

Ученому секретарю
диссертационного совета Д 002.069.02
при Институте прикладной физики РАН
(603950, г. Нижний Новгород, ГСП-120, ул.
Ульянова, 46)

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Антона Сергеевича Седова «Исследование процессов электронно-волнового взаимодействия в целях разработки высокостабильных терагерцевых гиротронов средней мощности», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика»

Приборы гиротронного типа обеспечивают рекордные уровни мощности СВЧ излучения в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн. До недавнего времени считалось наиболее перспективным их использование для нагрева плазмы и управления током в установках управляемого термоядерного синтеза, а также для реализации ряда перспективных микроволновых технологий. Однако в последнее время в связи с развитием новых приложений в спектроскопии разных сред, в биологии и медицине все больший интерес проявляется к возможности создания и эксплуатации гиротронов средней мощности терагерцевого диапазона частот (0.1-10 ТГц).

В ходе освоения терагерцевого диапазона приходится решать сложные физические и технические задачи, связанные с миниатюризацией гиротронов, с необходимостью существенного увеличения магнитного поля в пространстве транспортировки электронного пучка и в резонаторе приборов этого типа. На первый план выходят, например, проблемы обеспечения эффективного селективного возбуждения рабочего типа колебаний. Зачастую для обеспечения работы гиротронов при приемлемом уровне магнитных полей приходится их эксплуатировать на гармониках гирочастоты, сталкиваясь при этом с необходимостью подавления низших гармоник с меньшими стартовыми токами. Диссертационная работа А.С. Седова посвящена решению комплекса не исследованных или недостаточно исследованных ранее проблем гиротронов терагерцевого и субтерагерцевого диапазона. В связи с этим **актуальность этой работы не вызывает сомнения.**

Для успешного решения поставленных в диссертации задач был выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований. Выполнение такой комплексной работы позволило автору диссертации получить **ряд новых и чрезвычайно важных результатов.**

Среди наиболее существенных и новых заслуживают внимания следующие результаты диссертации:

1. При активном участии А.С. Седова впервые в России созданы гиротроны терагерцевого диапазона частот средней мощности, необходимые, например, для решения задач ДПЯ/ЯМР спектроскопии. Для такого типа спектроскопии большой интерес представляют данные, демонстрирующие возможность создания гиротронов,

обеспечивающих мощности излучения порядка 10 Вт при чрезвычайно малых токах электронного пучка около 20 мА.

2. Предложен и реализован механизм перестройки частоты генерации терагерцового гиротрона согласованным изменением магнитного поля в рабочем пространстве и температуры резонатора.

3. Получены данные, свидетельствующие о возможности достижения повышенной селективности при использовании электродинамических систем в виде связанных резонаторов с трансформацией мод и резонаторов с профилированной гофрировкой поверхности.

4. Получены неизвестные ранее данные о влиянии на работу терагерцовых гиротронов несоосности электронного пучка и резонатора, несовершенств формы резонатора, а также разброса скоростей электронов.

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.**

Диссертация А.С. Седова содержит исследования, нацеленные на выяснение основных закономерностей воздействия на работу терагерцовых гиротронов магнитных и электрических полей в их рабочем пространстве, характеристик электронного потока и электродинамических структур. Проведенные исследования и выработанные в диссертации рекомендации представляют **практический интерес** потому, что могут быть использованы при создании эффективных генераторов терагерцового диапазона.

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

1. Определенное сожаление вызывает тот факт, что сведения о таких важнейших характеристиках электронного потока, как пич-фактор и разброс электронов по скоростям, которые необходимы при проектировании гиротронов, получаются в диссертации только из сравнения результатов численного расчета и экспериментального измерения характеристик приборов. По сути, эти параметры являются «подгончными». Понятно, что осуществить диагностику электронных потоков в терагерцовых гиротронах чрезвычайно трудно. Но хотелось бы высказать пожелание, чтобы в дальнейшей работе были разработаны и реализованы подходящие к этим приборам методы экспериментального исследования электронного потока.

2. В диссертации справедливо отмечается сильное влияние на рабочие характеристики исследованных гиротронов даже малых отклонений от оптимальных конфигурации электродов и электронного потока, а также распределения электрических и магнитных полей. Так, например, обращается внимание на то, что при изготовлении системы формирования пучка и резонатора зачастую необходимо обеспечить микронные допуски и исключить даже малые эксцентриситет пучка и азимутальные его неоднородности, а также перекося пучка относительно оси. В этой связи возникает вопрос: Могут ли современные технологии обеспечить достаточно хорошую воспроизводимость характеристик создаваемых приборов? Понятно, что квалифицированные пользователи способны осуществить необходимую «настройку» гиротрона. Однако, одно из привлекательных приложений терагерцовых гиротронов связано с их использованием в медицине и биологии. В этих приложениях важно обеспечить максимально простые условия эксплуатации приборов.

3. А.С. Седовым показано, что даже малое изменение температуры резонатора ведет к заметным изменениям частоты генерируемого терагерцовым гиротроном сигнала. По сделанным в диссертации оценкам изменения частоты достигают нескольких мегагерц

при изменении температуры на градус. В связи с этим хотелось бы понять, определяется ли нагрев резонатора только скин-токами в его стенках. Не может ли влиять на температуру резонатора излучение катода? Если излучение катода может влиять на характеристики прибора, может быть имело бы смысл использовать в терагерцовых гиротронах эффективные низкотемпературные или даже холодные полевые эмиттеры.

Сделанные замечания носят характер пожеланий по совершенствованию дальнейших работ диссертанта. Они не затрагивают основных выводов диссертации и защищаемых положений, которые представляются достаточно надежными и обоснованными, и не меняют в целом очень 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.С. Седова является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. В ней заложены основы создания гиротронов терагерцового диапазона. Ее положения важны для дальнейшего развития научного направления, которому посвящена диссертационная работа.

Диссертация полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Антон Сергеевич Седов, известный своей высокой научной квалификацией, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Физическая электроника»
Санкт-Петербургского политехнического
Университета Петра Великого

Подпись _____ Г.Г. Соминский

