

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Никифорова Даниила Алексеевича

на тему «Исследование динамики пучка электронов в мощном линейном индукционном ускорителе с фокусировкой на сосредоточенных элементах» по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, представленную к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

Актуальность работы. Диссертационная работа Никифорова Даниила Алексеевича посвящена комплексному изучению условий повышения качества электронного пучка в линейном индукционном ускорителе с фокусировкой магнитными линзами. Критерием высокого качества электронного пучка с энергией электронов 5 и 15 МэВ и током около 1 кА задаётся условие малости значений эмиттанса и энергетического разброса, которые удовлетворяют требованиям эффективной генерации с помощью ЛСЭ когерентного излучения в миллиметровом диапазоне длин волн (150 – 300 ГГц). Продвижение в терагерцовый диапазон частот представляет большой интерес для ученых из различных областей науки, например, в спектроскопии, химии и биофизике. В настоящее время создаваемые альтернативные источники имеют низкий уровень импульсной и средней мощности, а также не могут обеспечивать быструю перестройку частоты генерации. Снижение эмиттанса релятивистского электронного пучка позволяет наращивать пропускаемый в канале транспортировки ток электронного пучка, а вместе со снижением энергетического разброса, также становится возможным повышать верхнюю границу генерируемых в ЛСЭ частот. Дополнительно следует отметить, что острая необходимость в построении единой электронно-оптической модели для выбранной схемы ЛИУ с дискретной фокусирующей системой создала предпосылки для постановки задач диссертационной работы Никифорова Д.А., которые в итоге успешно решены. В связи с этим, диссертационное исследование Никифорова Д.А. является безусловно актуальным и представляет несомненную научную ценность.

Научная новизна. Уникальная схема ускорительного комплекса ЛИУ с дискретной фокусирующей системой предопределяет научную новизну, поскольку альтернативные схемы ЛИУ содержат магнитные системы из длинных соленоидов. Новизна разработанной диссертантом электронно-оптической модели заключается в сквозном анализе поставленной задачи и наиболее ответственных за качество пучка мест, начиная с инжектора, а также в применении различных упрощений для аналитического описания и нескольких численных кодов. Такой комплексный подход позволил впервые существенно продвинуться как в результатах моделирования, так и в экспериментальной реализации высокой степени магнитной компрессии и транспортировки электронного пучка с током до полутора кА в протяженном канале транспортировки, предназначенном для создания в ближайшем будущем субгигаваттного ЛСЭ в нижней части миллиметрового диапазона длин волн. Таким образом, предложенные в диссертационной работе рецепты снижения нормализованного эмиттанса пучка в совокупности бесспорно обладают научной новизной. Кроме этого, впервые экспериментально продемонстрирована возможность поворота пучка с током около 1 кА на угол 24 градуса в боковой канал с сохранением качества пучка. При этом установлены ограничения данного метода на угол поворота и параметры соответствующей магнитной системы.

Значимость полученных результатов для науки и практики. Диссертация Никифорова Д.А. характеризуется несомненной научной ценностью. В частности, результаты аналитических и численных расчетов различных факторов, влияющих на поперечную динамику электронного пучка в линейном индукционном ускорителе, вносят определенный вклад в существующие представления по данной проблеме. Одновременно, по результатам такого анализа внесены изменения в конструкцию электронной пушки. На основании результатов численных расчетов и соответствующих усовершенствований магнитных линз удалось минимизировать потери тока пучка в тракте транспортировки заданной длины и с сохранением качества пучка. Таким образом, научное и практическое значение

результатов диссертационной работы являются бесспорными. Эти результаты могут быть использованы в последующей адаптации создаваемых уникальных ЛСЭ и ЛИУ для получения параметров излучения в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне длин волн на мировом уровне.

Степень обоснованности, достоверности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации. Основные положения, выносимые на защиту, и выводы диссертационной работы Никифорова Д.А. обоснованы как результатами проведенного собственного исследования, так и общепринятыми концепциями современной физической электроники. Теоретические аспекты положений также согласуются с выводами из экспериментальной части диссертации, по измерениям параметров пучка на существующих ЛИУ.

Достоверность научных положений подтверждается апробацией результатов на 4-х Международных конференциях и 2-х Всероссийских. По теме диссертации опубликовано 7 работ, в том числе 3 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

Анализ содержания работы. Диссертационная работа Никифорова Д.А. написана хорошим литературным языком, изложена на 94 страницах машинописного текста и состоит из введения и 3-х глав, содержащих описание методик исследования, полученных результатов и их обсуждения, заключения, списка литературы и списка иллюстративного материала. Список литературы включает 61 источник. Диссертационная работа проиллюстрирована 42 рисунками.

Во введении автор описывает актуальность имеющейся научной проблемы, формулирует цель и задачи исследования. Введение также содержит обзор литературы по проблеме продвижения в терагерцовый диапазон генерируемых частот и основные положения, выносимые на защиту. Описывается личный вклад автора.

Первая глава диссертационной работы поясняет структуру и принцип работы отдельных частей линейных индукционных ускорителей в ИЯФ СО РАН, разрабатываемых на протяжении нескольких десятилетий большим коллективом специалистов. На

основе такого описания становится понятным какие части и узлы ускорителя требовалось модифицировать или совершенствовать на основе создаваемой автором электронно-оптической модели и результатов моделирования для решения проблемы повышения качества пучка, который должен затем использоваться в протяженном канале транспортировки без потерь тока. Содержание первой главы свидетельствует о хорошем знании диссертантом современного состояния решаемой научной проблемы и созданной технической базы, что подтверждается цитированием большого количества статей, опубликованных в течение последних 5-10 лет.

Во второй главе автором подробно разбираются использованные методы исследования, а также все основные источники повышения эмиттанса пучка в линейном ускорителе с дискретной системой магнитной фокусировки. Все использованные методики являются апробированными. Основное внимание автор уделяет возможности роста эмиттанса в области инжектора пучка, как наиболее ответственного узла, где энергия электронов относительно невелика. Рассмотрены все основные факторы, играющие роль в поперечной динамике электронов: объёмный заряд электронов, тепловой разброс электронов на термокатоде, внешние магнитные поля, шероховатость поверхности катода и абберация магнитных линз в секции согласования с последующими ускоряющими секциями. Показано, что при оптимальном профиле поверхности катода минимальный эмиттанс определяется тепловым разбросом скоростей на катоде, а его рост в области первой линзы после оптимизации возрастает приблизительно в 2 раза.

Глава 3 посвящена дополнительным аспектам развития ЛИУ, как с точки зрения оперативного сбора информации о качестве пучка, так и возможности его отвода в боковой канал, что реализовано впервые и значительно расширяет потенциал применения ЛИУ. Решается также задача расчёта условий оптимальной транспортировки и фокусирования пучка уже для нового поколения ЛИУ с энергией электронов до 15 МэВ. Проектирование такого комплекса, в силу возрастания длины,

накладывает дополнительные требования к настройке соосности магнитных линз и оптимизации элементов транспортировки в целом. Для этого автором предложен и апробирован подход, основанный на автоматизированной коррекции поперечного положения линз и орбит электронов с помощью метода матриц отклика. Все экспериментальные данные по коррекции орбит изложены в сравнительном аспекте, в том числе, в плане сопоставления энергетического разброса на временной шкале.

Каждая глава содержит глубокий и всесторонний анализ всех полученных в ходе исследования научных результатов. В процессе трактовки результатов диссертант опирается на сформулированные требования к качеству пучка, которые необходимы для эффективной работы проектируемого ЛСЭ.

Диссертационная работа содержит 4 основных положения, выносимых на защиту. Они четко сформулированы, резюмируют полученные данные и полностью соответствуют поставленным задачам.

Общая оценка работы и ее соответствие требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация Никифорова Д.А. представляет собой важное, интересное и профессионально выполненное исследование, соответствующее статусу научно-квалификационного труда. Полученные в диссертационной работе данные отражены в 3 статьях в журналах, включённых в перечень ВАК при Минобрнауки России и рекомендованных для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата наук. Материалы диссертации докладывались на 6 научных конференциях всероссийского и международного значения, что говорит о должном уровне их апробации. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

Вопросы и замечания по содержанию диссертации.

Несмотря на многочисленные достоинства диссертации, в ней имеются отдельные недочеты, которые вызывают ряд вопросов, но при

этом серьёзно не влияют на общее благоприятное впечатление о работе.

1. В конце защищаемого положения 1 диссертант формулирует, как результат оптимизации, получение некоторого эмиттанса, необходимого для достижения определенного поперечного размера пучка не более 1.5 мм. Здесь, на мой взгляд не обязательна оговорка «в смысле ширины на полувысоте», но было бы вполне уместным выписать достигнутое значение эмиттанса, как выдающийся результат, позволяющий без потерь амплитуды пропустить конкретный ток пучка на заданной длине транспортировки, необходимой для проекта ЛСЭ.

2. В защищаемом положении 2 об отклонении пучка говорится о токе «выше 1 кА», однако в тексте и на рисунках фигурирует максимальное значение тока 1.5 кА. Вероятно, более корректно писать «до 1.5 кА».

3. В ряде мест, начиная с 7-й страницы, среди причин роста эмиттанса диссертантом отмечаются нелинейные поля пространственного заряда и нелинейные электростатические поля. Это вызывает недоумение, поскольку лишь во 2-й главе на 34-й странице становится ясно, что речь идёт о нелинейности по поперечным координатам частиц.

Сформулированные замечания относятся к расстановке акцентов и терминологии, и не влияют на общую положительную оценку работы, в которой все защищаемые положения в достаточной степени обоснованы.

Заключение. Диссертационная работа Никифорова Данилы Алексеевича «Исследование динамики пучка электронов в мощном линейном индукционном ускорителе с фокусировкой на сосредоточенных элементах» является самостоятельным завершённым научным трудом, выполненным на высоком научном уровне, и представляет интерес для достижения прогресса в освоении терагерцового диапазона частот с высокой импульсной и средней мощностью.

По актуальности, новизне, научно-практической значимости и степени достоверности результатов диссертация полностью

соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. В целом, диссертационная работа Никифорова Данилы Алексеевича соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а сам автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Я, Ростов Владислав Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Никифорова Д.А. и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент – Ростов Владислав Владимирович, Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника, Заведующий Отделом физической электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской Академии наук

Адрес: 634055, г. Томск, проспект Академический, д. 2/3

Раб. телефон: +7 (3822) 491-641

Адрес электронной почты: rostov@lfe.hcei.tsc.ru

08.09.2023

Ростов

Ростов Владислав Владимирович

Подпись Ростова В.В. удостоверяю

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской Академии, к.т.н.



О.В. Крысина