

Ученому секретарю  
диссертационного совета Д 002.069.02  
при Институте прикладной физики РАН  
(603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46)

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Фокина Андрея Павловича «Субтерагерцовые гиротроны с рекордными параметрами для перспективных приложений», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Приборы гиротронного типа обеспечивают самый высокий уровень мощности СВЧ излучения в субтерагерцовом диапазоне частот. Они успешно и давно используются для нагрева плотной плазмы, для реализации ряда перспективных технологий, а также для диагностики и спектроскопии различных сред. Тем не менее, до сих пор далеко не исчерпаны возможности улучшения их характеристик. Уже в течение длительного времени ведутся работы по совершенствованию существующих и по разработке новых субтерагерцовых устройств гиротронного типа.

В настоящее время большие усилия направлены на совершенствование гиротронов со средним (порядка десятков - сотен ватт) уровнем выходной мощности, используемых, например, в спектроскопии. Для перспективных приложений гиротронов этого типа важной является долговременная стабильность параметров излучения и возможность оперативного изменения этих параметров. Наряду с этим, продолжается поиск путей увеличения мощности и частоты излучения гиротронов, используемых для создания, нагрева и диагностики плазмы. В гиротронах данного типа важно не только обеспечение высокого КПД, но и возможность долговременной их работы с эксплуатационными характеристиками, близкими к предельным.

Решению именно этих проблем посвящена диссертация А.П. Фокина. В связи с этим **актуальность его работы не вызывает сомнения.**

Для успешного решения поставленных в диссертации задач был выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований, проведено

изучение функционирования и взаимного влияния основных элементов гиротронных систем и построенных на их основе комплексов, разработаны и экспериментально испытаны разные конструкторские решения, нацеленные на совершенствование устройств гиротронного типа. Выполнение такой комплексной работы позволило автору диссертации получить **ряд новых и важных результатов.**

**Среди наиболее существенных и новых заслуживают внимания следующие результаты диссертации:**

1. В экспериментах определены возможности стабилизации, а также плавной перестройки частоты и мощности излучения гиротрона с помощью волн, отраженных от нерезонансной нагрузки. Продемонстрированы такие возможности в приборах, существенно отличающихся своей конструкцией и рабочей частотой: в сравнительно низкочастотном технологическом гиротроне с рабочей частотой 28 ГГц, а также в двухлучевом гиротроне, генерирующим на серии мод в частотном диапазоне от 320 ГГц до 780 ГГц. Таким образом, продемонстрирована общность полученных результатов.

2. Продемонстрирована возможность быстрого управления параметрами излучения гиротрона при использовании модуляции напряжения на аноде триодной магнетронно-инжекторной пушки и определены достижимые характеристики такого управления. Согласно полученным данным, управление анодным напряжением в пушке с малой межэлектродной емкостью позволяет обеспечить модуляцию частоты и мощности с чрезвычайно большими частотами вплоть до 1 МГц. Указанный метод управления достаточно универсален. Он реализован в технологическом гиротроне с рабочей частотой 28 ГГц и в гиротроне для спектроскопии с рабочей частотой 263 ГГц.

3. Выявлена возможность стабилизации частоты излучения спектроскопического гиротрона с частотой 263 ГГц и в условиях достигнутой стабилизации получены спектры излучения рекордно малой ширины (до 1 Гц).

4. Получены рекордные значения выходной мощности: более 200 кВт, для гиротрона с частотой генерации 250 ГГц, работающего в непрерывном режиме на основной гармонике циклотронной частоты, и 200 кВт для импульсного гиротрона с рабочей частотой 670 ГГц.

Значительный интерес представляют также полученные в диссертации сведения о влиянии ионной компенсации пространственного заряда на характеристики



гиротрона и разработанные рекомендации о путях уменьшения вредного влияния компенсации.

Уже перечисленные результаты свидетельствуют о высоком качестве выполненной диссертантом работы. **Защищаемые положения и основные выводы**, сформулированные в диссертации, **достаточно обоснованы. Их достоверность и новизна не вызывают сомнения.**

Полученные в диссертации А.П. Фокина результаты уже в настоящее время используются и могут быть использованы в дальнейшем для создания источников субтерагерцового излучения с существенно улучшенными характеристиками.

Диссертационная работа А.П. Фокина, как и всякое большое по объему научное исследование, не лишена недостатков. По диссертации можно сделать следующие **замечания:**

1. Многие результаты диссертации получены в расчетах с использованием хорошо отработанных методов и в результате выполненных физических экспериментов. Как правило, результаты расчетов и эксперимента хорошо согласуются. Напрашивается вопрос: "Так нужен ли эксперимент и, если нужен, то в каких случаях?".
2. На стр. 43 диссертации говорится о возможности достижения долговременной относительной стабильности излучения порядка  $10^{-12}$  в гиротроне киловаттного уровня мощности "при использовании в качестве опорного генератора источника на основе рубидия". Хотелось бы понять, какие принципиальные трудности необходимо преодолеть для достижения такой стабильности, и возможна ли реализация подобной стабильности в более мощных (МВт уровня) гиротронах.
3. В диссертации анализируется влияние на работу гиротронов процесса накопления в электронном пучке положительных ионов, возникающих в результате ионизации остаточного газа. На стр.76 автор утверждает, что при давлениях порядка  $10^{-7}$  Торр компенсация пространственного заряда электронов ионами становится существенной через интервалы времени 10-100 миллисекунд. Но хотелось бы понять, при каких энергиях электронов получают такие времена и учитывается ли в рассмотрении уход ионов в сторону катода.

**Отмеченные недостатки** касаются, в основном, огрехов в описании некоторых данных, не затрагивают основных выводов и защищаемых положений и **не меняют в целом высокую и положительную оценку диссертации.**

Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и неоднократно обсуждались на представительных конференциях и симпозиумах. Автореферат правильно и достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Диссертация А.П. Фокина является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. Ее положения важны для дальнейшего развития научного направления, которому посвящена диссертационная работа.

Диссертация полностью отвечает требованиям п.8 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Андрей Павлович Фокин, имеет высокую научную квалификацию и заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры "Физическая электроника"  
ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого

Г.Г. Соминский

Геннадий Гиршевич Соминский - д.ф.-м.н, профессор кафедры Физическая электроника ИФНиТ СПбПУ Петра Великого, имеет ученое звание профессор.

Адрес организации: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д.29.

Электронная почта: sominski@rphf.spbstu.ru

Раб. тел.: +7(812)552-61-27.

Тел. мобильный: +7(921)395-22-24.

