

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 публичной защиты диссертации Москвиным Павлом Владимировичем, состоявшейся 11 сентября 2026 года на тему: «Повышение стабильности генерации интенсивных импульсных пучков в источниках электронов с плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. вакуумная и плазменная электроника.

Время начала заседания: 14.00

Время окончания заседания: 15.50.

На заседании диссертационного совета присутствовали 15 человек из 16 членов диссертационного совета, из них 6 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. Козырев Андрей Владимирович – зам. председателя диссертационного совета | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 3. Соловьев Андрей Александрович– ученый секретарь диссертационного совета | к.т.н. | 2.2.1. |
| 4. Воробьёв Максим Сергеевич – член совета | д.т.н. | 2.2.1. |
| 5. Денисов Владимир Викторович – член совета | д.т.н. | 2.2.1. |
| 6. Золотухин Денис Борисович – член совета | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 7. Иванов Юрий Фёдорович – член совета | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 8. Климов Александр Сергеевич – член совета | д.т.н. | 2.2.1. |
| 9. Коваль Николай Николаевич – член совета | д.т.н. | 2.2.1. |
| 10. Кошелев Владимир Ильич – член совета | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 11. Окс Ефим Михайлович – член совета | д.т.н. | 2.2.1. |
| 12. Пушкарев Александр Иванович – член совета | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 13. Ростов Владислав Владимирович – член совета | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 14. Соснин Эдуард Анатольевич – член совета | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 15. 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 – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение **присудить Москвину Павлу Владимировичу 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 11.09.2026 г. № 3

О присуждении Москвину Павлу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение стабильности генерации интенсивных импульсных пучков в источниках электронов с плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления» по специальности 2.2.1 – вакуумная и плазменная электроника принята к защите 17 июня 2026 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 Москвин Павел Владимирович, 5 января 1986 года рождения, с 01 октября 2010 г. по 30 сентября 2013 г. обучался в очной аспирантуре ИСЭ СО РАН по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника, в период с 01 июня 2023 г. по 29 сентября 2023 г. был прикреплен в качестве экстерна к очной аспирантуре ИСЭ СО РАН по научной специальности 2.2.1 – вакуумная и плазменная электроника. Работает научным сотрудником в ИСЭ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории плазменной эмиссионной электроники ИСЭ СО РАН, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук Воробьев Максим Сергеевич, ИСЭ СО РАН, лаборатория плазменной эмиссионной электроники, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Бурдовицин Виктор Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР, г. Томск), кафедра физики, профессор,

Мартенс Владимир Яковлевич, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет» (ФГАОУ ВО СКФУ, г. Ставрополь), кафедра экспериментальной физики, профессор,

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, г. Новосибирск) **в своем положительном отзыве, подписанном** Бурдаковым Александром Владимировичем, д.ф.-м.н., профессором, главным научным сотрудником

ИЯФ СО РАН, и утверждённом и.о. директора ИЯФ СО РАН академиком РАН, д.ф.-м.н. Логачевым Павлом Владимировичем, **указала, что** диссертационная работа Москвина Павла Владимировича «Повышение стабильности генерации интенсивных импульсных пучков в источниках электронов с плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления» является законченной научно-квалификационной работой, в которой проведено исследование, направленное на уменьшение количества импульсов, в которых возникает электрический пробой ускоряющего промежутка источника электронов с плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления со стабилизированной катодной и открытой анодной поверхностью плазмы для повышения стабильности генерации электронного пучка. Исследование проведено на высоком уровне и имеет существенное практическое значение для разработки и применения источников такого типа. Диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Москвин П.В. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. – Вакуумная и плазменная электроника.

Соискатель имеет 114 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» или приравненных к ним.

В публикациях по теме диссертации личный вклад автора является определяющим в получении и обработке экспериментальных данных, анализе и представлении материала, формировании выводов. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые работы соискателя:

1. Moskvina, P. V. Electron beam generation in an arc plasma source with an auxiliary anode plasma / **P. V. Moskvina**, V. N. Devyatkov, M. S. Vorobyov [et al.] // Vacuum. — 2021. — Vol. 191. — Art. 110338. DOI: 10.1016/j.vacuum.2021.110338;

2. Shin, V. I. Increasing the Electrical Strength of the Accelerating Gap in an Electron Source with a Plasma Cathode / V. I. Shin, **P. V. Moskvina**, M. S. Vorobyev [et al.] // Instruments and Experimental Techniques. — 2021. — Vol. 64, No. 2. — P. 234-240. DOI: 10.1134/S0020441221020159;

3. Vorobyov, M. S. Spatiotemporal Dynamics of a Low-Pressure Arc and a Generated Beam in an Electron Source with a Grid Plasma Emitter / M. S. Vorobyov, **P. V. Moskvina**, V. I. Shin [et al.] // High Temperature. — 2022. — Vol. 60, No. 4. — P. 438-445. DOI: 10.1134/S0018151X22040162;

4. Shin, V. I. Latitude and amplitude modulation of the beam current for controlling its power during a submillisecond pulse / V. I. Shin, M. S. Vorobyov, **P. V. Moskvina** [et al.] // Russian Physics Journal. — 2023. — Vol. 65, No. 11. — P. 1979–1988. DOI: 10.1007/s11182-023-02859-7;

5. Москвин, П. В. Динамика извлечения электронов из сеточного плазменного катода на основе дугового разряда низкого давления / **П. В. Москвин**, М. С. Воробьев, А. А. Гришков [и др.] // Письма в Журнал технической физики. — 2023. — Т. 49, № 11. — С. 43–46. DOI: 10.21883/PJTF.2023.11.55538.19557.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв на автореферат от Каменецких Александра Сергеевича, доктора технических наук, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН, г. Екатеринбург). Отзыв положительный, имеются замечания:

1) В работе автор отмечает изменение параметров плазмы, напряжения горения разряда, характеристик, отражающих устойчивую генерацию импульсного пучка, при фиксированном значении тока разряда. I_d , различном

давлении газа и ускоряющем напряжении. В качестве основного действующего фактора указывается поток ионов, поступающих из пучковой плазмы в электронный эмиттер, однако, изменение давления газа и ускоряющего напряжения приводит к изменению эффективности извлечения электронов, что также может оказывать влияние на параметры электронного эмиттера. Необходима оценка вклада изменения эффективности извлечения электронов в наблюдаемые эффекты.

2) Ток ионов из пучковой плазмы автор определяет из баланса энергий, включающий энергию, подводимую пучком электронов к коллектору. Из автореферата не ясно, учитывался ли вклад вторичных частиц, поступающих на коллектор из плазмы и эмитированных с него, а также теплового излучения в таком расчете.

3) Положительный эффект от использования дополнительного генератора плазмы в области дрейфа электронного пучка проявляется в ограниченном сверху временном диапазоне генерации пучка (не более 15 мкс при длительности импульса тока вплоть до 50 мкс). Возможно ли увеличение этого предела до полной длительности импульса тока?

4) В заключении указывается: «Установлено, что в плазменном источнике электронов концентрация анодной пучковой плазмы и поток ионов с ее границы, проникающий через ячейки эмиссионной сетки в плазменный эмиттер, существенно влияют на потенциал плазмы». Необходимо отметить, что есть ряд работ, в которых ранее было показано влияние ионного потока из пучковой плазмы на эмиссионные характеристики и параметры плазменного катода.

2. Отзыв на автореферат от Асташинского Валентина Мироновича, доктора физико-математических наук, члена-корреспондента НАН Беларуси, заведующего отделением физики плазмы и плазменных технологий Государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси» (г. Минск). Отзыв положительный, имеется замечание:

«В качестве замечания можно отметить отсутствие в автореферате информации о концентрации заряженных частиц в плазменном катоде, когда из него не извлекают электроны».

3. Отзыв на автореферат от Мамедова Никиты Вадимовича, кандидата физико-математических наук, доцента, начальника лаборатории ионной имплантации «АО НИИТМ» (г. Зеленоград). Отзыв положительный, имеются замечания:

- 1) Во второй главе перечислены применяемые экспериментальные методы исследования, однако практически отсутствует описание самих методик измерений. Из автореферата остается не вполне понятным, какие параметры контролировались в ходе экспериментов, какими средствами измерения они определялись, каким образом проводилась калибровка измерительной аппаратуры и как оценивались погрешности определения плотности плазмы, плотности энергии электронного пучка, токов и других измеряемых величин.
- 2) При обсуждении результатов автор сопоставляет распределения, представленные на рисунках 2 и 3, однако их непосредственное сравнение затруднено, поскольку эксперименты выполнены при различных режимах работы источника (отличаются ток разряда, давление и другие параметры). Возникает вопрос, насколько корректно сопоставление этих зависимостей и чем обусловлен выбор различных экспериментальных режимов.
- 3) В работе приведено большое количество экспериментальных результатов, однако практически отсутствует информация о повторяемости экспериментов и количестве выполненных измерений. Представляется интересным узнать, каким образом оценивалась воспроизводимость полученных результатов и статистическая достоверность выявленных закономерностей.
- 4) В ряде случаев автор использует качественные формулировки («существенно», «кратно», «заметно», «эффективно»), которые желательно сопровождать количественной оценкой или статистическим критерием.
- 5) В выводах автор делает заключение о возможности применения разработанных технических решений для широкого класса источников

электронов с плазменным катодом. Вместе с тем экспериментальные исследования выполнены на конкретной конструкции источника. В связи с этим представляет интерес вопрос о границах применимости предложенных методов и возможности их использования в других типах источников электронов.

4. Отзыв на автореферат от Косогорова Сергея Леонидовича, доктора технических наук, начальника научно-исследовательской лаборатории пучковых технологий отделения «Плазменно-пучковые технологии» НТЦ «Синтез» АО «НИИЭФА» (г. Санкт-Петербург). Отзыв положительный, имеются замечания:

- 1) Целью работы заявлен поиск методов повышения стабильности генерации широкоапертурного электронного пучка, где под последним понимается пучок площадью десятки-сотни см^2 . Какие исследования подтверждают улучшение стабильности для пучка площадью сотни см^2 ? Автореферат не содержит результаты исследований для такой большой площади пучка.
- 2) В автореферате отмечается, что транспортировка электронного пучка с поворотом траектории на 90 градусов позволяет до 2,3 раз повысить максимальный ток в ускоряющем промежутке относительно системы транспортировки без поворота, однако отсутствуют данные о том, как изменилась вероятность пробоя ускоряющего промежутка после поворота канала при прочих равных условиях, хотя это основной исследуемый в работе показатель. Отсутствуют также данные, как на вероятность пробоя влияет длина канала транспортировки.

5. Отзыв на автореферат от Курзиной Ирины Александровны, доктора физико-математических наук, доцента, заведующей кафедрой природных соединений, фармацевтической и медицинской химии химического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (ТГУ, г. Томск). Отзыв положительный, имеются замечания:

«Несмотря на высокий уровень работы, в ходе ознакомления с авторефератом возник ряд замечаний, которые автору целесообразно обсудить в ходе защиты»

1) Касательно метода увеличения фронта тока разряда. В первом положении на защиту указано, что увеличение фронта тока разряда с 1,5 мкс до 30 мкс снижает долю пробоев с 25% до 8%. Однако в тексте автореферата (стр. 20) справедливо отмечено, что этот метод целесообразен для импульсов длительностью от 100 мкс. Как формирование столь затянутого фронта (30 мкс) влияет на энергоэффективность и производительность технологического процесса при обработке материалов, если требуется генерация более коротких импульсов (например, 50 мкс), где потеря энергии на фронте будет критичной? Существуют ли компромиссные решения для коротких импульсов?

2) В автореферате не затрагиваются массогабаритные характеристики и сложность интеграции такой громоздкой магнитной системы в существующие промышленные технологические линии (например, для непрерывной обработки или обработки крупногабаритных изделий).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывался тем, что оба оппонента и ведущая организация имеют практический опыт и компетенции в области физики и техники источников электронов; наличием публикаций в областях науки, непосредственно связанных с диссертацией; способностью определить научную и практическую ценность диссертации в целом и отдельных ее разделов, а также дать экспертную оценку полученным результатам и рекомендации к дальнейшему развитию тематики диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция генератора плазмы в пространстве дрейфа пучка источника электронов с сеточным плазменным катодом и открытой границей анодной плазмы, обеспечивающего уменьшение доли импульсов с

электрическими пробоями ускоряющего промежутка и расширяющего диапазон рабочих давлений источника;

предложены методы повышения стабильности генерации широкоапертурного (десятки см^2) электронного пучка в импульсных источниках с плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления со стабилизированной катодной и открытой анодной поверхностью плазмы для уменьшения доли импульсов с неконтролируемыми параметрами и расширения предельных параметров источника электронов;

доказана перспективность использования магнитной системы транспортировки в трубе дрейфа в форме четверти тора для уменьшения влияния коллекторной плазмы и расширения предельных параметров источника электронов;

введены критерии, позволяющие оценить эффективность применения систем транспортировки пучка для уменьшения влияния коллекторной плазмы.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны закономерности влияния коллекторной и дополнительной анодной плазмы на частоту пробоев и максимальные параметры генерируемого пучка, которые могут быть непосредственно использованы в теоретических расчетах и компьютерном моделировании процессов генерации и транспортировки интенсивных пучков электронов;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс методов исследования, включающий зондовые измерения параметров катодной и анодной плазмы (с помощью плоского, накаливаемого и двойного зондов), калориметрические измерения плотности энергии электронного пучка, а также статистический анализ осциллограмм токов и напряжений электрических цепей источника электронов;

изложены идеи и доказательства ослабления влияния изменения радиального распределения плотности тока плазменного катода и негативного влияния

коллекторной плазмы на стабильность работы источника электронов и условия их применимости;

раскрыты существенные различия в распределении плотности анодного тока в осесимметричной разрядной ячейке плазменного эмиттера на начальном этапе формирования дугового разряда низкого давления (первые микросекунды) и в установившемся режиме его горения;

изучены динамика радиальной неоднородности катодной плазмы; влияние потока ускоренных ионов из анодной плазмы на потенциал плазмы дугового разряда плазменного катода; закономерности появления электрических пробоев ускоряющего промежутка в зависимости от геометрических условий транспортировки пучка и длительности фронта импульса тока разряда;

проведена модернизация алгоритмов сбора и обработки информации, обеспечивающих получение новых научных результатов для оценки и достижения стабильной генерации интенсивного электронного пучка в плазменном источнике электронов.

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

разработаны и внедрены устройства, повышающие стабильность генерации интенсивных (с плотностью мощности сотни кВт/см^2) импульсных (длительностью 15–250 мкс) пучков в источниках электронов с плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления;

определены диапазоны параметров электронного пучка, при которых наиболее целесообразно применение конкретного метода повышения стабильности генерации электронного пучка и соответствующего устройства, перспективы практического использования предложенных методов для создания новых источников электронов;

создана инструментальная и программная база для исследования процессов, сопровождающих генерацию и транспортировку пучков электронов, в том числе для определения параметров плазмы при наличии магнитного поля и высокого напряжения;

представлены результаты исследования практического применения разработанных устройств в широком диапазоне давления газа, тока разряда плазменного катода, ускоряющего напряжения и ведущего магнитного поля. Продемонстрирована транспортировка широкого (диаметром 26 мм) интенсивного (сотни кВт/см²) электронного пучка в магнитном поле в трубе дрейфа в форме четверти тора без заметных потерь энергии. Реализован режим воздействия на алюминиевый коллектор, при котором в условиях плавления пучком с плотностью энергии ≈ 65 Дж/см² в течение 200 импульсов длительностью 250 мкс не возникали пробои ускоряющего промежутка, а создаваемая коллекторная плазма не влияла на форму тока пучка.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ достоверность и обоснованность выводов и результатов исследований подтверждаются систематическим характером проведенных исследований, использованием комплекса дублирующих методик измерений на сертифицированном оборудовании, корректной статистической обработкой репрезентативного массива эмпирических данных, а также непротиворечивостью относительно существующих представлений о природе изучаемых явлений;

теория построена на известных математических моделях и опубликованных известных экспериментальных фактах, расчётная модель опирается на полученные в работе и опубликованные значения параметров плазмы;

идея базируется на результатах исследований коллектива лаборатории плазменной эмиссионной электроники ИСЭ СО РАН, анализе и обобщении опыта передовых научных групп, задействованных в развитии тематики плазменных источников;

использованы сведения о применении плазменной линзы в качестве генератора анодной плазмы для источника электронов, сравнения данных автора диссертации с данными, полученными в других подобных исследованиях, со ссылками на эти исследования;

установлено, что полученные в работе результаты не противоречат имеющимся ранее данным о физике газового разряда и источниках частиц; **использованы** апробированные экспериментальные методики, методики сбора исходной информации на основе средств измерений, включённых в Государственный реестр, современное техническое и программное обеспечение; при обработке экспериментальных данных использованы стандартные общепринятые методы.

Личный вклад автора состоит в его определяющей роли в постановке задач исследований, разработке и создании экспериментального оборудования, модернизации установок, проведении экспериментов, анализе и интерпретации экспериментальных результатов, подготовке публикаций, в самостоятельном формулировании выводов и научных положений. Все результаты, составляющие научную основу диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично.

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

Соискатель Москвин П.В. ответил на все задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с рядом обоснованных замечаний и **привёл собственную аргументацию**, что отражено в стенограмме заседания диссертационного совета.

На заседании 11 сентября 2026 года диссертационный совет принял решение: за разработку и апробацию методов повышения стабильности генерации широкоапертурного электронного пучка в импульсных источниках с плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления со стабилизированной катодной и открытой анодной поверхностью плазмы для уменьшения доли импульсов с неконтролируемыми параметрами и расширения предельных параметров источника электронов, что имеет большое значение для развития вакуумной и плазменной электроники, **присудить Москвину П.В. ученую степень кандидата технических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.2.1 – вакуумная и плазменная электроника, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
академик РАН

Ратахин Николай Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук



Соловьёв Андрей Александрович

11 сентября 2026 г.