

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Москвина Павла Владимировича «Повышение стабильности генерации интенсивных импульсных пучков в источниках электронов с плазменным катодом на основе дугового разряда», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1 – вакуумная и плазменная электроника

Актуальность темы. Электронно-пучковое воздействие на металлические и металлокерамические материалы позволяет улучшить трибологические, прочностные и эксплуатационные свойства изделий: уменьшить шероховатость поверхности, снизить коэффициент сухого трения и скорость износа, увеличить микротвердость поверхности, коррозионную стойкость, усталостную долговечность. Контролируемое изменение свойств поверхности изделия без необходимости модификации его объема и создание таким образом новых материалов является энерго- и ресурсосберегающим подходом, что соответствует приоритетам Стратегии научно-технологического развития РФ. Использование для этих целей интенсивных импульсных пучков электронов обеспечивает высокие скорости нагрева поверхности металлических и металлокерамических изделий, что выгодно отличает их от стационарных пучков. Одними из наиболее перспективных источников, позволяющих генерировать электронные пучки с указанными параметрами, являются импульсные источники с плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления со стабилизированной катодной и открытой анодной поверхностью плазмы. Использование в промышленном производстве таких источников требует повышения стабильности генерации электронного пучка и увеличения электрической прочности ускоряющего промежутка. В связи с этим тема диссертационной работы, посвященной поиску методов повышения стабильности генерации широкоапертурного электронного пучка в указанных источниках, уменьшения доли импульсов с неконтролируемыми параметрами от общего числа импульсов и расширения предельных параметров источника электронов, представляется, несомненно, актуальной.

Структура и содержание диссертации. Представленная на оппонирование диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 97 наименований, и приложений. Работа изложена на 117 страницах, содержит 63 рисунка и 13 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность работы, определены цель и задачи диссертационного исследования, сформулированы научные

положения, выносимые на защиту, отмечены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Глава 1 посвящена анализу результатов исследований, направленных на расширение диапазона параметров генерируемых пучков. Рассмотрены преимущества дугового плазменного катода с сеточной стабилизацией границы плазмы. Рассмотрены основные процессы, дестабилизирующие работу источников электронов, пути их подавления. Определены основные направления исследований и задачи, ориентированные на повышение стабильности генерации и расширение диапазона параметров генерируемого в таких системах интенсивного электронного пучка.

Глава 2 посвящена технике и методике эксперимента. В ней описаны экспериментальные стенды, источник электронов «СОЛО», схемы созданных систем измерения и электропитания плазменного катода. Рассмотрены особенности измерения параметров катодной и анодной плазмы зондовым методом, проведения калориметрии электронного пучка, измерения распределения его плотности энергии и распределения тока по сечению плазменного катода.

В **главе 3** исследованы характеристики разряда, формирующего плазменный катод источника электронов «СОЛО», при изменении параметров в диапазонах, представляющих интерес для практического использования источника. Рассмотрены факторы, влияющие на стабильность работы источника электронов.

В **главе 4** представлены разработанные диссертантом способы повышения стабильности генерации интенсивного электронного пучка. Кроме того, показана перспективность применения исследованного источника электронов с улучшенными параметрами для проведения конкретных технологических операций.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Достоверность и обоснованность результатов исследований обеспечивается их непротиворечивостью относительно существующих представлений о природе изучаемых явлений, а также применением современного технического и программного обеспечения для экспериментальной, численной и статистической обработки большого массива полученных в диссертации экспериментальных данных.

Научная новизна. Среди основных результатов, составляющих научную новизну, следует выделить следующие:

1. Исследован процесс изменения во времени распределения плотности тока по поверхности эмиссионной сетки в течение импульса, что позволяет

определить условия существенного улучшения однородности эмиссии плазменного катода.

2. Предложен и реализован способ оценки коэффициента извлечения электронов из плазменного катода при наличии тока ионов в ускоряющем промежутке, основанный на анализе срезов импульсов тока разряда и тока ускоряющего промежутка. Метод не требует определения эффективного коэффициента вторичной эмиссии с поверхности эмиссионного электрода.

3. На основе проведенных исследований предложено решение, обеспечивающее повышение стабильности генерации интенсивного электронного пучка, заключающееся в отклонении электронного пучка (на 90 градусов) от оси источника электронов и увеличении длины трубы дрейфа пучка.

Практическая значимость результатов работы. Проведены успешные эксперименты по электронно-пучковой модификации поверхности коронарных стентов с использованием модернизированной установки «СОЛО» на одном из промышленных предприятий. По способам генерации электронного пучка получены два патента РФ на изобретения.

Апробация результатов исследований. Судя по публикациям автора, материал диссертации прошел широкую апробацию на Всероссийских и Международных конференциях. По результатам выполненных исследований опубликовано 12 работ, из которых 4 – статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, индексируемых в Web of Science и Scopus.

Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

1. С. 11. Название раздела 1.1. *Развитие подходов преодоления физических ограничений для генерации интенсивных пучков электронов.* Физические ограничения преодолеть невозможно. Они определяются законами физики. Можно преодолеть технические ограничения, если, конечно, это позволяют законы физики.

2. С. 13, 109 и 110. Ссылки на литературу [52, 53]. Неверно указаны авторы этих работ. Авторами являются: А.В. Жаринов, Ю.А. Коваленко, И.С. Роганов, П.М. Тюрюканов.

3. С. 14. Три нижние строки: «...перехода от многоапертурной электродной системы (условия вакуумного диода) к сеточному электроду с формированием плазменного анода (условия плазмонаполненного диода).» Чем отличается многоапертурная электродная система от сеточного электрода?

4. С.15. Две первые строки сверху: «...приближаются к вышеобозначенным теоретическим пределам.» Выше не были обозначены теоретические пределы.

5. С. 17. Второй абзац сверху. Предлагается оценивать ширину ускоряющего зазора диода, используя формулу Бома и закон Чайлда-Ленгмюра. Строго говоря, в исследуемом случае реализуется биполярный диод, поэтому следует учитывать частичную компенсацию пространственных зарядов электронов и ионов.

6. В Главе 1 недостаточно четко обоснованы задачи исследований.

7. С. 47. Рис. 3.10 не подтверждает положительной роли перераспределяющего электрода в улучшении равномерности распределения концентрации плазмы вдоль эмиссионного электрода.

Отмеченные недостатки не влияют на главные результаты и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

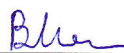
Заключение.

Диссертационная работа Москвина Павла Владимировича «Повышение стабильности генерации интенсивных импульсных пучков в источниках электронов с плазменным катодом на основе дугового разряда» отвечает всем критериям Положения о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Москвин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1 – вакуумная и плазменная электроника.

Официальный оппонент:

Мартенс Владимир Яковлевич, доктор технических наук,
профессор кафедры экспериментальной физики
Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ).
Адрес: 355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь,
улица Пушкина, дом 1, СКФУ.
Телефон: +7 918-746-16-14
E-mail: vmartens@yandex.ru

26. 06. 2026



В.Я. Мартенс

Подпись Мартенса В.Я. удостоверено



ПОДПИСЬ
УДОСТОВЕРЯЮ
Заместитель
Управления
делами СКФУ


26.06.2026.