

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 003.031.01, созданный на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, извещает о результатах состоявшейся 8 сентября 2022 года публичной защиты диссертации Золотухина Дениса Борисовича «Генерация и исследование пучковой и газоразрядной плазмы для модификации материалов и электрореактивного движения», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук в виде научного доклада по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Время начала заседания: 10.00

Время окончания заседания: 13.35.

На заседании диссертационного совета присутствовали 20 человек из 24 членов диссертационного совета, из них 8 докторов наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника:

- |   |           |          |
|---|-----------|----------|
| 1. Ратахин Николай Александрович – председатель диссертационного совета | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 2. Королёв Юрий Дмитриевич – зам. председателя диссертационного совета  | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 3. Озур Григорий Евгеньевич – ученый секретарь диссертационного совета  | д.т.н.    | 05.27.02 |
| 4. Багров Владислав Гавриилович – член совета                           | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 5. Иванов Юрий Фёдорович – член совета                                  | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 6. Коваль Николай Николаевич – член совета                              | д.т.н.    | 05.27.02 |
| 7. Козырев Андрей Владимирович – член совета                            | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 8. Кошелев Владимир Ильич – член совета                                 | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 9. Ломаев Михаил Иванович – член совета                                 | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 10. Лосев Валерий Фёдорович – член совета                               | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 11. Окс Ефим Михайлович – член совета                                   | д.т.н.    | 05.27.02 |
| 12. Орешкин Владимир Иванович – член совета                             | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 14. Панченко Алексей Николаевич – член совета                           | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 14. Пегель Игорь Валериевич – член совета                               | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 15. Ремпе Николай Гербертович – член совета                             | д.т.н.    | 05.27.02 |
| 16. Ростов Владислав Владимирович – член совета                         | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 17. Соснин Эдуард Анатольевич – член совета                             | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 18. Тарасенко Виктор Федотович – член совета                            | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 19. Чернов Иван Петрович – член совета                                  | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 20. Юшков Георгий Юрьевич – член совета                                 | д.т.н.    | 05.27.02 |

**Заседание вел председатель диссертационного совета доктор физико-математических наук, академик РАН Ратахин Николай Александрович.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Золотухину Д.Б. учёную степень доктора физико-математических наук.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.031.01, СОЗДАННОГО НА**  
**БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО**  
**УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ СИЛЬНОТОЧНОЙ**  
**ЭЛЕКТРОНИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ**  
**АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ**  
**СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 08.09.2022 г. № 3

**О присуждении** Золотухину Денису Борисовичу, гражданину Российской Федерации, **учёной степени доктора физико-математических наук.**

**Диссертация** «Генерация и исследование пучковой и газоразрядной плазмы для модификации материалов и электрореактивного движения» **по специальности** 01.04.04 – физическая электроника **принята к защите** 18 мая 2022 г., **протокол заседания № 2, диссертационным советом Д 003.031.01, созданным на базе** Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 634055, Томск, просп. Академический, д. 2/3, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

**Соискатель** Золотухин Денис Борисович, 31.10.1990 года рождения, **диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук** «Параметры и характеристики пучковой плазмы, генерируемой в форвакуумной области давлений электронным источником с плазменным катодом» **защитил в 2016 году в диссертационном совете, созданном на базе** Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения

Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), **работает** старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Диссертация выполнена** в лаборатории плазменной электроники кафедры физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный консультант – доктор** технических наук, профессор Окс Ефим Михайлович, заведующий лабораторией плазменной электроники кафедры физики ТУСУР.

**Официальные оппоненты:**

Гаврилов Николай Васильевич, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник;

Кривобоков Валерий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский Томский политехнический университет, научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга на правах кафедры, руководитель центра;

Паперный Виктор Львович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет, кафедра общей и космической физики, заведующий кафедрой

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), г. Москва, **в своём положительном заключении, подписанном** Казиевым Андреем Викторовичем, кандидатом физико-математических наук, научным сотрудником кафедры физики плазмы Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, Гаспаряном Юрием Михайловичем, кандидатом физико-математических наук, и.о. заведующего кафедрой физики плазмы Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, Кузнецовым Андреем Петровичем, доктором физико-математических наук, директором

Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, и Кудряшовым Николаем Алексеевичем, доктором физико-математических наук, председателем совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ, **указала, что** диссертация Золотухина Д.Б. является законченной научно-квалификационной работой, в которой в результате выполненных исследований решена важная научно-техническая проблема, заключающаяся в детальном изучении физических процессов генерации в области повышенных давлений форвакуумного диапазона пучковой плазмы, взаимодействия электронного пучка с диэлектрической мишенью и функционирования миниатюрных дуговых плазменных двигателей. Диссертация Золотухина Д.Б. соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а высокий уровень научных исследований и превышение количества публикаций в ведущих международных физических журналах требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 в редакции от 20.03.2021) делают защиту диссертации в виде научного доклада обоснованной, и соискатель Золотухин Денис Борисович достоин присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

**Соискатель имеет 76** опубликованных работ, в том числе по теме диссертации **35 работ**, которые опубликованы в рецензируемых научных изданиях из **перечня ВАК**, рекомендованных для публикации результатов диссертаций, входящих в первый (**Q1**) и второй (**Q2**) квартили библиографической базы данных Web of Science, что превышает критерий, дающий возможность защиты диссертации в виде научного доклада (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 в редакции от 20.03.2021). Объем публикаций – 36,8 п. л., из них личный вклад автора диссертации – 24,4 п. л.

Наиболее **значимые работы** по теме диссертации:

1. On the influence of electron-beam metal evaporation on parameters of beam plasma in medium vacuum / D.B. Zolotukhin, V.A. Burdovitsin, E. Oks, A.V. Tyunkov, Yu. G. Yushkov // Physics of Plasmas. – 2019. – Vol. 26, No. 5. – P. 053512, <https://doi.org/10.1063/1.5095165>.

2. Estimation and control of low (<100 V) potential on a dielectric target irradiated by an electron beam at fore-vacuum pressure / D.B. Zolotukhin, V.A. Burdovitsin, E.M. Oks // Plasma Sources Science and Technology. – 2021. – Vol. 30, No. 8. – P. 085010, <https://doi.org/10.1088/1361-6595/ac1b21>.

3. Generation of uniform electron beam plasma in a dielectric flask at fore-vacuum pressures / D.B. Zolotukhin, V.A. Burdovitsin, E.M. Oks // *Plasma Sources Sci. Technol.* – 2016. – Vol. 25, № 1. – P. 015001, <https://doi.org/10.1088/0963-0252/25/1/015001>.

4. Beam-plasma discharge in a dielectric cavity by electron beam injection / D.B. Zolotukhin, M.I. Lomaev, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov // *Plasma Sources Science and Technology.* – 2019. – Vol. 28, No. 3. – P. 035018, <https://doi.org/10.1088/1361-6595/ab0942>.

5. Effect of surrounding metallic walls on the floating potential of the target under electron-beam irradiation in medium vacuum / D.B. Zolotukhin, V.A. Burdovitsin, E.M. Oks, K.I. Karpov // *Vacuum.* – 2020. – Vol. 181. – P. 109663 (1-6), <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109663>.

6. Electron-beam heating of ceramics to moderate temperature at fore-vacuum pressure / D.B. Zolotukhin, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, Y.G. Yushkov // *Radiation Physics and Chemistry.* – 2022. – Vol. 197 – P. 110169, <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110169>.

7. Synthesis of magneto-dielectric coatings in electron-beam produced plasma in medium vacuum / D.B. Zolotukhin, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, V.A. Zhuravlev // *Ceramics International.* – 2021. – Vol. 47, No. 24. – P. 34704–34711, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.09.009>.

8. Improvement of micro-cathode arc thruster lifetime by deposition of boron-containing coating / D.B. Zolotukhin, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, E.M. Oks, M. Keidar // *Journal of Propulsion and Power.* – 2020. – Vol. 36, No. 5. – P. 744–751, <https://doi.org/10.2514/1.B37790>.

9. Anode ablation and performance improvement of micro-cathode arc thruster / D. Zolotukhin, S. Hurley, M. Keidar // *Plasma Sources Science and Technology.* – 2019. – Vol. 28, No. 3. – P. 034001, <https://doi.org/10.1088/1361-6595/ab01ec>.

10. Optimization of discharge triggering in micro-cathode vacuum arc thruster for CubeSats / D. Zolotukhin, M. Keidar // *Plasma Sources Science and Technology.* – 2018. – Vol. 27. – P. 074001 (9pp), <https://doi.org/10.1088/1361-6595/aacdb0>.

11. Onset of the magnetized arc and its effect on the momentum of a low-power two-stage pulsed magneto-plasma-dynamic thruster / D.B. Zolotukhin, K.P. Daniels, L. Brieda, M. Keidar // *Physical Review E.* – 2020. – Vol. 102, No. 2. – P. 021203, <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.102.021203>.

**На диссертацию и автореферат** поступили 11 **отзывов**, все отзывы положительные:

1. Отзыв на автореферат заведующего отделением физики плазмы и плазменных технологий Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова

Национальной академии наук Беларуси, доктора физико-математических наук, члена-корреспондента НАН Беларуси Асташинского Валентина Мироновича. Отзыв положительный, имеется замечание: «следует отметить стилистическую некорректность названия и его не совсем точное отражение содержания диссертации в части «электрореактивного движения», что, конечно же, не сказывается на достаточно высокой оценке диссертации».

2. Отзыв на автореферат и.о. ведущего научного сотрудника ФГБУН ФИЦ Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, доктора физико-математических наук Баренгольца Сергея Александровича. Отзыв положительный, имеются замечания: «К недостаткам текста диссертации следует отнести наличие громоздких предложений, затрудняющих их смысловое восприятие. Например, на стр. 4 (второй абзац), предложение состоит из 12 строк. Цель работы сформулирована в виде предложения, состоящего из 11 строк и т.д.», «В защищаемом положении под номером 3 следовало бы заменить порядок слов с «... дополнительный вклад в ионизацию вторичных электронов со стенок полости обеспечивает...» на «... дополнительный вклад вторичных электронов со стенок полости в ионизацию обеспечивает...».

3. Отзыв на автореферат заведующего отделом физики плазмы ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», доктора физико-математических наук Водопьянова Александра Валентиновича. Отзыв положительный, имеются замечания: «Положения, выносимые на защиту: положение 8 - ошибка в размерности удельного импульса»; «Раздел 1.1, стр. 20: утверждается, что «... наличие газа в рабочем объеме преобразует состав поверхности и способно оказать влияние на величину коэффициента вторичной электронной эмиссии». Это утверждение вызывает непонимание и нуждается в пояснении. На первый взгляд кажется, что под действием непрерывного электронного пучка достаточной интенсивности поверхность материала должна быть свободной от адсорбированных газов и молекулы газа не должны оказывать действие на свойства поверхности»; «Раздел 1.1, стр. 24. Ошибка в предложении «При этом с ростом давления доля теплового излучения в процессах теплоотвода сравнивается...». Вероятно, имеется в виду «с ростом температуры»; «Раздел 1.2, стр. 28. Неверное использование термина «микроволновый разряд»; «В работе используются различные единицы давления Торр и Па, лучше использовать только одну систему единиц».

4. Отзыв на автореферат заместителя директора по научной работе Объединённого института высоких температур Российской академии наук,

доктора физико-математических наук, доцента Гаврикова Андрея Владимировича. Отзыв положительный, имеется замечание: «На рисунке 12 (б) отмечены точки с измеренной температурой электронов, и рядом с точками проведена некоторая кривая, описание которой отсутствует».

5. Отзыв на автореферат директора Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», доктора физико-математических наук, доцента Залесского Виталия Геннадьевича. Отзыв положительный, имеются замечания: «В докладе отсутствует описание (насколько стандартных?) методик зондовых измерений в плазме, поэтому возникает вопрос о достоверности измерения электронной температуры, особенно в пучковой плазме со столь высокой точностью. Представляется, что спектральные методики, которые применялись в данной работе, в других целях были бы уместнее и в этой части исследований»; «Остается непонятным, как и почему потенциал мишени влияет на ее коэффициент вторичной электронной эмиссии, поскольку изменение ее потенциала влияет в первую очередь на перераспределение потоков из плазмы, а не только на энергию ускоренных электронов»; «В тексте доклада присутствуют фразы, которые требуют пояснения, например, на стр. 20 «... наличие рабочего газа в объеме преобразует состав поверхности и способно оказать влияние на величину ВЭЭ...». За счет адсорбции? Тогда как влияет состав форвакуумной атмосферы?»; «Остается непонятным, зачем управлять потенциалом диэлектрической мишени, поскольку диапазон этого изменения за счет дополнительного электрода очень мал и не может оказать существенного влияния, например, на температуру объекта»; «В работе не указано как применялись отдельные результаты исследований, например, механизмов теплоотвода от мишени через державку и других, при реализации конкретных технологий».

6. Отзыв на автореферат начальника Национального Исследовательского Центра «Курчатовский Институт», кандидата физико-математических наук Казеева Михаила Николаевича. Отзыв положительный, имеется замечание: «Из текста не ясно каким методом измерялась тяга, и состав рабочего тела вакуумно-дугового двигателя в одноступенчатой и двухступенчатой конфигурации».

7. Отзыв на автореферат начальника лаборатории Научно-технического центра «Синтез» Акционерного общества «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова», доктора технических наук Косогорова Сергея Леонидовича. Отзыв положительный, замечаний нет.

8. Отзыв на автореферат заместителя директора по научной работе по ускорительному направлению Института теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального Исследовательского Центра «Курчатовский институт», доктора технических наук Кулевого Тимура Вячеславовича. Отзыв положительный, имеются замечания: «Сравнение экспериментальных результатов, представленных на Рис. 2, с расчетными данными (рис. 3), указывает на тот факт, что предложенная автором модель хорошо описывает изменение концентрации плазмы и температуры электронов в ходе электронно-лучевого испарения меди на начальном этапе данного процесса. Однако снижение темпа роста концентрации, наблюдаемое в экспериментальных результатах, с последующим ростом энергии электронного пучка указывает на наличие дополнительного механизма, который не нашел отражения в предложенной автором модели. Хотелось бы рекомендовать автору развить модель, чтобы определить механизм этого явления»; «Выполнение графиков, представленных на рисунке 25, нельзя признать оптимальным, т.к. они не дают возможности однозначно согласиться с выводами о существенном влиянии рода рабочего газа на микротвердость образца с синтезированным борсодержащим покрытием, как минимум в области от 50 до 2000 нм. Представление кривых на графиках в одном масштабе или же на одном графике, позволили бы снять этот вопрос»; «Большое различие в величине оптимального зазора вакуумно-дугового двигателя для обеспечения оптимального ресурса его эксплуатации в режимах малой и высокой мощности (рис. 31, а) ставит вопрос выбора этого зазора для реального двигателя, который в тексте диссертации не нашел своего освещения»; «На мой взгляд выбрано не очень удачное название для «аблирующего» анода. На мой взгляд, абляция анода является следствием такой геометрии разрядного промежутка, а не причиной увеличения мощности двигателя. Однако признаю за автором право ввода своей терминологии там, где она не определена ГОСТом».

9. Отзыв на автореферат профессора кафедры экспериментальной физики Северо-Кавказского федерального университета, доктора технических наук, доцента Мартенса Владимира Яковлевича. Отзыв положительный, содержит замечания: «На рис. 13 представлены экспериментальные (а) и рассчитанные (б) продольные профили концентрации плазмы в диэлектрической полости для различных энергий пучка, но значения энергий не указаны. Кроме того, экспериментальные и рассчитанные значения для кривых 3 отличаются в несколько раз. Что это означает? Эксперимент не подтвердил теорию?».

10. Отзыв на автореферат главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, доктора технических наук, профессора Семенова Александра Петровича. Отзыв положительный, содержит замечание: «требуется пояснения вклад каждого из электронных компонентов в процесс генерации плазмы в области, прилегающей к мишени, в частности, упруго и неупруго отраженных электронов, и «истинно» вторичных электронов, выбитых из диэлектрика первичными электронами».

11. Отзыв на автореферат ведущего научного сотрудника Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, доктора физико-математических наук Швейгерт Ирины Вячеславовны. Отзыв положительный, имеются замечания: «Подпись к рис. 5 обрывается на середине предложения»; «Отсутствуют данные по энергии пучка электронов в рис. 12»; «Нет пояснения к обозначениям 1, 2, 3 к рис. 13»; «По содержанию автореферата, отмечу, что в главе 1 проведены значительные исследования по определению коэффициента вторичной эмиссии, но не дана функциональная зависимость коэффициента от энергии электронов»; «Говоря о зажигании плазмы в диэлектрической полости, необходимо оценить дебаевский радиус и сравнить с размерами полости»; «В главе 3, для плазменного двигателя рассмотрена плоская конфигурация, и необходимо сделать обобщение результатов на реальный цилиндрический дизайн».

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их высокой научной квалификацией и известностью в области физики газового разряда, включая физику вакуумного дугового разряда и низкотемпературной плазмы, наличием у них публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** научная концепция генерирования пучковой и газоразрядной плазмы для модификации материалов и электрореактивного движения;

**предложены** оригинальные экспериментальные методы для диагностики пучковой плазмы и изучения особенностей взаимодействия электронного пучка с диэлектрической мишенью в форвакуумной области давлений;

**доказан** существенный вклад вторичных электронов в процессы формирования пучковой плазмы при взаимодействии электронного пучка с диэлектрической мишенью;

**введено** новое понятие «двухступенчатый вакуумно-дуговой электрореактивный магнитоплазгодинамический двигатель».

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**  
**доказаны** научные положения, определяющие физические механизмы генерации пучковой и газоразрядной плазмы в области «форвакуумного» диапазона давлений, а также процессы функционирования импульсного вакуумно-дугового разряда в неоднородном магнитном поле;  
**применительно к проблематике диссертации результативно, с получением обладающих новизной результатов**  
**использован** комплексный подход с применением экспериментальных методов, оценочных расчетов и численного моделирования для описания процессов генерирования и эволюции пучковой и газоразрядной плазмы;  
**изложены** аргументы, свидетельствующие об определяющем вкладе в ионизационные процессы вторичной электронной эмиссии с поверхности мишени, облучаемой в форвакуумной области давлений электронным пучком;  
**раскрыты** проявления эффекта «активации» вакуумно-дугового разряда в двухступенчатой конфигурации импульсного вакуумно-дугового двигателя;  
**изучены** особенности физических процессов генерации пучковой многокомпонентной плазмы при электронно-лучевом воздействии на различные материалы в форвакуумной области давлений;  
**проведена модернизация** модели для численных расчетов процессов генерации пучковой плазмы в диэлектрической полости, учитывающей роль коллективных процессов диссипации энергии электронов пучка, а также вклад в ионизацию потока вторичных электронов.

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

**разработаны и внедрены** оригинальные методы получения из пучковой плазмы покрытий с определенными, востребованными с практической точки зрения свойствами – упрочняющими, электроизолирующими, магнитными и диэлектрическими;  
**определены** перспективы электронно-лучевой обработки материалов в форвакуумной области давлений для генерации плотной многокомпонентной пучковой плазмы и синтеза из нее защитных и функциональных покрытий, а также использования двухступенчатой конфигурации импульсного вакуумно-дугового двигателя для малых космических аппаратов;  
**созданы** прототипы миниатюрных вакуумно-дуговых плазменных двигателей с рекордными удельными параметрами и даны практические рекомендации для повышения их ресурса;

**представлены** предложения по дальнейшему совершенствованию вакуумно-дуговых двигателей для малых космических аппаратов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**  
**для экспериментальных работ** результаты получены на современном оборудовании в результате многократных измерений в контролируемых условиях с учетом систематических и случайных погрешностей;  
**теория** взаимовлияния в форвакуумной области давлений электронного пучка, пучковой плазмы и облучаемой пучком диэлектрической мишени согласуется с экспериментальными данными, полученными в диссертации, и доступной информацией в литературных источниках;  
**идея базируется** на анализе и обобщении передового опыта отечественных и зарубежных научных коллективов, а также на многолетних результатах исследований коллектива, в котором работает соискатель;  
**использованы** сравнения авторских данных и данных из литературных источников, полученных ранее по исследованию физических процессов, лежащих в основе генерации пучковой и газоразрядной плазмы в области среднего (форвакуум) и высокого вакуума;  
**установлено** качественное соответствие полученных соискателем результатов с литературными данными;  
**использованы** современные и апробированные методики измерения и контроля параметров пучковой и газоразрядной плазмы и ее масс-зарядового состава.

**Личный вклад соискателя состоит:**

В постановке задач исследований, теоретической оценке и численном моделировании физических процессов, участии в проведении экспериментов, в разработке, изготовлении и отладке прототипов двигателя и экспериментального оборудования, в анализе полученных результатов, в формулировании заключений и выводов, и в представлении результатов в публикациях.

**В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания**, отраженные в отзывах, дискуссии и замечаниях оппонентов.

**Соискатель Золотухин Д.Б. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию**, что отражено в стенограмме.

На заседании 8 сентября 2022 г. диссертационный совет за решение крупной научной проблемы генерации пучковой и газоразрядной плазмы для модификации материалов и электрореактивного движения, имеющей большое значение для развития физической электроники (в части плазменной

эмиссионной электроники), **принял решение присудить** Золотухину Д.Б. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета,  
академик РАН



*Н.А. Ратахин*

Ратахин Н.А.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук

*Г.Е. Озур*

Озур Г.Е.

«08» сентября 2022 г.