

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Проявина Михаила Дмитриевича
«Увеличение эффективности гиротронных комплексов для
микроволновых технологий»
представленную в диссертационный совет 24.1.238.01 Института прикладной физики
РАН на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.4. - Радиофизика**

Радиофизический прибор (генератор) с уникальными характеристиками излучения и общепринятым в настоящее время в мире названием «гиротрон» был создан в НИРФИ в середине XX века. Импульсные гиротроны большой мощности оказались почти сразу востребованы для дополнительного (к омическому) нагреву плазмы на крупномасштабных установках управляемого термоядерного синтеза (УТС). Однако применения гиротронов в других областях науки и техники (материаловедение, спектроскопия и др.) начались много позже, что связано с особенностями необходимых характеристик генераторов для приложений, отличных от УТС. Для технологических приложений часто требуется не импульсное, а непрерывное излучение, необходима перестройка частоты излучения, работа гиротрона в меньших магнитных полях, не требующая сверхпроводящих магнитов и др. При этом по характеристикам нельзя строго разделить технологические и УТС гиротроны. Например, требования по перестройке частоты для технологических применений оказались важны для тороидальных установок УТС после получения режимов с провальными в центре плазменного шнура профилями плотности “rimr-out” при больших мощностях электронно-циклотронного нагрева (ЭЦН) на токамаках ASDEX, T-10. Очевидно, что увеличение эффективности гиротронных комплексов для микроволновых технологий (как и для технологий УТС) является современной и актуальной научной задачей. Решение такой задачи тесно связано с анализом радиофизических явлений в гиротроне, поэтому проведенные диссертантом исследования важны как для прикладных, так и для академических задач радиофизики.

Новизна исследований.

Диссертационная работа М.Д. Проявина посвящена исследованию радиофизических параметров отдельных узлов гиротронных комплексов. Критерий выбора параметра для анализа определялся возможностью его использования для улучшения эффективности работы комплексов для микроволновых технологий.

- Показано расширение полосы плавной перестройки частоты генерации в гиротронах с укороченным резонатором. Полученные результаты могут быть использованы в случае широкополосной ступенчатой перестройки частоты гиротрона при работе на близких модах.
- Тщательно изучено явление бомбардировки катода гиротрона отраженными от магнитной пробки электронами. Теоретически и экспериментально показано, что электронная бомбардировка катода приводит к дополнительному разогреву катода, что может быть использовано для увеличения времени жизни катодного узла.

- Теоретически и экспериментально исследованы гиротроны с экранированными магнитными системами. Электронно-оптическая система таких гиротронов успешно адаптирована к специфическому распределению профиля магнитного поля. Коррекция магнитного поля в области формирования и осаждения электронного потока и электродинамической системы обеспечила эффективную генерацию в полосе частот 28–95 ГГц в одном приборе.
- Проведенная оптимизация распределения профиля магнитного поля в резонаторе позволила в технологическом гиротроне с рабочей частотой 30 ГГц увеличить КПД в 1.3 раза (с 27% до 36%) по сравнению с однородным распределением магнитного поля.
- Для режима гиротрона с частотой генерации 28 ГГц на основном циклотронном резонансе была получена стабильная генерация излучения на уровне мощности более 20 кВт при КПД всего комплекса в целом около 30 % (рекордные параметры для таких технологических гиротронов).

Достоверность полученных результатов и научных положений.

Достоверность полученных экспериментальных характеристик не вызывает сомнения. Экспериментальные результаты получены с привлечением разных независимых диагностических методов. Достоверность результатов численного моделирования и вытекающих из них выводов обусловлена применением современных математических методов, хорошей согласованностью эмпирических данных и численного моделирования. Моделирование было проведено в различных пакетах программ и с учетом различных физических факторов. Разработанные и адаптированные программные коды для расчета и оптимизации электронно-оптической и электродинамической подсистем гиротрона были тщательно протестированы.

Все разделы диссертации освещались на российских и международных радиофизических конференциях, посвященных вакуумной электронике, ЭЦР нагреву плазмы гиротронами, радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн и др. Основные результаты всех разделов были опубликованы в рецензируемых журналах.

Значимость полученных результатов.

Полученные М.Д. Проявиным оригинальные результаты являются новыми и имеют большое научное значение. Результаты диссертации имеют не только академическую важность, но и обладают выраженной практической направленностью.

Один из фундаментальных значимых результатов был обнаружен автором при изучении и анализе катодных явлений в гиротроне. Показано, что электронная бомбардировка катода отраженными от магнитной пробки электронами, приводящая к дополнительному разогреву катода, может быть использована для увеличения времени жизни катода. Ранее такой эффект считался ухудшающим режим работы катода. Этот результат имеет не только академическое, но и большое практическое значение, потому что показывает возможность увеличения срока службы катода при снижении температуры подогревателя.

Отметим, что автором получен важный практический результат по созданию (расчету, разработке и испытанию) нового типа магнитно-экранированной системы, позволяющий в 4 раза снизить энергопотребление соленоида при той же интенсивности и протяженности магнитного поля в области электронно-волнового взаимодействия (для гиротрона).

При исследовании влияния профиля магнитного поля на режимы генерации гиротрона был получен значимый фундаментальный и практический результат, свидетельствующий о возможности оптимизации электронно-оптической и электродинамической систем для эффективной генерации в широкой полосе частот.

Значимым радиофизическим результатом является разработка автором гиротрона нового поколения, способного осуществлять эффективную (~35% без рекуперации энергии) генерацию излучения мощностью до 25 кВт на частотах 28, 35, 45 ГГц на основном циклотронном резонансе и 95 ГГц на второй гармонике гирочастоты.

Оценка содержания диссертации, её завершенность.

Диссертация состоит из введения, трех глав оригинального содержания, заключения и приложения. Объем диссертации — составляет 103 страницы, включая 72 рисунка, списка литературы из 58 наименований и 13 статей в дополнительном списке с участием автора.

В целом диссертационная работа представляет собой законченный труд, в котором получен ряд важных результатов как фундаментального, так и прикладного характера. Отмечаю большой вклад автора в проведение теоретических и экспериментальных исследований эффекта бомбардировки катода гиротрона отраженными от магнитной пробки электронами, перестройки частоты генерации технологических гиротронов на второй гармонике циклотронной частоты, сценариев оптимизации электронно-оптической и электродинамической подсистем гиротрона для увеличения КПД прибора. Результаты, полученные автором, широко известны специалистам по радиофизике и опубликованы в 13 статьях в реферируемых журналах из списка ВАК, неоднократно были доложены на российских и международных семинарах и конференциях.

По работе имеются следующие вопросы и замечания.

1. Автором неоднократно (в разных разделах) используется термин (определение) «паразитный». Этот термин является общепринятым в радиофизике (радиотехнике) в контексте: «на гармониках гирочастоты наибольшую опасность представляет возбуждение паразитных мод». Однако определение «паразитный» к явлению, которое обнаружено автором и приводит к улучшению режимов работы гиротрона («результаты теоретического и экспериментального исследования возможности значительного увеличения срока службы подогревателя катода гиротрона за счет использования паразитного эффекта бомбардировки катода отраженными от магнитной пробки электронами»), является некорректным.
2. Для каких технологических приложений автор собирается использовать гиротрон с частотой излучения 95 ГГц (для гиротронов 28, 30, 45 ГГц такие применения известны)?

3. В работе достаточно много некорректных выражений. Например, «в разы (?) увеличить срок службы», «примерно», «данный софт» и др.
4. В разделе научная новизна не принято приводить ссылки не на работы автора.
5. В диссертационной работе большое количество практических результатов. Рекомендую автору оформить патенты на отдельные результаты работы.


Указанные замечания не снижают научной значимости и общей положительной оценки диссертационной работы.

Работа выполнена автором на высоком научном уровне с использованием современных экспериментальных средств и полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

В автореферате диссертации адекватно отражено содержание диссертации и публикаций автора. Основные результаты отражены в публикациях, докладах на научных конференциях и известны специалистам.

Диссертационная работа Проявина М.Д. «Увеличение эффективности гиротронных комплексов для микроволновых технологий», соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиопизика.

Официальный оппонент:


Нина Николаевна Скворцова
доктор физико-математических наук, специальность 1.3.9. – Физика плазмы,
профессор, специальность 1.3.4. – Радиопизика,
ведущий научный сотрудник отдела физики плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук"
Почтовый адрес: 119991, Москва, ул. Вавилова 38, ИОФ РАН
e-mail: nina@fpl.gpi.ru
телефон: +7 499 5038777*582

Я, Скворцова Нина Николаевна, выражаю свое согласие на обработку персональных данных, связанных с защитой диссертации.



 2021 г.

Подпись Н.Н. Скворцовой удостоверяю
ВРИО ученого секретаря ИОФ РАН, д.ф. - м.н.




В.В. Глушков