

## Отзыв на автореферат диссертации А.С. Седова

### «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОННО-ВОЛНОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЦЕЛЯХ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ГИРОТРОНОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ»

По специальности 01.04.03 – «радиофизика»

Диссертация А.С. Седова, как следует из Автореферата, посвящена исследованию электронно-волнового взаимодействия в гиротронах, работающих как на первой, так и на второй гармониках циклотронной частоты. При этом основной акцент в этом исследовании сделан на изучении возможности разработки **высокостабильных терагерцовых гиротронов средней мощности**. Следует отметить, что работ, как теоретических, так и экспериментальных, посвящённых изучению гиротронов, насчитывается огромное количество, так как само это направление имеет давнюю историю. При этом кроме работ, посвящённых созданию гиротронов мегаваттного уровня мощности на первой гармонике циклотронной частоты, были работы, посвящённые изучению возможности генерации в гиротроне и на второй гармонике гирочастоты.

Тем не менее, к чести соискателя следует отметить, что он изучил результаты большого числа предыдущих работ, сделав детальный обзор литературных источников в **Ведении** и первом параграфе **Главы 1** (1.1), о чём говорит список литературы, относящийся к этим разделам диссертации, содержащий 25 наименований. Были также описаны расчётные модели, используемые для анализа процессов электронно-волнового взаимодействия в гиротронах. В параграфе 1.2 на основе этих моделей проведено численное моделирование и исследованы режимы генерации ранее созданных и испытанных субтерагерцовых непрерывных гиротронов на второй гирогармонике с частотой 0.315ТГц, 0.25ТГц и 0.28ТГц, а также гиротрона средней мощности на основном циклотронном резонансе с частотой 0.3 ТГц. Сравнение результатов расчёта с результатами эксперимента позволило выявить причины их расхождения.

В исследовании **Главы 1** фактически была проведена «обкатка» теоретических моделей по расчёту параметров упомянутых выше гиротронов путём сравнения результатов счёта с экспериментом и их оптимизация.

В результате исследование зон генерации как рабочей, так и паразитных мод позволило выявить влияние на режимы генерации отклонения ведущих центров электронных орбит от оптимального значения; несоосности электронного пучка с осью резонатора; пространственного заряда электронного пучка; отражения волн от выходного окна. **К сожалению, не указано, какие именно известные теоретические модели «описаны в расчётных моделях, используемых для анализа процессов электронно-волнового взаимодействия в гиротронах», и что пришлось (если пришлось) в них доработать автору, чтобы получить конечный результат.**

**Тем не менее, полученные результаты важны для проектирования и оптимизации вновь разрабатываемых приборов.**

Именно это и доказывается в **Главе 2**, где обсуждаются вопросы теоретического исследования и численного моделирования **новых** субтерагерцовых и терагерцовых гиротронов. Собственно в этой главе приведены результаты исследований, содержащихся в первых четырёх основных положениях, выносимых на защиту и определяющих новизну всей работы. Судя по Автореферату, все они выполнены в полном объёме и не имеет смысла их перечислять.

Но вот в п.2.3 обсуждаются возможные варианты электродинамических систем гиротронов на гармониках гирочастоты с улучшенными селективными свойствами. Найден такой профиль резонатора, представляющий собой аксиально-симметричную периодическую структуру с медленно меняющейся глубиной гофрировки. Для него

можно подобрать профиль её огибающей так, чтобы для рабочей моды на второй гармонике гирочастоты критическая частота не зависела от продольной координаты в отличие от критической частоты паразитной моды. На примере гиротрона с частотой 0.3ТГц на второй гармонике гирочастоты показана возможность увеличения стартового тока генерации паразитной моды на первой гармонике в 5 раз в зоне генерации основной моды при её неизменном стартовом токе. **По моему мнению, этот важный результат мог бы также выступать в качестве основного, выносимого на защиту.**

В **Главе 3** рассматриваются вопросы, связанные с теоретическим и экспериментальным исследованием непрерывного гиротрона на второй гирогармонике с рабочей частотой 0.258ТГц и мощностью 200Вт для работы в составе гиротронного комплекса. Одним из основных требований к данному гиротрону, обусловленному спецификой решаемой задачи, было поддержание высокой стабильности частоты и мощности излучения ( $10^{-5}$  и  $10^{-1}$  соответственно) в течение длительного (12 часов) времени работы в непрерывном режиме. **Решение этой практической задачи явилось ответственной проверкой всей предшествующей работы диссертанта.**

В п.3.1 приведены основные результаты расчётов, выполненных при разработке прибора. В качестве рабочей моды выбрана мода ТЕ<sub>2,3</sub>. В процессе расчётов были определены оптимальные по КПД параметры резонатора. **Для оценки необходимой стабильности технических параметров было выполнено численное моделирование, демонстрирующее величину дрейфа мощности и частоты излучения при изменении магнитного поля, напряжения и тока электронного потока.**

В п.3.2 излагаются результаты экспериментов с этим гиротроном. Максимальная мощность излучения достигала **180Вт** при КПД 3.7%. Были измерены частота генерации (0.2589ТГц) и омические потери в резонаторе. Стабильность частоты гиротрона составила  **$5 \cdot 10^{-6}$** , а мощности **1%** в течение нескольких часов непрерывной работы, что удовлетворяет требованиям спектроскопии высокого разрешения.

В п.3.3 приведены результаты анализа, выполненного для определения причин, обусловивших отличие расчётных и экспериментальных результатов.

**Таким образом, блестяще выполнен последний пункт основных положений, выносимых на защиту**

В **Главе 4** излагаются результаты теоретического исследования и экспериментальные данные, связанные с разработкой гиротрона с частотой 0.263 ГГц на **первой** гармонике гирочастоты.

На основе опыта разработки и экспериментального исследования гиротрона, описанного в материалах третьей главы, был проведен расчёт основных параметров прибора для гиротронного комплекса. В приведенных результатах эксперимента получены зависимости выходной мощности от параметров для различных режимов работы (Рис.5). Максимальная мощность составила величину более 0,9 кВт при токе электронного пучка  $I = 0.4$  А, катодном напряжении 15 кВ, что соответствует КПД около 17%. Эти данные хорошо согласуются с результатами расчетов, проведенных на этапе разработки и проектирования гиротрона. Также был экспериментально реализован режим генерации при очень малом токе электронного пучка 0,02 А, в котором было получено достаточное для указанных приложений значение мощности 10 Вт с КПД около 3%. В процессе проведенных экспериментальных исследований были измерены омические потери в стенке резонатора. Полученные данные в целом согласуются с аналогичными измерениями, выполненными в главе 3.

**Таким образом, ещё раз продемонстрирована возможность использования теоретического багажа диссертанта для разработки гиротронов и на первой гармонике гирочастоты.**

Подтверждением важности всего проведенного исследования может служить то, что результаты его включены в методику проектирования терагерцовых гиротронов.

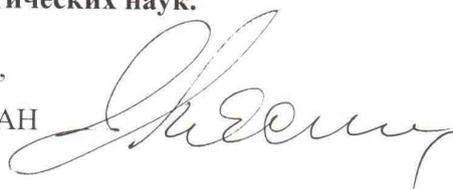
Несмотря на самое благоприятное впечатление от работы, придётся отметить недостатки.

1. Не указано (на стр.8,9), какие именно известные теоретические модели использованы и что пришлось (если пришлось) в них доработать автору, чтобы получить конечный результат.
2. В Автореферате на стр.9 почему-то в п.1.2 упомянут и п.1.3;
3. на той же стр.9 говорится о введении эмпирического коэффициента  $\frac{1}{2}$ , но нет формулы, в которую его нужно ввести;
4. на Рис.1 толстые и тонкие линии практически неразличимы и такое обозначение вносит только путаницу при первом прочтении (достаточно было букв Р, η, g);
5. на стр.10 «проведено численное моделирование нескольких гиротронов в диапазоне 0.2-0.8 ТГц на различных гармониках», **но не указано**, с какой именно электродинамической системой.
6. на стр.11 в п.2.4 не указано, на какой гирогармонике будет работать гиротрон.
7. на Рис.3 следовало рядом с гиротроном разместить, если не спичечный коробок, то хотя бы авторучку.

**Несмотря на указанные недостатки Автореферата, работа производит самое благоприятное впечатление, а соискатель, безусловно, заслуживает искомой степени кандидата физико-математических наук.**

К.т.н., с.н.с., Лауреат Гос. Премии СССР,

зав. лаб. ФИРЭ им.В.А. Котельникова РАН

 Мясин Е.А.

и.о. директора ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

