

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.04 (Д 212.125.15)

Соискатель: Игнатьев Захар Евгеньевич

Диссертация на тему: «Разработка методов управления процессом формирования структуры поверхностного слоя рабочей лопатки ГТД при нанесении теплозащитных покрытий» выполнена на кафедре «Материаловедение, литье и сварка» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева».

Специальность: 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (технические науки).

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 25 июня 2026 года, протокол № 312/26, диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, по научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению она удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Игнатьеву Захару Евгеньевичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали:

Мамонов А.М. – председатель диссертационного совета;

Скворцова С.В. – ученый секретарь диссертационного совета;

Члены диссертационного совета:

д.т.н. Абраимов Н.В., д.т.н. Андрианова Н.Н., д.т.н. Бецоффен С.Я., д.т.н. Бабаевский П.Г. (2.6.17), д.т.н. Бухаров С.В. (2.6.17), д.т.н. Гусев Д.Е. (2.6.1), д.т.н. Егорова Ю.Б. (2.6.1), д.т.н. Иванов Д.А. (2.6.17), д.т.н. Коллеров М.Ю. (2.6.1), д.т.н. Кыдралиева К.А. (2.6.5), д.т.н. Крит Б.Л. (2.6.5), д.т.н. Лозован А.А. (2.6.5), д.т.н. Никитина Е.В. (2.6.17), д.т.н. Серов М.М. (2.6.5), д.т.н. Слепцов В.В. (2.6.17), Суминов И.В. (2.6.5), д.т.н. Чекалова Е.А. (2.6.17), д.т.н. Шляпин С.Д. (2.6.5)

Ученый секретарь
диссертационного совета

С.В. Скворцова

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.04 (Д 212.125.15)
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25 июня 2026 года № 312/26

О присуждении Игнатьеву Захару Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методов управления процессом формирования структуры поверхностного слоя рабочей лопатки ГТД при нанесении теплозащитных покрытий» по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (технические науки) принята к защите 15 апреля 2026 г., протокол №308/26 диссертационным советом 24.2.327.04 (Д 212.125.15), созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, приказ о создании совета № 129/нк от 22.02.2017 г. и приказы о внесении изменений в состав совета № 1131/нк от 23.05.2023 г. и № 411/нк от 29.05.2026 г.

Соискатель Игнатьев Захар Евгеньевич, 08 июля 1991 года рождения, в 2014 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», в 2018 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», работает инженером-технологом в ПАО «ОДК-Сатурн» Государственной корпорации по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной продукции «Ростех».

Диссертация выполнена на кафедре «Материаловедение, литье и сварка» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель:

доктор технических наук Шатульский Александр Анатольевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», кафедра «Материаловедение, литье и сварка», заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Самойленко Василий Михайлович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», кафедра «Авиатопливообеспечение и ремонт летательных аппаратов», заведующий кафедрой;

Овчинников Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», кафедра «Материаловедение», заведующий кафедрой

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, в своем положительном отзыве, подписанном Кузнецовой Л.П., и.о. заведующего кафедрой «Технологии материалов и транспорта» и утвержденном Алтуховым А.Ю., проректором по научной работе и международной деятельности, кандидатом технических наук, доцентом, указала, что диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденном

Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (технические науки).

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Шатульский А.А. О механизме протекания процесса рекристаллизации в поверхностном слое отливки после пескоструйной обработки / А.А. Шатульский, З.Е. Игнатьев // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. 2016. № 1 (36). С. 72–75. (ВАК).

2. Серебряков С.П. Анализ технологических факторов предупреждения точечных поверхностных дефектов при жаропрочном литье по выплавляемым моделям / С.П. Серебряков, А.А. Берстнев, З.Е. Игнатьев // Заготовительные производства в машиностроении. – 2017. – Т. 15, № 12. – С. 534-536. (Белый список, К2, ВАК).

3. Шатульский А.А. Применение защитных слоев на основе Al_2O_3 в термобарьерных покрытиях, полученных электронно-лучевым осаждением из паровой фазы / А.А. Шатульский, З.Е. Игнатьев // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. 2018. № 1 (44). С. 104-108. (ВАК).

4. Шатульский А.А. Влияние расположения деталей в рабочей камере установки на микроструктуру керамических покрытий, нанесенных методом электронно-лучевого испарения с конденсацией из паровой фазы / А.А. Шатульский, С.П. Серебряков, З.Е. Игнатьев // Вестник РГАТА имени П.А. Соловьева. 2024. №3 (70). С.82-86. (ВАК).

5. Игнатьев З.Е. Исследование влияния различных способов подготовки на качество поверхности монокристаллических рабочих лопаток турбины из жаропрочных никелевых сплавов / Игнатьев З.Е., Шатульский А.А. //

Заготовительные производства в машиностроении. – 2025. – Т.23. – №8. – С.369-377. (Белый список, К2, ВАК).

6. Игнатьев З.Е. Анализ и разработка методов устранения производственных дефектов теплозащитных покрытий, получаемых электронно-лучевым испарением / Игнатьев З.Е., Шатульский А.А // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. 2025. – том 15. – №2. – С. 45-62. (Белый список, К2, ВАК).

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных Игнатьевым З.Е. работах.

На автореферат поступило 14 отзывов: от ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева» за подписью д.т.н., профессора Леушина И.О.; от АО «Новые инструментальные решения» за подписью технического директора, к.т.н. Крылова И.В.; от ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет» за подписью д.т.н., профессора Кечина В.А.; от ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» за подписью, д.т.н., профессора Крохалева А.В.; от ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» за подписью д.т.н., доцента, Бахматова П.В.; от ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова» за подписью доцента, д.т.н., Сычкова А.Б.; от ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» за подписью к.т.н., доцента Зарубиной О.А.; от ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» за подписью д.т.н., профессора Ершова М.Ю.; от ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» за подписью д.т.н., профессора Латыпова Р.А.; от ФГАО ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» за подписью д.т.н., доцента Колтыгина А.В.; от ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» за подписью д.т.н., профессора Никитина К.В.; от ФГАОУ ВО «Московского государственного технологического университета «СТАНКИН» за подписью д.т.н., доцента Кусманова С.А.; от ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет

им. Л.Н. Толстого» за подписью д.т.н., доцента Чуканова А.Н.; от ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина за подписью д.т.н., профессора Тягунова А.Г.

13 отзывов положительных, в них отражена научная новизна, актуальность и практическая значимость работы, 1 отзыв отрицательный, некоторые отзывы содержат замечания, например:

- насколько указанные в первом пункте научной новизны технологические параметры являются универсальными, а не привязанными к конкретной установке?

- из автореферата не ясно представлена ли сравнительная оценка основных характеристик существующих и предлагаемых технологий нанесения покрытий;

- на стр. 14 автореферата предложена линейная математическая зависимость между толщиной покрытия и параметрами технологического процесса их нанесения, однако целесообразно было бы оценить адекватность и более сложных зависимостей, например, степенной полиномиальной;

- на стр. 10 автореферата представлена таблица «Производственные дефекты теплозащитных покрытий, сформированных электронно-лучевым методом в вакууме», относящаяся к главе 3 диссертации, в которой среди дефектов присутствует загрязнение поверхности материала перед нанесением теплозащитных покрытий. Данный дефект не относится к технологии электронно-лучевого формирования покрытий, т.к. образование инородных включений в поверхностном слое лопаток происходит при подготовительных операциях, предшествующих формированию металлического жаростойкого слоя;

- что, по мнению автора, является объектом (объектами) и предметом (предметами) выполненного исследования?

- в автореферате не приведены сведения о результатах зарубежных исследований по тематике работы и их авторах;

- в таблицах 5, 6 и 7 автореферата представлены оценки коррозионной и термоциклической стойкости, адгезионной прочности систем покрытий, но не понятно, как давалась оценка качественно-количественных показателей: «+ + +»

наивысшая оценка; «+ +» средняя оценка; «+» удовлетворительная оценка; «-» неудовлетворительная оценка.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области данной диссертационной работы, подтвержденной наличием у них соответствующих публикаций, а также их согласием.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый состав теплозащитного покрытия, отличающийся формированием дополнительного микрослоя на основе моноалюминид никеля между основным жаростойким и керамическим слоями или на поверхности керамического покрытия, позволивший повысить долговечность и коррозионную стойкость рабочих лопаток ГТД.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что одной из причин снижения ресурса монокристаллических рабочих лопаток ГТД является протекание рекристаллизационных процессов в поверхностном слое при эксплуатации вследствие сохранения остаточных напряжений, возникающих при пескоструйной очистке поверхности перед нанесением покрытия;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования структуры материалов, в том числе сканирующей электронной микроскопии и EDS-анализа, а также статистические методы обработки экспериментальных данных;

изложены научные положения, отражающие характер и закономерности влияния параметров нанесения керамических покрытий, сформированных электронно-лучевым осаждением в вакууме, на их микроструктуру;

раскрыт механизм влияния основных технологических параметров при электронно-лучевом осаждении в вакууме на структуру и свойства керамических теплозащитных покрытий;

изучены закономерности изменения фазового состава и микроструктуры теплозащитных покрытий в зависимости от технологических параметров (тока

подогрева и числа оборотов штока), показано их влияние на коррозионную стойкость и термоциклическую долговечность.

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

разработан и опробован в условиях производства ПАО «ОДК-Сатурн» технологический процесс нанесения теплозащитных покрытий с промежуточными слоями алюминид- никеля, что позволило на 78% повысить их долговечность в условиях высокотемпературного циклического воздействия и на 18% коррозионную стойкость;

определены оптимальные режимы подготовки поверхности лопаток перед процессом формирования теплозащитных покрытий, включающие механическую очистку с электролитно-плазменной полировкой, которые обеспечивают снижение поверхностных напряжений и исключают протекание рекристаллизационных процессов в процессе эксплуатации;

представлены методические рекомендации по анализу и разработке методов устранения производственных дефектов теплозащитных покрытий, получаемых электронно-лучевым осаждением в вакууме.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании с применением современных методов исследования, показана воспроизводимость результатов измерения характеристик структуры и свойств теплозащитных покрытий; обработка результатов проводилась с использованием методов математической статистики, результаты проведенных экспериментов коррелируют с ранее полученными результатами отечественных и зарубежных исследований.

теория построена на основе корректного использования фундаментальных положений физического металловедения, теории жаропрочности, согласуется с экспериментальными данными и подтверждается результатами производственного опробования;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта

нанесения теплозащитных покрытий на материалах, применяемых в газотурбинных двигателях;

использованы современные методики сбора информации в известных российских и зарубежных информационно-поисковых системах.

Личный вклад соискателя состоит в теоретическом обосновании поставленных целей и задач, планировании и проведении экспериментальных исследований, интерпретации и обобщении полученных результатов, формулировании выводов, разработке технологии получения новых теплозащитных покрытий и методик их испытаний, разработке математической модели и методики расчета характеристик теплозащитных покрытий, уточнении нормативной документации, апробации созданных систем покрытий.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- на пятнадцатом слайде была приведена математическая зависимость для определения толщины покрытия в зависимости от технологических факторов. Неясно, существует ли оптимальная толщина покрытия лопаток;

- в работе указано влияние никель-алюминиевого слоя на формирование оксидного слоя TGO, который является важной отрицательной характеристикой, влияющей на ресурс. Не вполне понятно, как влияет на TGO никель-алюминий;

- исходя из математической зависимости следует, что увеличение тока подогрева и времени подогрева поверхности приводят к снижению толщины сформированного покрытия. Отсутствуют разъяснения, какие физические процессы являются основой этого явления.

Соискатель Игнатьев З.Е.. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

- оптимальная толщина покрытия задаётся исходя из конструкторской документации. Возникновение разнотолщинности покрытия является основным дефектом при их производстве. Если толщина покрытия не соответствует выбранным критериям, то покрытие удаляется и наносится заново до того момента, пока не будет достигнута оптимальная толщина покрытия. Однако для

теплозащитных покрытий, сформированных электронно-лучевым испарением в вакууме, оптимальной толщиной, является значение порядка 200—300 мкм. После превышения 200—300 мкм в покрытии возникают напряжения, которые приводят к деградации теплозащитного покрытия;

– выбор материала никель-алюминиевого слоя основан не на случайных факторах, а на прохождении этапов по оценке эффективности разных материалов. В диссертационной работе была выполнена работа по совместному нанесению слоев никеля, кобальта и алюминия электронно-лучевым способом, однако данная технология к положительным результатам не привела. В дальнейшем была использована технология нанесения чистого алюминия на поверхность жаростойкого слоя, однако эта технология также не привела к положительному результату, вероятно, из-за влияния нагрева поверхности при нанесении покрытия слой алюминия не был сформирован, и это не повело к положительному результату. С точки зрения формирования поверхностного оксида, при образовании окисления основного жаростойкого слоя формируется не сплошная плёнка Al_2O_3 , а шпинель. Шпинель имеет комплексный состав оксидов, которые оказывают отрицательное воздействие;

– при увеличении тока подогрева, соответственно, происходит увеличение температуры поверхности. Вследствие этого градиент между температурой испарения и температурой подложки снижается. В результате снижения градиента происходит частичное снижение толщины формирования покрытия. При увеличении температурного градиента повышается скорость осаждения покрытия на поверхности изделия, что выражается в увеличении общей скорости роста толщины.

На заседании 25 июня 2026 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки по повышению ресурса рабочих лопаток ГТД на основе управления процессом формирования структуры поверхностного слоя при нанесении теплозащитных покрытий, имеющие существенное значение для страны присудить Игнатьеву З.Е. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (технические науки), участвовавших в заседании; из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Мамонов Андрей Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета



Скворцова Светлана Владимировна

25 июня 2026 года

Проректор по научной работе



Иванов Андрей Владимирович