

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Лещевой Ксении Александровны

«Развитие методов формирования винтовых электронных пучков для новых разновидностей giroприборов»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника.

Исследование мазеров на циклотронном резонансе (МЦР) является одним из активно развивающихся направлений электронной техники, по крайней мере, на протяжении последних сорока лет. Анализ научных публикаций в отечественных и зарубежных изданиях за последние 15 - 30 лет, показывает, что наиболее успешными среди большого числа вариантов МЦР, предложенных к настоящему времени, являются гиротроны, гироклистроны и giro-ЛБВ. Возможность работы этих приборов в СВЧ диапазоне миллиметровых и субмиллиметровых волн с высоким уровнем мощности и КПД является в этом случае основным преимуществом их по сравнению с обычными приборами. Сферой же применения giroприборов являются системы дальней связи и радиолокации, а для мегаваттных гиротронов с частотой 170 – 250 ГГц появляется возможность использования этих приборов для нагрева плазмы в установках управляемого термоядерного синтеза.

Во всех указанных типах приборов в качестве активной среды используются электронные потоки с частицами, движущимися по винтовым траекториям в однородном магнитном поле. Электронно-оптические системы giroприборов содержат электронные пушки с винтовыми электронными пучками (ВЭП). Наиболее известными являются, пожалуй, так называемые адиабатические магнетронно-инжекторной пушки (МИП).

Вопросы, связанные с проектированием адиабатических систем с МИП, достаточно хорошо исследованы отечественными учеными.

В то же время вопросы, связанные с процессами формирования винтовых электронных потоков в неадиабатических системах, с возможностью создания

более широкополосных гиро-ЛБВ, в целом еще далеки от завершения, поэтому **актуальность** темы диссертации, посвященной исследованию и оптимизации электронно-оптических систем формирования ВЭП для гироприборов, несомненна.

К **основным научным результатам**, полученным соискателем в ходе выполнения диссертационной работы, могут быть отнесены следующие:

1. Разработана методика численного моделирования систем формирования ВЭП произвольной геометрии, основанная на совместном использовании пакета CST Studio Suite и специализированных программ пред- и пост-обработки, которые позволяют удобно задавать геометрии эмиттера (или системы эмиттеров) произвольной формы, скоростного распределения стартующих частиц и получать по данным траекторного анализа сведения об итоговом электронном потоке (геометрические параметры и скоростной разброс).
2. Получены аналитические оценки основных параметров (геометрия, режим работы, доля вращательной энергии электронного пучка) для неадиабатических систем формирования ВЭП и проведена численная оптимизация таких систем.
3. Изучены основные особенности формирования моновинтовых электронных пучков для гиро-ЛБВ, формируемых в неадиабатическом магнитном поле, имеющем область реверса.
4. Впервые разработана и исследована 10-лучевая адиабатическая МИП с секционированным эмиттером, предназначенная для мощной многоствольной гиро-ЛБВ.

Обоснованность и достоверность полученных автором результатов и вынесенных на защиту положений подтверждается их устойчивой воспроизводимостью, сопоставлением расчетных данных, проведенных соискателем на основе различных математических моделей, с экспериментальным материалом и приемлемым для практики соответствием.

Новизна научных методов и способов изготовления конструкций,

описанных в диссертационном исследовании Лещевой К. А., подтверждена 6 публикациями в научных изданиях из перечня ВАК, а также патентом на изобретение.

В целом, результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями для физической электроники.

Значимость для практики результатов диссертационного исследования Лещевой К.А., заключается в разработке отечественной вычислительной программы пред- и пост- обработки, обеспечивающей расчет в трехмерной постановке винтовых электронных пучков при проектировании приборов с неадиабатическими ЭОС, а также в разработке неадиабатической электронно-оптической системы для двухкаскадного широкополосного гиросилителя W - диапазона с выходной мощностью в несколько сотен киловатт.

Апробация работы. Основные результаты диссертации опубликованы в 20 печатных работах, из них 6 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, 13 работ в сборниках трудов конференций, а также патент на изобретение, они неоднократно обсуждались на различных конференциях и симпозиумах и получили одобрение ведущих специалистов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и списка публикаций автора по теме диссертации. Общий объем диссертации составляет 100 страниц, включая 42 рисунка, 8 таблиц и список литературы из 95 наименований. Содержание разделов **работы** представляется логическим **целым**, в них последовательно излагаются постановка и решение основных задач исследований, **объединенных целью** диссертационной работы. По каждой главе и работе в целом сделаны выводы.

Во введении автором аргументирована актуальность темы диссертации, изложена цель работы, обоснована достоверность результатов, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, указан личный вклад автора, а также перечислены положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен краткий обзор основных тенденций в разработке электронно-оптических систем для систем формирования ВЭП гиросприборов.

Рассмотрены адиабатические и неадиабатические системы формирования ВЭП, раскрыты преимущества и недостатки различных конструкций адиабатических аксиально-симметричных магнетронно-инжекторных электронных пушек. Представлены алгоритмы трехмерного численного моделирования систем формирования ВЭП для рассматриваемых областей формирования, а также проведено тестирование разработанных методик траекторного анализа. На основе проведенного анализа литературных данных сформулирована цель и поставлены задачи данной работы.

Во второй главе рассмотрены неадиабатические электронно-оптические системы с инжекцией пучка под углом к магнитному полю, изложены принцип работы и аналитическая теория формирования ВЭП в неадиабатической ЭОС, приведены результаты численной оптимизации ЭОС с поливинтовым ВЭП для режима температурного ограничения эмиссии, рассмотрены неадиабатические многоствольные и многолучевые ЭОС. Показано, что использование неадиабатической схемы формирования винтового электронного пучка в гиротронах позволяет устранить влияние на величину разброса скоростей электронов таких критически важных для гиротронов факторов, как шероховатости поверхности и начальные скорости.

В третьей главе представлены результаты численного анализа электронно-оптических систем для однолучевых и многолучевых гиро-ЛБВ. Проведено проектирование ЭОС, в которой осуществлено формирование ВЭП при наличии реверса магнитного поля. Получены приближенные аналитические оценки параметров ЭОС по модели мгновенного реверса, проведена оптимизация параметров ЭОС с низким (40 кВ, 0.5 А) и высоким (80-100 кВ, 16 А) значениями микропервеанса пучка. Проведено проектирование многоствольной ЭОС для гиро-ЛБВ с несколькими идентичными параллельными винтовыми волноводами.

В четвертой главе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований магнетронно-инжекторной пушки для мощного планарного гиротрона миллиметрового диапазона длин волн.

В заключении подведены итоги диссертационной работы.

Как и любая большая и содержательная работа, представленная диссертация не лишена некоторых недостатков:

1. Во введении недостаточно подробно описаны результаты предыдущих работ по созданию неадиабатических и трехмерных ЭОС giroприборов.
2. Не указаны характерные времена счета 3-мерных вариантов ЭОС giroтронов, что важно для оценки эффективности численной оптимизации.
3. Не исследована чувствительность многолучевой системы формирования для giro-ЛБВ к вариациям таких параметров как ток, напряжение и пр.
4. Не исследовано влияние неоднородности нагрева эмиттера в планарных МИП на характеристики ВЭП.

Отмеченные замечания, впрочем, не снижают благоприятного впечатления от представленной на защиту работы.

В целом диссертационная работа Лещевой К. А. выполнена на высоком научно-техническом уровне, представляется законченным исследованием, содержащим неоспоримые новые научные результаты и имеющим несомненную практическую значимость.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Лещева К. А., является представителем Нижегородской научной школы физической электроники, известной и уважаемой в научной среде специалистов, занимающихся вопросами исследований в данной сфере, и принадлежность к которой свидетельствует о высоком уровне научной квалификации соискателя.

Диссертационная работа Лещевой Ксении Александровны «Развитие методов формирования винтовых электронных пучков для новых разновидностей giroприборов», является законченной научной квалификационной работой, отвечающей требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, соответствует

паспорту специальности 1.3.5. – Физическая электроника, а также содержит положения, совокупность которых можно квалифицировать как решение научно-технической задачи, использование которой вносит вклад в развитие физической электроники.

Считаю, что Лещева Ксения Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника.

Официальный оппонент:

Эксперт научно-технической сферы (свидетельство ФГБНУ РИНКЦЭ № 01-04436 от 24.09.20 г.) экспертной группы Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Исток» им. А. И. Шокина», доктор физико-математических наук (специальность 05.27.02 - Вакуумная и плазменная электроника).



Морев Сергей Павлович

15 сентября 2022 г.

Почтовый адрес: 141190, Московская область, г. Фрязино, ул. Вокзальная, д.2а.

Телефон: +7 (916) 496-01-36

E-mail: morev.sp@istokmw.ru

Подпись Морева С. П. заверяю:

Ученый секретарь диссертационного
совета № Д 409.001.01,
кандидат технических наук



И.В. Куликова