразующего газа, расстояние напыления, расход напыляемого материала (проволоки или порошков), скорость перемещения плазменной струи по поверхности изделия, позволяет получить требуемую

		структуру покрытия (в частности, с регулируемой пористостью) и обеспечить хорошую адгезионную прочность покрытия, так как степень нагрева частиц материала зависит от времени их пребывания в плазменной струе и может регулироваться подбором параметров напыления. Применение роботизированной системы микроплазменного напыления позволяет прецизионно точно поддерживать такие основные параметры напыления, как дистанция и скорость напыления, повышает производительность и безопасность процесса. Таким образом, Хожанов А.Р. убедительно обосновывал актуальность научной проблемы формирования функциональных покрытий с заданной структурой и свойствами методом роботизированного микроплазменного напыления
	4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) Отражает; 2) Частично отражает; 3) Не отражает	Содержание диссертации отражает тему диссертации. Содержание структурных единиц диссертации, согласно оглавлению, раскрывает тему диссертации.
	4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) соответствуют; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют	Цель и задачи полностью соответствуют теме диссертации. Цель исследования: получение функциональных покрытий с контролируемыми характеристиками методом роботизированного микроплазменного напыления путем выбора оптимальных режимов микроплазменного напыления. Задачи исследования: 1) Выполнить анализ современного состояния проблемы получения функциональных покрытий с контролируемой микроструктурой и заданными свойствами, обосновать выбор материалов, технологического оборудования и методов экспериментального исследования. 2) Провести планирование

		факторного эксперимента по микроплазменному напылению функциональных покрытий для дальнейшего напыления согласно матрице эксперимента и установления методами регрессионного анализа зависимостей характеристик покрытий от параметров напыления. 3) Провести исследование параметров фигур металлизации и дорожек напыления для установления закона распределения материала покрытия при напылении и выработки рекомендации для роботизированного напыления покрытий с равномерной и контролируемой толщиной. 4) Осуществить роботизированное микроплазменное напыление покрытий из биосовместимых материалов с выбранными параметрами напыления на подложки титанового сплава для получения экспериментальных образцов. Получить методом микроплазменного напыления малогабаритный многослойный резистивный нагревательный элемент, состоящий из изолирующего и электропроводящего слоев. 5) Провести исследование структуры и свойств (в зависимости от функционального назначения) покрытий и их подложек методами оптической и электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, адгезионных испытаний, тестов микротвердости или измерений электрической прочности и проводимости и установить закономерности влияния параметров напыления на коэффициент использования материала и на пористость покрытий, дать научное обоснование выбора оптимальных параметров напыления, позволяющих эффективно получить покрытия с заданными характеристиками. 6) Выполнить апробацию найденных решений и рекомендаций: выполнить роботизированное микроплазменное напыление
--	--	--

			биосовместимых покрытий имплантатов по рекомендованным оптимальным режимам и разработать способ роботизированного микроплазменного напыления покрытия из биосовместимого материала; осуществить роботизированное микроплазменное напыление защитного покрытия на изношенные участки плиты дробилки из стали Гадфильда и провести производственные испытания восстановленной плиты.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) полностью взаимосвязаны; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует	Все разделы и положения диссертации полностью логически взаимосвязаны. Названия разделов диссертации соответствуют поставленным задачам, сформулированным согласно цели исследования. В конце каждого раздела диссертации приводятся выводы и делается логичный переход к следующему разделу. Положения диссертации логически обоснованы, четко сформулированы и доказаны в соответствующих разделах диссертации.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть;</u> 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов	Решения и методы, предложенные автором диссертации, аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями. Есть критический анализ, представляющий собственное мнение автора. Выполнен анализ требований к покрытиям для имплантатов-эндопротезов из биосовместимых материалов, выявлены основные современные тренды повышения биоактивности таких покрытий, которые пока являются предметом дискуссий и не включены в требования международных стандартов, результаты критического анализа представлены в первом разделе диссертации, в том числе наглядно на рис. 1.1 «Актуальные требования к материалам и производству ортопедических имплантатов». Базируясь на критическом анализе выбраны материалы, а также диапазоны

			требуемой пористости покрытий Обоснован выбор методов исследования, планирования эксперимента, методик оценки структурно-фазового состава материалов и механических свойств. Проанализированы по 8 различных типов покрытий из титана, циркония, гидроксиапатита, полученные при варьировании параметров напыления в соответствии с матрицей эксперимента, методами регрессионного анализа установлены закономерности влияния параметров напыления на формируемые микроструктуры покрытий. Показаны альтернативные пути подбора параметров микроплазменного напыления для формирования либо плотных, либо пористых структур покрытий. Проанализированы потери материала при напылении и найдены пути увеличения коэффициента использования материала.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Научные результаты и положения диссертации являются полностью новыми. Основные положения и результаты диссертации были опубликованы в рецензируемых журналах и апробированы на 5-ти международных конференциях, подтверждены получением патента Республики Казахстан на полезную модель по роботизированному способу напыления покрытия и актом производственных испытаний.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Выводы, полученные и сформулированные автором в диссертации, являются полностью новыми: - установлены новые закономерности влияния параметров микроплазменного напыления на эффективность напыления и характеристики пористости функциональных покрытий; - разработан новый способ роботизированного микроплазменного напыления биосовместимого покрытия на медицинский имплантат; - получена совокупность новых

			результатов апробации роботизированной системы микроплазменного напыления, показывающая преимущества в точности выполнения технологических процессов по сравнению с существующими решениями.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Технические и технологические, решения являются полностью новыми и обоснованными. Впервые научно обоснован выбор параметров микроплазменного напыления для эффективного формирования покрытий с заданной пористостью на 3Д-печатных имплантатах. Разработан новый способ роботизированного микроплазменного напыления биосовместимого покрытия на медицинский имплантат, на который получен патент Республики Казахстан на полезную модель. Новое техническое решение применяется для роботизированного микроплазменного напыления, заключается в предварительном сканировании обрабатываемой детали тем же роботом, что производит напыление покрытия. За счет последующей автоматической генерации программы робота для движения по 3Д -траектории, повторяющей форму отсканированного объекта, удается прецизионно точно поддерживать скорость перемещения микроплазмотрона и дистанцию напыления.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений	Все основные выводы диссертации основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах Вывод 1 - полностью новый: достоверными методами планирования факторного эксперимента и регрессионного анализа установлены новые закономерности влияния параметров микроплазменного напыления на эффективность напыления и характеристики пористости

		подготовки по искусству и гуманитарным наукам) функциональных покрытий из биосовместимых и терморезистивных материалов Теоретически обосновано и подтверждено данными физических экспериментов с использованием оптической и электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, испытаний адгезионной прочности, что наибольшее влияние на характеристики пористости и коэффициента использования материала покрытия оказывают дистанция напыления, сила тока и расход плазмообразующего газа, доказано, что управляя параметрами напыления можно получать покрытия с желаемыми характеристиками пористости и удовлетворительной адгезией к подложке, рекомендованы конкретные параметры микроплазменного напыления, оптимальные для получения определенного типа покрытий. Вывод 2 - полностью новый: разработан новый способ роботизированного микроплазменного напыления циркониевого покрытия на металлическую титановую основу медицинского имплантата, позволяющий получить покрытие с равномерной толщиной 400 мкм и с заданными характеристиками пористости порядка 20 % и размерами пор до 300 мкм посредством перемещения роботом-манипулятором микроплазменного источника по заданной 3Д - модели имплантата с постоянной заданной скоростью и точным соблюдением выбранных на основе факторного планирования параметров напыления. Результат подтвержден получением патента на полезную модель Республики Казахстан. Вывод 3 - полностью новый, сообщающий о полученной совокупности результатов апробации роботизированной системы микроплазменного напыления, демонстрирующий преимущества в
--	--	--

			точности выполнения технологических процессов по сравнению с существующими решениями (полуавтоматическое, ручное напыление). Робот-манипулятор перемещает микроплазмотрон вдоль 3Д-модели обрабатываемого плазмой изделия с точным соблюдением дистанции напыления, скорости перемещения и перпендикулярности падения плазменной струи на поверхность изделия, обеспечивая заданный диапазон пористости и равномерность толщины напыляемого покрытия. Результат доказан с надежной статистикой для трех разных типов покрытий из пяти различных материалов: биосовместимых (тантал, титан, цирконий, гидроксиапатит), терморезистивных (керамика на основе диоксида титана), защитных (износостойкий сплав на основе кобальт-хром).
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u>; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u> 7.3 Является ли новым? 1) <u>да</u>; 2) нет 7.4 Уровень для применения:	Положение 1) Закономерности влияния параметров микроплазменного напыления на характеристики функциональных покрытий и научное обоснование выбора оптимальных параметров напыления, позволяющих эффективно получить покрытия разного функционального назначения с заданными характеристиками Доказано методами планирования факторного эксперимента и регрессионного анализа с учетом результатов физических экспериментов методами оптической и электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, испытаний адгезионной прочности, является <i>нетривиальными</i> и <i>новым</i> с <i>широким уровнем применения</i> для получения функциональных покрытий с заданными характеристиками из биосовместимых материалов (медицинского назначения), из износостойких материалов (защитных покрытий) и терморезистивных материалов (покрытий нагревательных)

		1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> 7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да;</u> 2) нет	элементов) Положение 1 доказано в журнальных статьях: 1. Kaliuzhnyi S., Alontseva D., Voinarovych S., Kyslytsia O., Khozhanov A., Łatka L., Bektasova G. Microplasma sprayed multilayer coatings for electric heating elements. Materials Science-Poland, 40(4), 2022, pp. 158-170. DOI: 10.2478/msp-2022-0049 (Scopus: Cite Score (2022) 1.7. Процентиль 36% #7404/631 Mechanical Engineering https://www.scopus.com/sourceid/21055 Web of Science: квартиль Q4. Journal Impact Factor (пять лет): 0.418. Категория JCR: Material Science, Multidisciplinary) 2. Kadyroldina A., Alontseva D., Voinarovych S., Łatka L., Kyslytsia O., Azamatov B., Khozhanov A., Prokhorenkova N., Zhilkashinova A., Burburska S. Microplasma spraying of hydroxyapatite coatings on additive manufacturing titanium implants with trabecular structures. Materials Science-Poland, Vol. 40, No 4, 2022 - pp. 28-42. https://doi.org/10.2478/msp-2022-0043. Scopus: Cite Score (2022) 1.7. Процентиль 36% #7404/631 Mechanical Engineering https://www.scopus.com/sourceid/21055 Web of Science: квартиль Q4. Journal Impact Factor (пять лет): 0.418. Категория JCR: Material Science, Multidisciplinary) 3. Voinarovych G., Alontseva D. L., Kyslytsia O N., Kaliuzhnyi S, Khozhanov A R., Krasavin A., Kolesnikova T. Fabrication and Characterization of Zr Microplasma Sprayed Coatings for Medical Applications// Advances in Materials Science, Vol.21, No.2, 2021, pp.93-105. https://doi.org/10.2478/adms-2021-0013 (Индексируется в Web of Science. Категория JCI Materials Science, Multidisciplinary, квартиль по категории Q4) 4. Войнарович С.Г., Алонцева Д.Л., Хожанов А.Р., Красавин А.Л., Кислица А.Н., Калюжный С.Н. Влияние параметров микроплазменного напыления на потери напыляемой Zr проволоки и пористость покрытия// Вестник КазНУ. Серия Физическая (ВКФ), Том. 79, №. 4, 2021, стр. 82-96. doi: https://doi.org/10.26577/RCPH.2021.v79.i4.10 (Рекомендован Комитетом)
--	--	--	---

			Положение 2 - Способ роботизированного микроплазменного напыления покрытия из биосовместимого материала, заключающийся в нанесении на металлическую титановую основу имплантата циркониевого покрытий толщиной 400 мкм с пористостью $20,5 \pm 2,00\%$, размерами пор до 300 мкм, отличающийся тем, что напыление осуществляют при помощи микроплазмотрона, закрепленного на руке робота-манипулятора, движущегося по заданной 3Д - модели изделия с постоянной скоростью 2,3 м/мин, при этом контроль толщины и пористости покрытий обеспечивается точным соблюдением выбранных на основе факторного планирования параметров микроплазменного напыления. <i>Положение 2 доказано в диссертации и подтверждено патентом на полезную модель Республики Казахстан не является тривиальным, новое, с широким уровнем применения для нанесения биосовместимого покрытия с заданной толщиной и пористостью на медицинские имплантаты-эндопротезы, чтобы ускорить срастание имплантата с костью пациента и предотвратить расшатывание имплантата, удлинить срок его службы.</i> <i>Положение 2 доказано в описании патента на полезную модель Алонцева Д.Л., Прохоренкова Н.В., Красавин А.Л., Хожанов А.Р. Способ роботизированного микроплазменного напыления циркониевых покрытий. Патент №5576 на полезную модель по заявке № 2020/0547.2 Дата приоритета 20.11.2020</i> Положение 3 - Совокупность результатов апробации роботизированной системы
--	--	--	---

		микроплазменного напыления, обладающей преимуществами в точности и эффективности выполнения технологического процесса по сравнению с существующими решениями. <i>Положение 3 доказано в диссертации и подтверждено актом производственных испытаний, не является тривиальным, новое, с широким уровнем применения для повышения точности и эффективности производственных процессов роботизированного микроплазменного напыления;</i> Положение 3 доказано в статьях: 1. Алонцева Д.Л., Хожанов А.Р., Герт С.С., Садибеков А.Б., Калюжный С.Н. Роботизированное микроплазменное напыление функциональных покрытий из тантала на титановые имплантаты// Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева. №3 - 2020. – С.52-65. DOI 10.51885/15614212_2020_3_55 (Рекомендован Комитетом) 2. Азаматов Б.Н., Алонцева Д.Л., Хожанов А.Р., Азаматова Ж.К. Жабындылары бар металды ортопедиялық имплантанттар өндірісінің аддитивті технологиялары: шолу// Вестник ВКТУ №3, 2022, стр. 29-39 DOI 10.51885/1561-4212_2022_3_29 (Рекомендован Комитетом) 3. Alontseva D., Khozhanov A R., Voinarovych S.G., Kyslytsia O N., Prokhorenkova N.V., Sadibekov A.B., Kaliuzhnyi S., Krasavin A. Robotic Microplasma Spraying and Characterization of Zirconium Coatings// 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE), 14-26 Sept. 2020, Tomsk, Russia. Publishing: IEEE, 2020.- P. 817 – 821. DOI: 10.1109/EFRE47760.2020.9242043 (проиндексировано в Scopus). 4. Alontseva D., Khozhanov A R., Gert S.S., Krasavin A., Prokhorenkova N.V., Kaliuzhnyi S. Manufacturing and Characterization of Tantalum
--	--	---

			Microplasma Coatings for Biomedical Application//7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE), 14-26 Sept. 2020, Tomsk, Russia. Publishing: IEEE, 2020.- P. 813 – 816. DOI: 10.1109/EFRE47760.2020.9242053 (проиндексировано в Scopus).
8.	Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) <u>да</u> ; 2) нет	Выбор методологии обоснован и методология достаточно подробно описана в диссертации, во втором разделе. Выбор методологии базируется на анализе современных требований к микроструктуре, фазовому составу и свойствам функциональных покрытий различного назначения и на критическом анализе существующих подходов к формированию покрытий с контролируемой толщиной и пористостью методами термического напыления. В качестве основных методов исследования применены и описаны методы планирования факторного эксперимента, регрессионный анализ, методы статистической обработки результатов, экспериментальные методы исследования структуры и свойств материалов: сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, рентгеноструктурный фазовый анализ, оптическая микроскопия, энергодисперсионный элементный анализ, адгезионные испытания, исследования электрической прочности покрытий.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки данных с применением компьютерных технологий: 1) <u>да</u> ;	Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и интерпретации данных с применением новых компьютерных технологий. Выбор параметров микроплазменного напыления проведен методами планирования факторного эксперимента, а интерпретация результатов исследования выполнена методами регрессионного анализа с применением компьютерных технологий. Анализ пористости покрытий приведен с использованием

		2) нет	компьютерных технологий, в частности, программы ImageJ, анализ профилей распределения материала в фигурах металлизации выполнен в Excel. Применены статистические методы обработки и интерпретации данных испытаний адгезионной прочности покрытий с применением компьютерных технологий. Использовано ПО электронных микроскопов и дифрактометра для обработки и интерпретации микроэлектроннограмм и рентгеновских дифрактограмм.
		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	Теоретические выводы, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием. Закономерности влияния параметров микроплазменного напыления на характеристики функциональных покрытий подтверждены экспериментальным исследованием микроструктуры покрытий методами оптической, электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, а также исследованием адгезионной прочности, электрического сопротивления покрытий. Проведено успешное производственное испытание плиты с напыленным защитным покрытием, есть акт производственных испытаний № 1 от 01.10.2020 «ИП Абакумов Р.А.» о проведении производственных испытаний промышленного изделия - плиты щековой дробилки (подвижной), на поверхность которой наносилось покрытие с использованием робота-манипулятора, перемещающегося по 3Д модели изделия, полученной в результате предварительного 3Д сканирования плиты, которые подтвердили повышение на 15% ресурса работы подвижной плиты щековой дробилки восстановленной путем плазменного напыления износостойких защитных покрытий на разрушенные участки плиты, по сравнению с плитами, не

			подвергавшимися восстановлению.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Важные утверждения диссертации подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу, список использованных источников включает 143 наименования, включая все публикации автора по теме исследования: статьи в рецензируемых изданиях (журналы, материалы трудов конференций), тезисы конференций, патент.
		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора	Используемые источники литературы достаточны для литературного обзора, обзор литературы по теме исследования включает современные статьи в рецензируемых журналах и трудах конференций, монографии зарубежных и казахстанских ученых, патенты.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Теоретические выводы диссертации углубляют понимание физики процессов термического плазменного напыления покрытий и закономерностей структурно-фазовых превращения в напыляемых материалах и их подложках.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u> ; 2) нет	<u>Диссертация имеет практическое значение, что подтверждается актом производственных испытаний</u> («ИП Абакумов С.А.», № 1 от 01.10.2020), составленному по результатам производственного испытания промышленного изделия (дробящей плиты), восстановленной и упрочненной путем роботизированного микроплазменного напыления (по рекомендованному в результате численного эксперимента режиму) покрытия из порошка композиционного сплава АН-35 (ГОСТ 21448-75), подтверждающему увеличение срока службы плиты щековой дробилки с микроплазменным покрытием изношенной поверхности. <u>Существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике, а именно: для внедрения в практику предлагается: патент №5576 на полезную модель «Способ роботизированного микроплазменного напыления</u>

			циркониевых покрытий» по заявке № 2020/0547.2. Дата приоритета 20.11.2020. Авторы: Д.Л. Алонцева, Н.В. Прохоренкова, А.Л. Красавин, А.Р. Хожанов
		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Предложения для практики являются полностью новыми, новизна предложений подтверждается выдачей патента Республики Казахстан на полезную модель «Способ роботизированного микроплазменного напыления циркониевых покрытий»
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое;</u> 2) среднее; 3) ниже среднего; низкое.	Качество академического письма — высокое, работа связанная, логически последовательная, изложена ясным научным языком, хорошо оформленная. Качество иллюстраций высокое, рисунки и графики четкие, с ясными подписями.

Решение официального рецензента. Диссертация Хожанова Александра Рафаэльевича на тему: «Формирование функциональных покрытий с заданной структурой и свойствами методом роботизированного микроплазменного напыления», по научной новизне, объему, значимости полученных результатов соответствует требованиям главы 2 «Правил присуждения ученых степеней» Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, предъявляемым к работам, представленным на соискание степени доктора философии (Ph.D.). Автор диссертации Хожанов Александр Рафаэльевич заслуживает присуждения искомой степени доктора философии (Ph.D.) по специальности 8D05301-Техническая физика

Официальный рецензент:

профессор кафедры физики и технологий

Восточно-Казахстанского университета имени С.Аманжолова,

кандидат физико-математических наук,

ассоциированный профессор по специальности «Физика»

Досым Ерболатулы

