

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет 24.1.115.02 (Д 003.031.01), созданный на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, извещает о результатах состоявшейся 17 января 2025 года публичной защите диссертации Островерховым Евгением Владимировичем на тему: “Генератор протяженных объемно-однородных пучково-плазменных образований для азотирования сталей”, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. вакуумная и плазменная электроника.

Время начала заседания: 15.00

Время окончания заседания: 18.15.

На заседании диссертационного совета присутствовали 14 человек из 16 членов диссертационного совета, из них 5 докторов наук по специальности 2.2.1. –вакуумная и плазменная электроника:

- |   |           |        |
|---|-----------|--------|
| 1. Ратахин Николай Александрович – председатель диссертационного совета   | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 2. Романченко Илья Викторович – зам. председателя диссертационного совета | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 3. Озур Григорий Евгеньевич – ученый секретарь диссертационного совета    | д.т.н.    | 2.2.1. |
| 4. Воробьев Максим Сергеевич – член совета                                | д.т.н.    | 2.2.1. |
| 5. Иванов Юрий Фёдорович – член совета                                    | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 6. Климов Александр Сергеевич – член совета                               | д.т.н.    | 2.2.1. |
| 7. Коваль Николай Николаевич – член совета                                | д.т.н.    | 2.2.1. |
| 8. Козырев Андрей Владимирович – член совета                              | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 9. Кошелев Владимир Ильич – член совета                                   | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 10. Ломаев Михаил Иванович – член совета                                  | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 11.Пушкарев Александр Иванович – член совета                              | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 12. Ростов Владислав Владимирович – член совета                           | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 13. Соснин Эдуард Анатольевич – член совета                               | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 14. Юшков Георгий Юрьевич – член совета                                   | д.т.н.    | 2.2.1. |

**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 – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение **присудить Островерхову Е.В.** учёную степень кандидата технических наук.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.115.02 (Д 003.031.01), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА СИЛЬНОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 17.01.2025 г. № 3

О присуждении Островерхову Евгению Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Генератор протяжённых объёмно-однородных пучково-плазменных образований для азотирования сталей» по специальности 2.2.1 – вакуумная и плазменная электроника принята к защите 13 ноября 2024 года (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.115.02 (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 № 1555/нк от 21 ноября 2022 г.

Соискатель Островерхов Евгений Владимирович, 16 марта 1986 года рождения, в 2021 году закончил очную аспирантуру ИСЭ СО РАН по направлению подготовки 11.06.01 – электроника, радиотехника и системы связи, и научной специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника. Работает младшим научным сотрудником в ИСЭ СО РАН.



Диссертация выполнена в лаборатории пучково-плазменной инженерии поверхности ИСЭ СО РАН. Научный руководитель – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ИСЭ СО РАН Денисов Владимир Викторович.

**Официальные оппоненты:**

Сайфутдинов Алмаз Ильгизович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»;

Телех Виктор Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Плазменные энергетические установки» (Э-8) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), г. Новосибирск, в своем положительном отзыве, подписанном и.о. заведующего лабораторией разреженных газов, ведущим научным сотрудником, д.ф.-м.н. Морозовым Алексеем Анатольевичем и старшим научным сотрудником, к.ф.-м.н. Пинаевым Вадимом Александровичем и утвержденном и.о. директора ИТ СО РАН, к.ф.-м.н. Синовским Дмитрием Филипповичем, указала, что диссертационная работа Островерхова Евгения Владимировича «Генератор протяжённых объёмно-однородных пучково-плазменных образований для азотирования сталей» является законченной научно-квалификационной работой, в которой проведено исследование по снижению степени неоднородности распределения концентрации пучково-плазменного образования в полой катодной несамостоятельной тлеющей разрядной трубе. Исследование проведено на высоком уровне и имеет существенное практическое значение для разработки и применения генераторов плазмы такого типа. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1 – вакуумная и плазменная электроника.

Содержание диссертации в полной мере отражено в 20 научных работах, из которых 11 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК (1 патент РФ на изобретение и 10 статей в журналах из перечня ВАК РФ); результаты диссертации апробированы на 11 отечественных и международных конференциях и симпозиумах.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые работы соискателя:

1. The source of volume beam-plasma formations based on a high-current non-self-sustained glow discharge with a large hollow cathode / V. V. Denisov, **E. V. Ostroverkhov**, N. N. Koval [et al.] // Physics of Plasmas. – 2019. – Vol. 26, No 12. – P. 123510.
2. Generation of homogeneous gas-discharge beam-plasma formations in an extended hollow-cathode of a high-current glow discharge / **E. V. Ostroverkhov**, V. V. Denisov, Yu. A. Denisova [et al.] // Russian Physics Journal. – 2022. – Vol. 65, No 1. – P. 141–149.
3. Extended Cylindrical Low-Pressure Arc Discharge Plasma Emitter for Generation of a Radially Diverging Electron Beam / S. S. Kovalsky, V. V. Denisov, N. N. Koval, **E. V. Ostroverkhov** // Russian Physics Journal. – 2021. – Vol. 63, No 10. – P. 1735–1742.
4. Патент РФ № 2686975. Способ ионно-плазменного азотирования изделий из титана и титаносодержащих сплавов. Заявл. 26.03.2018, опубл. 06.05.2019 / Денисов В. В., Коваль Н. Н., Щанин П. М., **Островерхов Е. В.**, Денисова Ю. А., Иванов Ю. Ф., Ахмадеев Ю. Х., Лопатин И. В.

#### **На автореферат диссертации поступили отзывы:**

- 1) отзыв от директора Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (ГНУ ФТИ НАН), доктора физико-математических наук Залесского Виталия Геннадьевича; заведующего сектором лучевых методов сварки отдела электронно-лучевых технологий и физики плазмы ГНУ ФТИ НАН Беларуси, кандидата технических наук Антоновича Дмитрия Анатольевича. Отзыв положительный, имеются замечания:

«1. В тексте автореферата, а так же в основных результатах и выводах по работе приведена информация о выявленных факторах, способствующих снижению неоднородности продольного распределения плотности ионного тока и продольной концентрации плазмы в полой аноде (п.2, стр. 20) и дана их количественная оценка. В то же время, из содержания



автореферата непонятно, как влияет на степень неоднородности комбинированное применение выявленных факторов.

2. В тексте автореферата отсутствуют результаты проведения исследований микроструктуры и микротвёрдости по глубине азотированного слоя в результате проведения низкотемпературного азотирования посредством созданного генератора пучково-плазменных образований»;

- 2) отзыв от профессора, заведующего кафедрой физической электроники ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет» (г. Махачкала), доктора физико-математических наук Ашурбекова Назира Ашурбековича, отзыв положительный, имеется замечание:

«В качестве пожелания хотелось бы отметить, что в автореферате при описании раздела 2.1 было бы желательно привести оценки применимости метода одиночного зонда Ленгмюра для измерения концентрации и температуры электронов плазмы в условиях, когда для стабильного зажигания несамостоятельного разряда использованы инжекторы электронов на основе дугового разряда с полым катодом. Насколько функция распределения электронов по энергиям в таких условиях близка к максвелловской?»

- 3) отзыв от доцента кафедры «Высокоэффективные технологии обработки» ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (г. Москва), кандидата технических наук Федорова Сергея Вольдемаровича, отзыв положительный, имеются замечания:

«1. Кроме рассмотренных автором технологических факторов, влияющих на эффективность ионного азотирования, существуют и дополнительные, обусловленные спецификой обработки в тлеющем разряде, в частности, конфигурация обрабатываемых деталей и их расположение в садке. Автором не рассмотрено каким образом наличие намагниченных стальных изделий в плазме газового разряда может повлиять на однородность распределения заряженных частиц.

2. Автором не проводился масс-спектрометрический анализ остаточной атмосферы и рабочей газовой смеси для отслеживания изменения её парциального состава после включения газового разряда и влияния этого изменения (в частности, возрастания парциального давления водорода и атомарного азота в плазме) на процесс азотирования»;

- 4) отзыв от старшего научного сотрудника ФГБУН Института электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН), (г. Екатеринбург), кандидата технических наук Меньшакова Андрея Игоревича, отзыв положительный, имеется замечание:

«В разделе 4 (с. 17–19 автореферата) говорится о разработанных технологических режимах азотирования различных сталей и сплавов, а среди изменяемых параметров указано лишь различное содержание азота в газовой смеси. При этом отсутствует упоминание о других параметрах, по которым проводилась оптимизация режимов азотирования различных материалов. Поскольку известно, что на свойства модифицированного слоя влияет не только состав газовой смеси, но и в том числе температура обработки, энергия и плотность ионного потока на поверхность, то было бы интересно узнать, проводилось ли исследование влияние этих и, возможно, других факторов на свойства поверхностного слоя при разработке упомянутых технологических режимов азотирования».

- 5) отзыв от старшего научного сотрудника лаборатории плазменной электроники кафедры физики ФГАОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (г. Томск), кандидата технических наук Бакеева Ильи Юрьевича, отзыв положительный, имеются замечания:

«1. На стр. 8 указано, что «У выходной апертуры инжектора электронов 1 диаметр составлял 240 мм, а у выходной апертуры инжектора электронов 2 – 150 мм, что приводило к изменению условий инжекции электронов». Столь существенная разница в апертуре источников никак визуалью не обозначена на схеме экспериментального стенда (рис. 1) и, что самое главное, не очевидна на представленных на рис. 2 распределениях: радиальные распределения на уровнях 0 и 1000 мм практически идентичны из чего можно предположить идентичность ширины электронных пучков от обоих источников. С какой стороны источник с апертурой 240 мм, с какой стороны 150 мм? И что очень интересно, как изменились бы результаты и выводы исследования для одинаковых электронных источников – ведь в виду симметрии интуитивно ожидается более однородное продольное распределение?»

2. Результаты, представленные в третьей главе, выглядят как демонстрация решения отдельной задачи, несколько оторванной от общей концепции диссертационной работы. Однородность распределения плазменных образований, создаваемых рассматриваемым в данной главе генератором с полым анодом, заведомо проигрывает рассматриваемому во второй главе генератору с двумя электронными источниками. Полученные на основе главы 3 выводы не используются далее при демонстрации генератора с новыми параметрами или практического применения».



**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывался** тем, что оба оппонента и ведущая организация имеют значительный опыт и высокую компетентность в области физики газового разряда, а также в области физики и техники источников электронов, в том числе, в области ионно-плазменной обработки металлов и сплавов; могут дать рекомендации по практическому применению результатов и дальнейшему развитию тематики диссертационной работы.

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

**Разработан и создан** генератор объемно-однородных пучково-плазменных образований (ППО) с объемом полого катода  $0,34 \text{ м}^3$ , используемый на практике для ионно-плазменного азотирования изделий из конструкционных и инструментальных сталей, выпускаемых промышленностью. Установка на базе данного плазмогенератора позволяет обрабатывать изделия высотой до 800 мм, диаметром до 350 мм и весом до 150 кг. Конструкция и электропитание плазмогенератора позволяют независимо регулировать напряжение горения и ток основного несамостоятельного тлеющего разряда, а также энергию ионов, поступающих на поверхность обрабатываемой детали.

**Определены** технологические режимы обработки для ряда сталей: стали для горячего деформирования (4Х5МФС и её аналоги); стали для холодного деформирования (Х12МФ и её аналоги); конструкционных сталей (40Х, 38Х2МЮА и др.). Определены основные технические возможности и сферы применения ионно-плазменного азотирования в азот-аргоновых ППО, формируемых в несамостоятельном тлеющем разряде низкого давления. Процесс азотирования промышленно выпускаемых пуансонов введен в производственный цикл ряда промышленных предприятий, что подтверждается актами внедрения результатов диссертационной работы.

**Продемонстрирован** способ упрочнения поверхностных слоёв тонкостенных, толщиной около 100 мкм, протяженных (до 300 мм) трубок из нержавеющей стали диаметром около 0,5 мм для изготовления игл медицинских катетеров с целью снижения величины прогиба готовых игл.

**Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:**

**Определены** условия применимости принципа суперпозиции распределений концентрации заряженных частиц, полученных при раздельной работе двух источников при инжекции из них электронов в плазму тлеющего разряда.

**Выявлены** зависимости степени неоднородности продольного распределения концентрации плазмы в протяженном полом сетчатом аноде вспомогательного дугового разряда от его диаметра, давления рабочего газа, напряжения горения тлеющего разряда при инъекции внутрь полого анода радиально сходящегося потока ионов из плазменного образования, формируемого основным сильноточным тлеющим разрядом с полым катодом.

**Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается:**

актами внедрения в производственные циклы промышленных предприятий;

**Оценка достоверности результатов выявила:**

Результаты получены с использованием современного технического и программного обеспечения для экспериментальной, численной и статистической обработки большого массива полученных в диссертации экспериментальных данных на современном сертифицированном оборудовании.

**Показана** воспроизводимость результатов во всем диапазоне представленных условий экспериментов.

**Применены** стандартные методы измерения характеристик пучково-плазменных образований тлеющего разряда.

**Использована** методика зондовых измерений параметров пучково-плазменных образований при соблюдении условий применимости цилиндрического зонда Ленгмюра.

**Личный вклад автора:** все результаты, составляющие научную новизну, практическую ценность и положения, выносимые на защиту, получены автором лично. Автором разработаны и апробированы конструкции отдельных узлов генератора плазмы, собрана и введена в эксплуатацию экспериментальная установка с двумя инжекторами электронов, а также генератор с протяженным полым сетчатым эмиттером радиально расходящегося потока электронов.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний сверх тех, что приведены в отзывах на диссертацию и автореферат.

Соискатель Островерхов Е.В. ответил на все задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с рядом обоснованных замечаний и привел собственную аргументацию по влиянию потока быстрых ионов поступающих из плазмы несамостоятельного тлеющего разряда на генерацию плазмы в полом аноде дугового разряда, аргументировал причины



нарушения принципа суперпозиции распределений концентрации плазмы в полом катоде тлеющего разряда при увеличении тока вспомогательного дугового разряда.

На заседании 17 января 2025 года диссертационный совет принял решение: за разработку, экспериментальную и практическую апробацию новых технических решений, снижающих степень неоднородности пучково-плазменных образований несамостоятельного сильноточного тлеющего разряда с полым катодом в больших вакуумных объёмах, что имеет большое значение для развития вакуумной и плазменной электроники, **присудить** Островерхову Е.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 5 докторов наук по специальности 2.2.1 – вакуумная и плазменная электроника, участвовавших в заседании совета, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук  
академик РАН

Ратахин Николай Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук

Озур Григорий Евгеньевич

17 январа 2025 г.