

Отзыв официального оппонента

кандидата физико-математических наук Казакова Евгения Давидовича на диссертационную работу Байдина Ивана Сергеевича «Генерация высокочастотного радиоизлучения в начальной фазе высоковольтного протяженного искрового разряда в воздухе», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертация Байдина Ивана Сергеевича «Генерация высокочастотного радиоизлучения в начальной фазе высоковольтного протяженного искрового разряда в воздухе» посвящена изучению основных пространственных, временных и спектральных параметров высокочастотного радиоизлучения, испускаемого в процессе развития высоковольтного атмосферного разряда в лабораторных установках, а также анализу полученных данных.

Исследования электрических разрядов при длинах разрядного промежутка порядка одного метра необходимы для понимания механизмов атмосферных молний и для развития теории газовых разрядов, в том числе для изучения новых механизмов пробоя, таких как пробой на убегаящих электронах. Выявление механизмов генерации высокочастотного излучения в лабораторных электрических разрядах в атмосфере, а также установление связи между этими механизмами и процессами инициирования и развития натурной молнии, представляет в настоящее время значительный интерес. Это связано в первую очередь с тем, что проводить исследования на натуральных молниях крайне затруднительно и дорого. Также результаты таких исследований могут привести к созданию более совершенных источников высокочастотного излучения и созданию новых методов анализа и обработки высокочастотных вспышек радиоизлучения. На основе установленных свойств высокочастотного радиоизлучения возможна разработка новых методов диагностики плазменных и газоразрядных процессов с убегаящими электронами.

Тема диссертационной работы Байдина И. С. безусловно актуальна. Высокочастотное радиоизлучение мегавольтного атмосферного разряда в настоящее время широко изучается и вызывает значительный интерес. В таких разрядах возникают новые эффекты, такие как генерация потоков электронов высоких энергий и реализуются новые механизмы пробоя и развития разряда, сопровождающиеся генерацией высокочастотного радиоизлучения. Тем не менее, до работ Байдина Ивана Сергеевича временные, пространственные и спектральные

свойства радиоизлучения не были исследованы достаточным образом, несмотря на то, что их знание необходимо для понимания физики протяженных разрядов.

Диссертация Байдина И. С. состоит из введения, четырех глав и заключения, а также списка литературы, содержащего 50 ссылок на литературные источники. Общий объем диссертации – 92 страницы, включая 39 рисунков, 3 таблицы.

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулирована цель работы, задачи и методы исследований, научная новизна, а также практическая значимость. Приведены положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, аргументируются достоверность и обоснованность результатов, представлены сведения об апробации работы на конференциях и публикациях в статьях.

В первой главе диссертации приведен аналитический обзор научной литературы по ключевым механизмам электрического пробоя в газовых средах, включая пробой на убегающих электронах. Освещены последние достижения в изучении пробоя длинных атмосферных промежутков. Рассматривается несколько механизмов генерации радиоизлучения высокой частоты в длинных промежутках при различных условиях протекания разряда. Указано на трудности в интерпретации результатов, полученных в натурных экспериментах, с помощью классической теории пробоя.

Во второй главе подробно описаны характеристики разработанной сверхширокополосной антенны для исследования параметров высокочастотного радиоизлучения, генерируемого высоковольтным искровым разрядом. Изготовленные антенны были протестированы на лабораторном стенде, где было обнаружено, что они подходят для регистрации и исследования характеристик высокочастотного радиоизлучения, наблюдаемого в начальной, предпробойной стадии развития искрового разряда. Экспериментально показано, что высокочастотное радиоизлучение имеет различные характеристики на разных стадиях развития искрового пробоя разрядного промежутка. В том числе демонстрируется, что наиболее высокочастотная часть спектра радиоизлучения приходится на стадию, когда напряжение в разрядном промежутке достигает своих максимальных значений.

В третьей главе изложена техника и методика экспериментов, представленных в диссертации. Описан генератор импульсного напряжения, системы диагностики импульсов тока и напряжения и разработанный автором диагностический комплекс для измерений

высокочастотного радиоизлучения на основе многоканальной системы сверхширокополосных антенн, с высокой точностью синхронизированных по времени с измерениями тока и напряжения. Обнаружено, что высокочастотное радиоизлучение атмосферного разряда с межэлектродным расстоянием порядка 1 м при максимальном приложенном напряжении 1 МВ и временем его нарастания 200 нс обладает наибольшей интенсивностью в конфигурации электродов «обратно-конический катод с остриём — сетчатый анод». Приведены результаты локализации источников радиоизлучения в мегавольтном атмосферном разряде, выполненных при помощи четырёх сверхширокополосных антенн. Погрешность измерения пространственных параметров источников высокочастотного радиоизлучения составляла не более 12 см, что для межэлектродных расстояний порядка 1 м достигнуто впервые. При этом для калибровки системы регистрации был использован весьма оригинальный наглядный и эффективный метод. Автор впервые определил, что изучение имеет стохастическую природу и локализуется в прикатанной области разрядного промежутка.

В четвертой главе впервые проведено исследование спектральных характеристик радиоизлучения на различных стадиях развития электрического пробоя разрядного промежутка. Установлено, что радиоизлучение генерируется сериями коротких интенсивных вспышек длительностью от сотен пикосекунд до нескольких наносекунд. Подавляющее большинство вспышек характеризуются частотами от 1 до 5 ГГц, и при этом максимальные значения интенсивности достигаются в полосе частот 1–2.5 ГГц. Автором впервые обнаружена корреляция особенностей генерации вспышек ВЧ и СВЧ излучения. Все это свидетельствует о высоком экспериментальном уровне диссертанта. В диссертации отмечается, что радиоизлучение из разрядного промежутка наиболее вероятно связано с процессом столкновения стримерных корон противоположных направленностей, но сам механизм возникновения данного излучения из катодной зоны остаётся не до конца известным, представляя собой задачу для будущих исследований.

В Заключение приведены основные научные результаты и выводы.

Результаты диссертационной работы Байдина И. С. обладают существенной научной новизной. Разработан, создан и прокалиброван комплекс для локализации источников вспышек СВЧ излучения. В подобных экспериментах по измерению пространственно-временных характеристик радиоизлучения, заявленные автором точности ранее не

достигались. Практическая значимость результатов диссертации состоит в определении параметров высокочастотного радиоизлучения протяженных атмосферных разрядов. Это позволяет использовать полученные данные для диагностики такого типа разрядов. Понимание процессов плазмообразования, приводящего к генерации вспышек радиоизлучения позволит в будущем учитывать эти эффекты при разработке новых методов молние- и радиозащиты гражданских объектов на земле и воздушных судов в небе.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достоверны и обоснованы. Экспериментальные данные были получены с использованием проверенных средств диагностики и современного сертифицированного научного оборудования, обеспечивающих высокую надежность и необходимую точность измерений. Измерительное оборудование, использованное в работе, в том числе система приемных антенн и СВЧ трактов прошли все необходимые процедуры калибровок. Достоверность результатов анализа обеспечивается проверкой работы всех элементов на ранее изученных системах, взаимной согласованностью экспериментальных данных, получаемых при помощи различных диагностических методик, их воспроизводимостью, а также согласованностью с имеющимися данными других авторов. В работе представлено большое количество экспериментальных данных, согласующихся с предлагаемыми моделями. Также достоверность научных положений и выводов подтверждена их обсуждением на научных отечественных и международных конференциях и публикациями в ведущих рецензируемых журналах, в том числе из первого квартиля.

По тексту диссертации есть следующие замечания:

1. Представленные в диссертации сверхширокополосные антенны имеют достаточно широкий лепесток диаграммы направленности, не обладают защитой (экранировкой) от паразитных излучений, приходящих из боковых областей. По тексту диссертации не до конца понятно как удастся отсепарировать радиоизлучение, генерируемое в разрядном промежутке от всего другого приходящего на антенну.

2. Из текста диссертации не вполне ясно, является ли полученный набор экспериментальных данных достаточным для построения стройной теории, описывающей все наблюдаемые эффекты.

3. На многих рисунках в тексте диссертации пояснительные надписи сделаны на английском языке, что не вполне корректно. В то же время автореферат лишен этого недостатка.

4. На рисунке 3.1 на странице 47 текста диссертации присутствует опечатка – основной разрядный промежуток, обозначенный цифрой 8 в подписи к рисунку, при этом данное обозначение не отмечено на рисунке 3.1.

Сделанные замечания не влияют на основные результаты и выводы диссертации, и не сказываются на высоком научном уровне проведенных исследований.

Результаты, полученные автором, хорошо и подробно изложены и наглядно проиллюстрированы. Каждое положение диссертационной работы сопровождается подробным и исчерпывающим подтверждающим материалом. Полученные результаты опубликованы в 8 статьях в отечественных и зарубежных научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ и базу данных Web of Science, в одной главе в коллективной монографии и в 10 трудах конференций - результаты работы многократно докладывались на ведущих международных и российских научных конференциях по радиофизике, физике плазмы и физике газового разряда.

Заключение

На основании полученных диссертантом результатов, сделанных выводов и выдвинутых научных положений следует считать, что поставленная цель исследований успешно достигнута. Диссертационная работа Байдина Ивана Сергеевича выполнена на высоком научном уровне, в ней получены новые результаты, имеющие научную и практическую значимость. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Полученные результаты опубликованы в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ и базу данных Web of Science. Текст диссертации оформлен в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат правильно отражает основные результаты диссертации.

Диссертация Байдина Ивана Сергеевича «Генерация высокочастотного радиоизлучения в начальной фазе высоковольтного протяженного искрового разряда в воздухе» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Байдин

Иван Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Отзыв составил:

Кандидат физико-математических наук, Евгений Давидович Казаков, заместитель руководителя отделения плазменных технологий Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Казаков Евгений Давидович



«20» марта 2025 г.

Адрес: 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1. тел: +7 (499) 196-79-78.

email: kazakov_ed@nrcki.ru

Подпись заместитель руководителя отделения плазменных технологий НИЦ «Курчатовский институт», к.ф.-м.н., Казакова Евгения Давидовича заверяю:

Заместитель директора – главный ученый секретарь



Алексеева О.А.

Список основных публикаций официального оппонента Казакова Е.Д. по теме диссертации Байдина Ивана Сергеевича в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Демидов Б.А., Казаков Е.Д., Калинин Ю.Г., Крутиков Д.И., Курило А.А., Орлов М.Ю., Стрижаков М.Г., Ткаченко С.И., Чукбар К.В., Шашков А.Ю. Применение лазерной теневой фотографии с электронно-оптической регистрацией в хронографическом режиме для исследования динамики ударных волн в прозрачных материалах. Приборы и техника эксперимента. 2020. № 3. С. 90-95.
2. Милёхин Ю.М., Садовничий Д.Н., Шереметьев К.Ю., Калинин Ю.Г., Казаков Е.Д., Стрижаков М.Г. К вопросу о детонации многокомпонентных энергетических конденсированных систем наносекундным потоком электронов. Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах. 2020. Т. 492-493. № 1. С. 111-115.
3. Волков Ю.А., Казаков Е.Д., Калинин Ю.Г., Марков М.Б., Масленников Д.Д., Орлов М.Ю., Тараканов И.А. Исследование отклика полупроводникового детектора на действие мощного импульсного ионизирующего излучения. Прикладная физика. 2020. № 1. С. 58-63.
4. Bobyr N.P., Kazakov E.D., Krutikov D.I., Kurilo A.A., Orlov M.Y., Spitsyn A.V., Strizhakov M.G. Study of properties of structural materials of powerful pulsed plasma facilities under extreme loads. Physics of Atomic Nuclei. 2021. Т. 84. № 10. С. 1672-1675.
5. Казаков Е.Д., Калинин Ю.Г., Крутиков Д.И., Курило А.А., Орлов М.Ю., Стрижаков М.Г., Ткаченко С.И., Шашков А.Ю. Методы лазерной теневой фотографии с электронно-оптической регистрацией в хронографическом режиме для исследования динамики плазмы в диоде генератора РЭП. Физика плазмы. 2021. Т. 47. № 8. С. 716-727.
6. Воронин Ф.Н., Казаков Е.Д., Косарев О.С., Марков М.Б., Тараканов И.А. Моделирование тока разряда конденсатора в потоке тормозного излучения ускорителя электронов. Математическое моделирование. 2021. Т. 33. № 12. С. 33-48.
7. Гуревич М.И., Казаков Е.Д., Калинин Ю.Г., Курило А.А., Тельковская О.В., Чукбар К.В. О разрушении упругих полимерных материалов под воздействием электронного пучка. Журнал технической физики. 2021. Т. 91. № 11. С. 1655-1661.
8. Садовничий Д.Н., Милехин Ю.М., Калинин Ю.Г., Казаков Е.Д., Шереметьев К.Ю., Марков М.Б., Перцев Н.В., Крутиков Д.И. Некоторые особенности воздействия наносекундного пучка релятивистских электронов на синтактную пену с полимерной основой из бутадиен-нитрильного каучука. Журнал прикладной химии. 2021. Т. 94. № 8. С. 1065-1078.
9. Садовничий Д.Н., Милехин Ю.М., Шереметьев К.Ю., Казаков Е.Д., Марков М.Б., Савенков Е.Б. Фазовые превращения и образование нановолокон при воздействии наносекундного пучка релятивистских электронов на синтактные пены с полимерным силоксановым связующим. Журнал прикладной химии. 2022. Т. 95. № 1. С. 87-99.
10. Садовничий Д.Н., Милёхин Ю.М., Калинин Ю.Г., Казаков Е.Д., Лавров Г.С., Шереметьев К.Ю. Особенности воздействия пучка релятивистских электронов на алюминизированные литьевые энергетические конденсированные системы. Физика горения и взрыва. 2022. Т. 58. № 2. С. 88-99.
11. Ivanova N.A., Ivanov B.V., Mensharapov R.M., Spasov D.D., Sinyakov M.V., Nagorny S.V., Kazakov E.D., Dmitryakov P.V., Bakirov A.V., Grigoriev S.A. Features of electrochemical hydrogen pump based on irradiated proton exchange membrane.

Membranes. 2023. Т. 13. № 11. С. 885.

12. Садовничий Д.Н., Милехин Ю.М., Казаков Е.Д., Марков М.Б., Шереметьев К.Ю. Процессы структурообразования в синтактной пене на основе металлизированных стеклосфер и полисилоксана при воздействии пучка релятивистских электронов с наносекундным фронтом импульса. Известия Академии наук. Серия химическая. 2023. Т. 72. № 9. С. 2048-2059.