

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИРО им. В. А. Котельникова

РАН

чл.-корр. РАН С.А.Никитов



« 20 » ноября 2021 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБУН «Институт  
радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
Российской академии наук»

на диссертационную работу Проявина Михаила  
Дмитриевича «Увеличение эффективности  
гиротронных комплексов для микроволновых  
технологий», представленную на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 1.3.4 – «Радиофизика»

### Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа М.Д. Проявина посвящена вопросам исследования и разработки высокоэффективных непрерывных гиротронов киловаттного уровня мощности для технологических комплексов диапазона частот 24-30 ГГц. Проведено исследование возможности работы указанных генераторов в области частот вплоть до 90-95 ГГц при одновременном увеличении выходной мощности в несколько раз, что является рекордными показателями, определяющими сегодняшний мировой уровень разработок в этой области. Таким образом, актуальность диссертационной работы М.Д. Проявина не вызывает сомнений.

### Новизна результатов диссертационного исследования

Основные результаты работы получены впервые. Наиболее значимыми представляются следующие новые результаты:

1. Экспериментально показана возможность перестройки частоты генерации гиротрона, работающего на первой гармонике (12 ГГц, киловаттный уровень мощности), в пределах 4%. При этом была получена генерация вплоть до третьей продольной вариации ВЧ-поля.
2. Теоретически и экспериментально продемонстрирована возможность значительного увеличения КПД и перестройки частоты при профилировании магнитного поля в области электронно-волнового взаимодействия в диодном варианте гиротрона с рабочей частотой 30 ГГц и мощностью до 15 кВт.
3. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование возможности формирования качественного (с точки зрения электронно-волнового взаимодействия) винтового электронного потока (ВЭП) в магнито-экранированной системе (МЭС). Разработана и успешно испытана МЭС, обладающая вдвое большим магнитным полем, чем стандартные «теплые» соленоиды, используемые в текущих версиях гиротронных комплексов.
4. Полученные экспериментальные данные профиля магнитного поля в МЭС позволили разработать уникальную магнетронно-инжекторную пушку, которая в условиях квазиадиабатического магнитного поля способна формировать ВЭП необходимого качества.

#### **Научная и практическая значимость работы**

В работе представлены результаты по разработке и испытанию высокоэффективного технологического гиротронного комплекса на базе МЭС, который способен обеспечивать генерацию на многокиловаттном уровне мощности вплоть до W-диапазона. Использование этого гиротрона в микроволновых комплексах для обработки материалов может снизить их энергопотребление примерно в 1.5 раза.

#### **Оценка содержания работы.**

Следует отметить, что диссертантом проведена комплексная работа, включающая большой объем экспериментальных исследований и численных

расчетов. Полученные данные представляют как научный, так практический интерес.

**Достоверность полученных данных и выводов диссертации** не вызывают сомнения. Исследования выполнены с использованием современных экспериментальных методик и методов расчета.

Вынесенные на защиту положения четко сформулированы и обоснованы.

**Автореферат диссертации** достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

#### **Публикации по теме работы.**

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 13-ти работах, большинство из которых содержатся в международных базах данных Scopus и WOS. Материалы были доложены на 19-ти конференциях и семинарах, в том числе и международных.

#### **Личный вклад автора**

Представленные в работе результаты получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии. Вклад автора достаточно подробно описан в опубликованных работах (выполненных в соавторстве) и не вызывает сомнений.

#### **Замечания по диссертационной работе и реферату.**

1. Не приведено подробное объяснение поведения кривых на рис.1 (стр.22 текста диссертационной работы). В частности, в экспериментальных данных второй локальный максимум зависимости мощности от величины магнитного поля оказался ниже третьего, что противоречит теоретическим результатам автора. Кстати, в самом тексте прямой ссылки на этот рисунок не обнаружено.

2. Автор не уделил должного внимания влиянию радиальной компоненты статического магнитного поля, которая (особенно для случая наличия экрана, рис.15, 16 стр. 38), может иметь значительную величину.
3. Недостаточно подробно изложены предложенные автором усовершенствования в алгоритмах расчета электронно-оптических, электродинамических задач и задач взаимодействия электронного пучка с полем открытого резонатора.

Следует отметить, что сделанные замечания не меняют в целом положительной оценки диссертационной работы. Основные результаты и выводы работы представляются достоверными, полезными и значимыми.

### **Заключение.**

Диссертация М.Д. Проявина представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне. Она содержит новые научные результаты, которые имеют существенное значение для радиофизики, включая многочисленные приложения. Тема диссертации соответствует специальности 1.3.4—«Радиофизика», автореферат достаточно полно и правильно отражает ее содержание. Диссертант является высококвалифицированным специалистом, имеющим навыки экспериментальных исследований, теоретического анализа и численного моделирования. Его работы неоднократно докладывались на всероссийских и международных конференциях, опубликованы в 13-ти статьях, в том числе в престижных международных изданиях. Достоверность и обоснованность основных выводов и положений, выносимых на защиту, не вызывает сомнений.

Диссертация отвечает всем требованиям пп. 9-11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор М.Д. Проявин заслуживает

присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4—«Радиофизика».

Диссертационная работа М.Д. Проявина рассмотрена и одобрена на заседании научно-квалификационного семинара института "Генерация электромагнитных колебаний и их применения" (протокол № 4 от 18.11.2021 г.).

Руководитель семинара

чл.-корр. РАН



В.А.Черепенин

Секретарь семинара

к.ф.-м.н.



В.А.Вдовин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук» (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)

Индекс, почтовый адрес 125009, г.Москва, Моховая ул.,д.11, корп.7

Телефон: +7 (495) 629-33-87

Сайт: [www.cplire.ru](http://www.cplire.ru)

E-mail: [ire@cplire.ru](mailto:ire@cplire.ru)