

УТВЕРЖДАЮ

Директор

ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН

чл.-корр. РАН

С. А. Никитов

«15» июля 2016 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук» о диссертации Михеева Дмитрия Алексеевича «Динамика поперечных волн электронного потока в неоднородных электрических и магнитных полях», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Диссертация Д. А. Михеева посвящена изучению процессов взаимодействия быстрой циклотронной волны (БЦВ) электронного потока с неоднородными электромагнитными полями. Работа является актуальной. Во-первых, предлагается повышение выходной мощности поперечно-волновых устройств СВЧ посредством ленточных электронных потоков, ранее в приборах такого типа не используемых. Во-вторых, отмечается, что высокая эффективность подобных устройств может быть достигнута возбуждением БЦВ в ленточном электронном потоке, транспортируемом в аксиально-симметричном магнитном поле.

Основные результаты диссертации состоят в следующем:

1) Проведен анализ структуры основной и высших мод высокочастотного электрического поля объемного резонатора типа Каччия, а также исследованы процессы взаимодействия электронного пучка с высокочастотным поперечным полем резонатора. Оригинальная конструкция резонатора с поперечным электрическим полем может быть использована для транспортировки и модуляции как ленточных, так и цилиндрических потоков. Кроме того, модель резонатора также может быть использована для группировки электронных потоков. Установлена возможность прямого преобразования энергии быстрой циклотронной волны ленточного электронного потока в энергию постоянного электрического тока в неоднородных расширяющихся магнитных полях.

2) Разработана оригинальная трёхмерная дискретная модель ленточного электронного пучка для исследования устойчивости и динамики распространения пучка в неоднородных электрических и магнитных полях. Модель является перспективной для моделирования и разработки широкого класса микроволновых устройств с ленточными электронными пучками в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах.

3) Исследована устойчивость ленточных электронных пучков в расширяющихся аксиально- и плоско-симметричных магнитных полях в условиях циклотронного резонанса. Показано, что повышение устойчивости ленточных электронных потоков с циклотронным вращением в расширяющихся аксиально- и плоско-симметричных магнитных полях предоставляет дополнительные перспективы для разработки мощных СВЧ устройств с поперечной модуляцией электронного потока. Выявлено, что в расширяющихся аксиально- и плоско-симметричных магнитных полях распространение ленточных электронных потоков становится более стабильным благодаря уменьшению фактора $\vec{E} \times \vec{B}$, ответственного за деформацию поперечного сечения ленточного пучка.

4) Показана возможность пространственной 3D группировки электронного потока с циклотронным вращением в неоднородных магнитных полях в отсутствие начальной модуляции продольной скорости.

В диссертации впервые установлены следующие физические особенности взаимодействия электронных потоков с высокочастотными полями:

1) Изучен модовый состав и структура мод высокочастотного электрического поля объемного цилиндрического резонатора типа Каччия, исследованы процессы взаимодействия электронного пучка с высокочастотным поперечным полем резонатора.

2) Исследована возможность прямого преобразования энергии быстрой циклотронной волны ленточного электронного потока в энергию постоянного электрического тока в неоднородных расширяющихся магнитных полях.

3) Рассмотрены вопросы устойчивости ленточных электронных пучков с циклотронным вращением в расширяющихся аксиально- и плоско-симметричных магнитных полях.

4) Выявлена возможность пространственной 3D группировки электронного потока с циклотронным вращением в неоднородных магнитных полях в отсутствие начальной модуляции продольной скорости электронов.

Достоверность результатов, представленных в работе, подтверждается численными и модельными экспериментами, проведенными с использованием современных вычислительных средств и программного обеспечения.

Полученные результаты обладают несомненной практической ценностью. Использование ленточных электронных пучков может найти широкое применение при создании новых типов мощных и эффективных устройств СВЧ как с продольной, так и с поперечной модуляцией электронного потока.

Диссертация изложена на 109 страницах, содержит введение, 4 главы и заключение, 68 рисунков и 13 таблиц. Список использованной литературы состоит из 106 библиографических ссылок. Основные результаты представлены в 27 публикациях, из них 6 статей в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень периодических изданий ВАК.

Во введении диссертации изложены актуальность и практическая ценность работы, сформулирована цель диссертации, раскрыта ее научная новизна, представлена информация о публикациях автора и конференциях, на которых доложены основные результаты работы.

В первой главе представлена необходимая для изложения оригинальных разделов диссертации информация из теории вакуумной электроники СВЧ. Сообщается о поперечной модуляции электронных потоков, о перспективности применения ленточных электронных пучков. Рассмотрен механизм группировки электронов в усилителях клистронного типа. Представлены современные численные методы для моделирования электронных потоков.

Вторая глава посвящена цилиндрическому резонатору с поперечным полем. Исследован модовый состав резонатора. Установлено, что эффективность преобразования СВЧ энергии в энергию БЦВ потока может превышать 95% без учета потерь в стенках резонатора.

В третьей главе диссертации изучается устойчивость ленточных электронных потоков в неоднородных магнитных полях. Наиболее устойчивым режимом является транспортировка потока в магнитном поле с аксиальной симметрией. При этом могут быть реализованы сотни киловатт выходной мощности с КПД более 80%.

В четвертой главе рассказывается о процессе пространственной группировки электронов при движении электронного потока в неоднородных аксиально- и плоско-симметричных магнитных полях. Показано, что эффект пространственной группировки менее зависим от действия сил пространственного заряда в сравнении с классической одномерной группировкой.

В заключении представлены основные результаты работы.

К диссертации Д. А. Михеева можно высказать следующие замечания:

1) В обзорной части диссертации нет ссылок на работы по криволинейным электронным потокам, используемым в релятивистских приборах, например в гиротронах и лазерах на свободных электронах.

2) В работе практически отсутствует информация о трубчатых электронных потоках. Применение трубчатых потоков по уровню реализованной мощности перспективно так же, как и использование ленточных пучков.

3) Результаты, приведенные в диссертации, получены без учета ряда эффектов, таких как тепловые потери в металлических стенках, вторичная эмиссия и другие эффекты, которые могут существенным образом сказаться на выходных характеристиках СВЧ устройств. В работе хотелось бы видеть хотя бы оценки влияния этих факторов.

Тем не менее, диссертация Д. А. Михеева выполнена на достаточно высоком уровне и является цельным, законченным научным исследованием. Автореферат в необходимой мере отражает содержание диссертации. Диссертация «Динамика поперечных волн электронного потока в неоднородных электрических и магнитных полях» соответствует всем критериям, установленным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 «О присуждении ученых степеней» к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, и ее автор Михеев Дмитрий Алексеевич безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Отзыв о диссертации рассмотрен и одобрен на заседании научно-квалификационного семинара «Генерация электромагнитных колебаний и их применения», протокол № 5/16 от 13 июля 2016 г.

Председатель семинара

Член-корр. РАН

В.А. Черепенин

Ученый секретарь семинара

К.ф.м.н.

В.А. Вдовин

Почтовый адрес организации: 125009, г. Москва, уд. Моховая, д. 11, стр.7, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН