

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.415.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 16.09.2026 г. № 256

О присуждении Андронову Артему Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Электронно-лучевой синтез теплозащитных керамических покрытий на основе диоксида циркония в форвакуумной области давлений» по специальности 1.3.5 – «Физическая электроника» принята к защите 03 апреля 2026 г. (протокол заседания № 249) диссертационным советом 24.2.415.03, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, приказ о создании совета № 1030/нк от 30.12.2013 г.

Соискатель Андронов Артем Андреевич, 04 апреля 1998 года рождения, в 2022 году окончил магистратуру Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) по направлению подготовки 11.04.01 «Радиотехника», затем освоил программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ТУСУР (год окончания обучения - 2026 г.), в настоящее время работает младшим научным сотрудником в Лаборатории пучково-плазменной модификации диэлектриков кафедры физики ТУСУР.

Диссертация выполнена на кафедре физике Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР).

Научный руководитель – доктор технических наук Юшков Юрий Георгиевич, заведующий Лабораторией пучково-плазменной модификации диэлектриков, профессор кафедры физики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

Официальные оппоненты:

Паперный Виктор Львович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей и космической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет», г. Иркутск;

Егоров Иван Сергеевич, кандидат технических наук, научный сотрудник научно-производственной лаборатории Импульсно-пучковых, электроразрядных и плазменных технологий (ИШНПТ) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЯФ СО РАН) в своем положительном отзыве, подписанном Черепановым Дмитрием Евгеньевичем, кандидатом физико-математических наук, научным сотрудником лаборатории 10, и утвержденном Логачевым Павлом Владимировичем, доктором физико-математических наук, академиком РАН, исполняющим обязанности директора ИЯФ СО РАН, указала, что диссертация Андронova Артема Андреевича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой были получены важные научно-технические результаты, которые поспособствовали развитию методов электронно-лучевого синтеза теплозащитных керамических покрытий. Отмечено также, что полученные в работе результаты обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, диссертационная работа соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства Российской Федерации от 24.06.2013 г. № 842 (в редакции от 16.10.2024 г.), предъявляемых к кандидатским диссертациям, содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.5 – «Физическая электроника», а ее автор, Андронов А.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 37 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 19 работ, из них 7 работ опубликовано в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, а именно 1 работа опубликована в рецензируемом научном издании, входящем в перечень ВАК, и 6 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus, Web of Science и соответствующих требованиям ВАК. Технические решения, полученные при выполнении диссертационных исследований, защищены 2 патентами РФ на изобретение, 3 патентами РФ на полезную модель и 2 свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ. В достижение опубликованных результатов соискателем внесен решающий творческий вклад. К наиболее значительным публикациям следует отнести:

1. Effects of the substrate rotation speed on the structure and uniformity of YSZ coatings fabricated by electron-beam synthesis in the forevacuum pressure range / **A.A. Andronov**, A.A. Zenin, D.B. Zolotukhin [et al.] // High Temperature Material Processes. – 2025. – Vol. 29, № 1. – P. 89–98. – DOI: 10.1615/hightempmatproc.2024054462.

2. The effect of substrate roughness on the morphology and adhesive strength of YSZ coatings deposited with a forevacuum plasma-cathode electron source / **A.A. Andronov**, D.B. Zolotukhin, A.V. Tyunkov [et al.]. // High Temperature Material Processes. – 2026. – Vol. 30, № 1. – P. 39-46. – DOI: 10.1615/HighTempMatProc.2025058338.

3. Zolotukhin D.B. Ion composition of beam plasma formed by electron beam evaporation of YSZ ceramic in medium vacuum / D.B. Zolotukhin, **A.A. Andronov**, A.V. Tyunkov, Y.G. Yushkov // Vacuum. – 2025. – Vol. 234. – P. 114102. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2025.114102>.

4. Determination of the degree of ionization of vapors of conducting and dielectric materials during electron-beam evaporation in the forevacuum range of pressure /

A.V. Tyunkov, A.A. Andronov, E.M. Oks [et al.] // Vacuum. – 2023. – Vol. 208. – P. 111722. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.111722>.

5. Механизм ионизации пучковой плазмы, генерируемой электронным пучком в среднем вакууме / А.В. Тюнков, А.А. Андронов, Ю.Г. Юшков, Д.Б. Золотухин // Письма в Журнал технической физики. – 2023. – Т. 49, № 10. – С. 13–16. – DOI: 10.21883/PJTF.2023.10.55427.19539.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: от ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук», от официальных оппонентов Паперного В.Л. и Егорова И.С. **Все отзывы положительные.**

На автореферат поступило 4 отзыва: отзыв из Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» (г. Уфа), подписанный доктором технических наук, заведующим кафедрой технологии машиностроения, Президентом Академии наук Республики Башкортостан, членом-корреспондентом АН РБ, Рамазановы Камилом Нуруллаевичем и кандидатом технических наук, доцентом кафедры технологии машиностроения Назаровым Алмазом Юнировичем; отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук» (ИФМ СО РАН) (г. Улан-Удэ), подписанный доктором технических наук, главным научным сотрудником Семеновым Александром Петровичем; отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск), подписанный кандидатом физико-математических наук, доцентом, исполняющим обязанности руководителя лаборатории плазменных гибридных систем «Научно-образовательного центра Б.П. Вейнберга» Твердохлебовым Сергеем Ивановичем; отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Новосибирск), подписанный кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории 10 Астрелиным Виталием Тимофеевичем. **Все отзывы положительные.**

В отзывах отмечены следующие замечания по оформлению, а именно: на стр. 105 и стр. 106 на рисунке 4.17 и 4.18 присутствует английский язык; на стр. 115 рисунок 4.25 подписи на осях рисунка разным шрифтом. Также отмечены незначительные замечания по автореферату и диссертации: в подразделе 4.4.6 текста диссертации на рисунке 4.27 представлена аббревиатура «SRZ», но в тексте не приведена расшифровка, для ряда графиков экспериментальных данных не приведены доверительные интервалы, в автореферате отсутствуют сведения о составе испаряемой мишени и полученного покрытия.

В качестве критических замечаний отмечается:

– На с. 66 требует пояснений вывод автора о том, что увеличение давления газа в транспортирующем канале не приводит к уменьшению выходной мощности электронного пучка, несмотря на возрастающие потери интенсивности пучка вследствие рассеяния электронов на атомах газа. Полагаю, что для большей физической обоснованности приведённых результатов, автору следовало привести оценки длины свободного пробега,

и степени замагниченности электронов при данных (форвакуумных!) давлениях газа и большой длине (~ 1 м) транспортирующего канала.

– При обсуждении влияния потенциала подложки на свойства покрытий (раздел 4.3) отмечено, что покрытия, нанесенные в случае наибольшего отрицательного смещения, обладают наибольшей плотностью. Тем не менее, наиболее плотные покрытия обладают худшей микротвердостью и параметром износа. Это наблюдение выглядит контринтуитивно, и в тексте не хватает обсуждения возможных причин.

– Во втором разделе диссертационной работы представлен способ исследования масс-зарядового состава ионов пучковой плазмы с использованием модернизированного квадрупольного масс-анализатора остаточной атмосферы RGA-300. Вместе с тем, при проведении измерений в форвакуумном диапазоне давлений наличие повышенного давления в области дрейфа ионов может приводить к дополнительным столкновениям частиц и, как следствие, к частичной диссоциации молекулярных соединений, что будет влиять на точность измерения.

С рядом замечаний соискатель согласился, на все остальные замечания были даны четкие ответы.

Выбор ведущей организации ИЯФ СО РАН обусловлен её значительным опытом проведения исследований в области физики ускоренных заряженных частиц, а также разработкой технологий модификации свойств материалов с использованием пучковых методов воздействия. Выбор официального оппонента В.Л. Паперного обусловлен его высокой квалификацией в области экспериментальной физики плазмы, физики вакуумных разрядов, взаимодействия заряженных частиц и излучения с веществом, а также исследования процессов радиационной модификации материалов. Выбор официального оппонента И.С. Егорова обусловлен его научной квалификацией в области физики ускорителей заряженных частиц, сильноточной импульсной электроники, взаимодействия интенсивных электронных пучков с веществом и пучковых технологиях обработки материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая экспериментальная методика, а также предложен и реализован ряд технических решений, обеспечивающих электронно-лучевой синтез теплозащитных керамических покрытий в форвакуумном диапазоне давлений с использованием плазменных источников электронов;

предложены новые подходы к диагностике пучковой плазмы и исследованию степени ионизации керамических паров при электронно-лучевом испарении материалов;

доказаны закономерности влияния параметров электронного пучка и газовой среды на состав пучковой плазмы, а также на характеристики и свойств осаждаемых покрытий;

продемонстрирована возможность практического применения разработанной технологии для нанесения теплозащитных покрытий на изделия сложной геометрической формы с использованием пилотной технологической установки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны научные положения о закономерностях формирования пучковой плазмы и переноса вещества при электронно-лучевом испарении керамических материалов в

форвакуумном диапазоне давлений, а также о возможности получения теплозащитных покрытий с заданной структурой и свойствами в указанных условиях;

применительно к проблематике диссертации, результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс современных методов исследования, включающий масс-спектрометрический анализ состава пучковой плазмы, методы исследования структуры и фазового состава покрытий, а также экспериментальные методы диагностики процессов электронно-лучевого испарения и осаждения керамических материалов;

изложены новые научные представления о влиянии параметров электронного пучка, степени ионизации паров материала и состава рабочей газовой среды на процессы формирования теплозащитных покрытий в форвакуумной области давлений;

раскрыты особенности генерации пароплазменных потоков при электронно-лучевом испарении диэлектрических материалов и механизмы формирования керамических покрытий в условиях форвакуумного давления;

изучены причинно-следственные связи изменения масс-зарядового состава пучковой плазмы, распределения керамических паров, а также влияние технологических параметров процесса на структуру, фазовый состав и теплозащитные свойства формируемых покрытий;

проведена модернизация используемого форвакуумного источника электронов, экспериментального стенда и методики измерения масс-зарядового состава образованной пучковой плазмы, обеспечивающая получение новых результатов по теме диссертации.

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

разработаны и внедрены теплозащитные покрытия на основе диоксида циркония, частично стабилизированного оксидом иттрия, полученные при электронно-лучевом воздействии на керамическую мишень в форвакуумной области давлений;

определены перспективы практического использования теплозащитных покрытий для защиты деталей горячего тракта газотурбинных двигателей на предприятии ООО «Базовое машиностроение»;

создана и экспериментально апробирована пилотная технологическая установка, оснащённая форвакуумными плазменными источниками электронов, предназначенная для отработки технологии нанесения теплозащитных покрытий на изделия сложной геометрической формы;

представлены научно-технические решения, являющиеся основой для создания перспективных технологических комплексов электронно-лучевого нанесения теплозащитных покрытий в форвакуумном диапазоне давлений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных и апробированных методов исследования, применением сертифицированного экспериментального и диагностического оборудования, корректным выбором методик проведения экспериментов и обработки полученных данных;

идея диссертационной работы основана на необходимости установления физических закономерностей формирования пучковой плазмы и переноса вещества при

электронно-лучевом испарении керамических материалов для разработки научных основ технологии получения теплозащитных покрытий в форвакуумном диапазоне давлений.

Личный вклад соискателя состоит в участии в создании экспериментального и аналитического оборудования. Соискатель самостоятельно выбирал методики эксперимента, проводил исследования, анализировал полученные результаты и сформировал рекомендации, на основании которых оптимизированы параметры синтеза покрытий. Все результаты, составляющие научную новизну диссертации и содержание выносимых на защиту научных положений, получены автором лично. Формулировки научных положений обсуждались с научным руководителем. Соавторы, принимавшие участие в отдельных направлениях исследований, указаны в списке основных публикаций по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации не были высказаны критические замечания.

Соискатель Андронов А.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 16.09.2026 г. диссертационный совет принял решение: за решение важной научно-технической задачи, состоящей в комплексном исследовании особенностей электронно-лучевого синтеза теплозащитных керамических покрытий на основе диоксида циркония с использованием форвакуумного плазменного источника электронов, а также оптимизации условий функционирования и параметров электронного пучка и пучковой плазмы для достижения необходимой скорости осаждения покрытий, их характеристик и свойств, в наиболее полной степени удовлетворяющих современным требованиям тепловой защиты деталей и агрегатов газотурбинных двигателей, подверженных высоким температурным нагрузкам, присудить Андронову А.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 15 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 15, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета



Михайлов Михаил Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Казakov Андрей Викторович

16.09.2026 г.