

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.415.03, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 14.12.2022 г. № 231

О присуждении Воробьеву Максиму Сергеевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Развитие источников электронов с сеточными плазменными эмиттерами на основе дугового разряда низкого давления с полым анодом» по специальности 1.3.5 – «Физическая электроника» принята к защите 07 сентября 2022 г. (протокол заседания № 228) диссертационным советом 24.2.415.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40, приказ о создании совета № 1030/нк от 30.12.2013 г.

Соискатель Воробьев Максим Сергеевич, «22» марта 1986 года рождения, в 2015 году защитил диссертацию «Источник электронов с многоапертурным плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления с эффективным выводом пучка большого сечения в атмосферу» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – «Вакуумная и плазменная электроника» в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН).

В настоящее время работает старшим научным сотрудником ИСЭ СО РАН, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

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

Научный консультант - доктор технических наук, профессор, Коваль Николай Николаевич, ИСЭ СО РАН, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Бурдаков Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, советник дирекции, лаборатория № 10, главный научный сотрудник;

Ремнёв Геннадий Ефимович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», научно-производственная лаборатория «Импульсно-пучковых, электроразрядных и плазменных

технологий» Инженерной школы новых производственных технологий, заведующий лабораторией;

Косогоров Сергей Леонидович, доктор технических наук, АО «НИИЭФА», лаборатория НИЛ КЛ-8 НТЦ «Синтез», начальник лаборатории, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург**, в своем положительном отзыве, подписанном Гавриловым Николаем Васильевичем, доктором технических наук, членом-корреспондентом РАН, заведующим лабораторией пучков частиц, указала, что диссертационная работа «Развитие источников электронов с сеточными плазменными эмиттерами на основе дугового разряда низкого давления с полым анодом», соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 11.09.2021), а ее автор, Воробьев Максим Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.5 – «Физическая электроника».

Соискатель имеет 81 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликовано 54 работы, из которых 21 статья в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 34 полных текстов докладов в трудах международных и всероссийских конференций, симпозиумов и совещаний, 20 докладов из которых, цитируются в базах данных Web of Science и Scopus. По результатам работы получено 2 патента РФ на изобретения, 4 акта внедрения и использования результатов работы. В опубликованных работах соискателя материалы диссертации изложены полно и развернуто. Все опубликованные работы выполнены при непосредственном личном участии автора.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Источник электронов с многодуговым плазменным эмиттером для получения мегаваттных пучков субмиллисекундной длительности / **М.С. Воробьев**, С.А. Гамермайстер, В.Н. Девятков, Н.Н. Коваль, С.А. Сулакшин, П.М. Щанин // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т.40, № 12. – С. 24–30.

2. Reconstruction of electron beam energy spectra for vacuum and gas diodes / A.V. Kozyrev, V.Yu. Kozhevnikov, **M.S. Vorobyov**, E.Kh. Baksht, A.G. Burachenko, N.N. Koval, V.F. Tarasenko // Laser and Particle Beams. – 2015. – V. 33, Iss. 2. – P. 183–192.

3. **Воробьев М.С.** Источник электронов с многоапертурным плазменным эмиттером и выводом пучка в атмосферу / М.С. Воробьев, Н.Н. Коваль, С.А. Сулакшин // ПТЭ. – 2015. – № 5. – С. 112–120.

4. **Воробьев М.С.** Распределение плотности тока в пучке большого сечения в ускорителе электронов с многоапертурным плазменным катодом / М.С. Воробьев, Н.Н. Коваль // Письма в ЖТФ. – 2016. – Т. 42, № 11. – С. 41–47.

5. Формирование и транспортировка интенсивного субмиллисекундного пучка в продольном магнитном поле в источнике электронов с сетчатым плазменным катодом / **М.С. Воробьев**, В.Н. Девятков, Н.Н. Коваль, С.А. Сулакшин // Известия ВУЗов. Физика. – 2017. – Т. 60, № 8. – С. 109–114.

6. Generation and transport of submillisecond intense electron beams in plasma cathode vacuum diodes / V.T. Astrelin, I.V. Kandaurov, **M.S. Vorobyov**, N.N. Koval, V.V. Kurkuchekov, S.A. Sulakshin, Yu.A. Trunev // *Vacuum*. – 2017. – V. 143. – P. 495–500.
7. Generation, transport, and efficient extraction of a large cross-section electron beam into an air in an accelerator with a mesh plasma cathode / T.V. Koval, **M.S. Vorobyov**, N.N. Koval, N.B. Hung // *Lasers and Particle Beams*. – 2018. – V. 36, Iss 1. – P. 22–28.
8. Численное моделирование работы широкоапертурного ускорителя электронов с сетчатым плазменным эмиттером и выводом пучка в атмосферу / В.Т. Астрелин, **М.С. Воробьев**, А.Н. Козырев, В.М. Свешников // *Прикладная механика и техническая физика*. – 2019. – Т. 60, № 5. – С. 3–12.
9. Численное моделирование формирования электронных пучков в источниках двух типов с плазменным катодом и их транспортировки в магнитном поле / В.Т. Астрелин, **М.С. Воробьев**, И.В. Кандауров, В.В. Куркучеков // *Известия РАН. Серия физическая*. – 2019. – Т. 83, № 11. – С. 1529–1533.
10. Повышение электрической прочности ускоряющего зазора в источнике электронов с плазменным катодом / В.И. Шин, П.В. Москвин, **М.С. Воробьев**, В.Н. Девятков, С.Ю. Дорошкевич, Н.Н. Коваль // *ПТЭ*. – 2021. – № 2. – С. 69–75.
11. Динамическое управление мощностью мегаваттного электронного пучка субмиллисекундной длительности в источнике с плазменным катодом / **М.С. Воробьев**, П.В. Москвин, В.И. Шин, Н.Н. Коваль, К.Т. Ашурова, С.Ю. Дорошкевич, В.Н. Девятков, М.С. Торба, В.А. Леванисов // *Письма в ЖТФ*. – 2021. – Т. 47, № 10. – С. 38–41.
12. Отрицательная обратная связь по току в ускоряющем промежутке в источниках электронов с плазменным катодом / **М.С. Воробьев**, П.В. Москвин, В.И. Шин, Т.В. Коваль, В.Н. Девятков, С.Ю. Дорошкевич, Н.Н. Коваль, М.С. Торба, К.Т. Ашурова // *ЖТФ*. – 2022. – Т. 92, № 6. – С. 883–888.
13. Controlling the specimen surface temperature during irradiation with a submillisecond electron beam produced by a plasma-cathode electron source / **M. Vorobyov**, T. Koval, V. Shin, P. Moskvin, M.K. An Tran, N. Koval, K. Ashurova, S. Doroshkevich, M. Torba // *IEEE Transactions on Plasma Science*. – 2021. – V. 49, № 9. – P. 2550–2553.

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

1. Отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», подписанный доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой природных соединений, фармацевтической и медицинской химии Химического факультета Курзиной Ириной Александровной. Замечаний нет.

2. Отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, подписанный доктором технических наук, главным научным сотрудником Семёновым Александром Петровичем. Имеются замечания:

- (с. 21, рисунок 11), приведены «...кривые ослабления тока пучка на коллектор I_{col} в зависимости от толщины фольги N при различных ускоряющих напряжениях $U_0 \dots$ », странно, о каком ослаблении тока пучка на коллекторе можно рассуждать при $N = 0$, т.е. в отсутствии фольги, к слову, не указана минимальная толщина фольги;

- в разделе «Содержание диссертационной работы», подраздел «Шестая глава» (с. 36), научные и технологические применения плазменных источников электронов излагаются декларативно, главное, не приведены новые научные результаты, вытекающие из цели работы (с. 5, абзац 3) и задач исследования (с. 6, абзац 3).

3. Отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет», подписанный доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой общей и космической физики Паперным Виктором Львовичем. Имеется замечание:

- Диссертационная работа наряду с серьезными научными достижениями имеет также большой прикладной потенциал. К сожалению, в автореферате лишь весьма бегло перечислены основные результаты прикладных работ с использованием разработанных автором подходов. На мой взгляд, автору следовало более подробно остановиться на этом аспекте диссертации, с указанием цифр, характеризующих достигаемый положительный эффект; указанием организаций, где используется разработанное автором оборудование; сопоставлением полученных результатов с мировым уровнем достижений в соответствующей области. Думаю, что это бы существенно украсило работу.

4. Отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технологии машиностроения», Рамазановым Камилем Нуруллаевичем. Имеются замечания:

1) На стр. 36 приведены различные способы применения источников электронов, в т.ч. для изменения свойств поверхности металлов, однако не указаны режимы обработки и основные результаты.

2) Нет пояснений о том, как предпосевная обработка семян с целью обеззараживания и повышения всхожести поспособствовала улучшению урожая и в чем преимущество данного способа по сравнению с существующими методами.

5. Отзыв из Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, подписанный доктором физико-математических наук, профессором, ведущим научным сотрудником Лигачёвым Александром Егоровичем. Имеются замечания:

1) В тексте реферата отсутствуют свойства поверхностного слоя силюмина после его обработки электронным пучком.

2) К сожалению, автор не представил в реферате основные результаты экспериментов по обработке электронным пучком натурального латекса. Метод гамма-облучения натурального латекса с помощью гамма-лучей производителен, но осложняется очень жесткими требованиями к технике безопасности. Применение же вместо гамма-излучения электронного пучка может существенно упростить технологию вулканизации и скорее всего повысить физические и эксплуатационные свойства изделий из латекса.

6. Отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина», подписанный доктором физико-математических наук, профессором кафедры электронных приборов Козловым Борисом Алексеевичем. Имеются замечания:

1) Очень мелкий («аптечный») шрифт в обозначениях основных элементов источников электронов на некоторых рисунках (рис. 3, 4, 24).

2) Ряд защищаемых положений и описание полученных результатов носят очень «объемный» описательный характер, хотя они могли бы быть сформулированы в виде небольшого числа критериальных соотношений.

7. Отзыв из Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», подписанный доктором биологических наук, профессором, член-корреспондентом Российской академии наук, лауреатом государственной премии Российской Федерации, научным руководителем института Санжаровой Натальей Ивановной. Имеются замечания:

1) В автореферате не представлены технические характеристики установки «ГОЛ-3», а также полученные с ее использованием результаты исследований.

2) На стр. 36 (глава 6, п. 5) указано, что при предпосевной обработке семян яровой пшеницы в целях дезинфекции возможно «...даже повышением всхожести», что не подтверждено никакими экспериментальными или литературными данными.

8. Отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института электрофизики Уральского отделения Российской академии наук, подписанный доктором технических наук, ведущим научным сотрудником Соковниным Сергеем Юрьевичем. Имеются замечания:

1) Стр. 3. Не указаны параметры требуемых пучков для задач по приоритетным направлениям, поэтому вывод автора «Вышеуказанные задачи можно рационально решать, используя источники электронов с сеточными плазменными эмиттерами (СПЭ) на основе дуги низкого давления с полым анодом...» спорен.

2) Стр. 9. «Изменение газовых условий в источнике электронов с сеточным плазменным эмиттером на основе дугового разряда низкого давления, приводящее к неконтролируемому росту тока в ускоряющем промежутке и даже его электрическому пробую». О каком изменении газовых условий идет речь: температуры, давления, сорта газа?

9. Отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подписанный доктором технических наук, старшим научным сотрудником, главным научным сотрудником Куксановым Николаем Константиновичем. Имеются замечания:

1) При обосновании актуальности работы, автор упускает достаточно важный параметр данного типа источников, а именно – низкая энергия. Т.е. технологическая ниша для данных машин лежит в пределах 20–200 кВ. Величина пробега электронов здесь невелика и происходит в основном поверхностная обработка. В тоже время пучки большого сечения подобных машин не имеют альтернативы для массового применения. Об этом следовало бы упомянуть.

2) Следовало бы указать среднюю мощность пучка для серийных машин, поскольку именно она определяет производительность. Аналогично важной является и величина максимальной мощности электронного пучка, а этот аспект в автореферате не обсуждается.

3) Ускорители предполагаются для массового применения. Поэтому достаточно важными параметрами являются: срок службы, длительность непрерывной работы, эффективность. В ускорителях трансформаторного типа эффективность составляет 70–90%, а данных об эффективности ускорителей с СПЭ в автореферате не приведено. В качестве показателя стабильности работы источника электронов предложен показатель S ,

равный количеству пробоев на 1000 импульсов. Его величина составляет 12, что совершенно непонятно, так как неизвестна частота следования импульсов. Гораздо правильнее использовать число незапланированных отключений в интервал времени, например, за смену или несколько часов. Для ускорителей, работающих в промышленности, это количество составляет 1-2 в смену.

4) В качестве ресурса перестраиваемых источников с СПЭ приводится цифра 10^7 импульсов, однако непонятна частота и какому временному интервалу это соответствует.

5) Непонятна величина минимальной пороговой величины $E_{\text{пор}}$. Удельные потери энергии в фольге монотонно возрастают с уменьшением энергии и не ясно, что такое $E_{\text{пор}}$. Либо это энергия, когда пробег равен толщине фольги, либо нечто другое.

6) Шестая глава посвящена вопросам использования источников электронов с СПЭ в научных и технических целях, в ней освящены некоторые применения. Было бы более разумным вынести эту главу в приложение.

7) В основных результатах утверждается: разработаны современные и модифицированы ранее используемые системы электропитания источников электронов с СПЭ на основе дугового разряда. В автореферате же лишь говорится о «контролируемом изменении управляющего напряжения в течении импульса» и «простоте управления током в ускоряющем промежутке за счет изменения тока разряда СПЭ» и немного о стабилизации тока пучка. Следовало бы более подробно описать системы электропитания.

10. Отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», подписанный доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры экспериментальной физики Мартенсом Владимиром Яковлевичем. Имеются замечания:

1) На с. 19 в пояснении к рис. 9 перепутаны рис. 9, а и 9, б.

2) На с. 26, восьмая строка снизу, неверно записана формула для бомовской скорости.

11. Отзыв из Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси, подписанный доктором физико-математических наук, член-корреспондентом Национальной академии наук Беларуси, заведующим отделением физики плазмы и плазменных технологий Асташинским Валентином Мироновичем. Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области физики газового разряда и низкотемпературной плазмы, эмиссии заряженных частиц, техники устройств, генерирующих пучки заряженных частиц и технологий их применения, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан ряд новых идей, обогащающих научную концепцию генерации широкоапертурных импульсных электронных пучков источниками электронов с сеточными плазменными эмиттерами и анодной плазмой с открытой плазменной границей, способных генерировать электронные пучки в широком диапазоне параметров (энергия электронов десятки – сотни кэВ, амплитуда импульса тока пучка единицы –

сотни ампер, длительность импульса тока пучка единицы – сотни микросекунд, частота следования импульсов от одиночных импульсов до десятков импульсов в секунду);

предложена оригинальная научная гипотеза введения нескольких способов реализации отрицательной обратной связи, позволяющей стабилизировать ток генерируемого электронного пучка в источниках электронов с сеточными плазменными эмиттерами и анодной плазмой с открытой плазменной границей;

доказана перспективность использования интенсивных субмиллисекундных электронных пучков, мощностью которых можно управлять в течение импульса, для эффективной модификации как органических, так и неорганических материалов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения о влиянии неоднородности плотности тока эмиссии сеточных плазменных эмиттеров на основе дугового разряда низкого давления на предельные параметры генерируемого электронного пучка и эффективность вывода тока пучка из вакуума в атмосферу, а также продемонстрированы механизмы стабилизации тока электронного пучка в источниках электронов различной конфигурации, обеспечивающие расширение диапазона параметров генерируемых электронных пучков, а именно энергии пучка в импульсе и его средней мощности;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс независимых методик исследований, включающий зондовую диагностику плазмы, калориметрическую оценку энергии электронного пучка, уникальные системы электропитания плазменного эмиттера, компьютерное моделирование и численные оценки;

изложены доказательства изменения условий генерации электронного пучка в течение импульса субмиллисекундной длительности, проявляющиеся в росте тока в ускоряющем промежутке, которые можно стабилизировать переходом к многодуговому эмиттеру, к многоапертурной электронно-оптической системе или за счет введения нескольких типов отрицательной обратной связи;

раскрыты несоответствия с ранним представлением о постоянстве коэффициента извлечения электронов из сеточного плазменного эмиттера и коэффициента ионно-электронной эмиссии в течение генерации тока пучка субмиллисекундной длительности;

изучены физические ограничения при генерации модулированного электронного пучка субмиллисекундной длительности, позволяющего осуществлять управление мощностью пучка в течение импульса субмиллисекундной длительности;

проведена модернизация алгоритмов автоматизированного метода коллекторного измерения распределения плотности тока импульсного электронного пучка, выведенного в атмосферу, а также систем электропитания сеточного плазменного эмиттера, позволяющих оценить динамику изменения эффективного коэффициента извлечения электронов из плазменного эмиттера и величину ионного тока в ускоряющем промежутке в течение импульса тока пучка субмиллисекундной длительности.

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

разработаны и внедрены экспериментальные макеты плазменных источников широкоапертурных импульсных электронных пучков, что подтверждено патентами РФ

№№ 2746265, 2772817 и актами внедрения и использования результатов от Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии (ФГБНУ ВНИИРАЭ), Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФМ СО РАН), Института ядерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН) и ООО «Ангиолайн Ресерч»;

определены перспективы практического использования источников электронов с сеточными плазменными эмиттерами на основе дугового разряда низкого давления для эффективной модификации поверхности металлических материалов в вакууме, а также органических материалов в атмосфере;

создана система практических рекомендаций по разработке источников электронов с сеточными плазменными эмиттерами на основе дугового разряда с полым анодом; а также по способам и режимам обработки импульсным электронным пучком органических и неорганических материалов;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию источников электронов с сеточными плазменными эмиттерами на основе дугового разряда с полым анодом и расширению области их применения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ исследования выполнены на сертифицированном оборудовании и имеют систематический характер, а их результаты удовлетворительно согласуются с теоретическими оценками и результатами численного моделирования, а также практической реализацией полученных научных положений и выводов;

теория описания процессов инициирования и развития дугового разряда низкого давления, а также генерации, транспортировки и вывода в атмосферу электронного пучка в системах широкоапертурных источников электронов с сеточными плазменными эмиттерами согласуется с опубликованными экспериментальными данными других исследований по теме диссертации;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта исследований широкоапертурных импульсных источников электронов, позволяющих генерировать интенсивные пучки субмиллисекундной длительности;

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по исследованию и разработке источников широкоапертурных импульсных электронных пучков другими авторами в сопоставимых условиях;

установлено качественное совпадение полученных соискателем результатов с литературными данными, опубликованными в независимых рецензируемых источниках;

использованы современные экспериментальные методики, обеспечивающие получение достоверных результатов: осциллографирование импульсных токов и напряжений, зондовая диагностика параметров плазмы, калориметрия энергии электронного пучка, пирометрия поверхности облучаемой мишени, коллекторные измерения, рентгеновская диагностика и фотометрия плотности тока пучка, метод тонких фольг для измерения энергетического спектра пучка, микротвердометрия и трибология поверхности облучаемой мишени, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке цели и задач исследований, планировании и проведении большей части экспериментов, анализе

полученных результатов, разработке конструкторских решений созданных импульсных источников электронов и стендов для их исследований, а также в обработке экспериментальных данных и написании основных публикаций по выполненной работе. Соавторы, принимавшие участие в отдельных направлениях исследований, указаны в списке основных публикаций по теме диссертации. Все результаты, составляющие научную новизну диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний.

Соискатель Воробьёв Максим Сергеевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 14 декабря 2022 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение, состоящей в разработке, создании и модернизации нового класса источников электронов с сеточными плазменными эмиттерами на основе дугового разряда низкого давления для эффективной электронно-лучевой модификации органических и неорганических материалов, присудить Воробьёву Максиму Сергеевичу ученую степень доктора технических наук.


При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя
диссертационного совета



Окс Ефим Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета



Казakov Андрей Викторович



15.12.2022 г.