

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Леонтьева Александра Николаевича «Разработка и исследование релятивистских гиротронов миллиметрового диапазона длин волн», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 - радиофизика

Диссертационная работа А.Н.Леонтьева посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию релятивистских гиротронов миллиметрового диапазона мегаваттного уровня мощности. Реализация таких источников электромагнитного излучения открывает перспективы для развития новых технических и научных приложений, в частности – в импульсной спектроскопии, газовом разряде и ряде других. Таким образом, цикл проведенных в рецензируемой работе исследований, несомненно, актуален.

Диссертация состоит из трёх глав. В первой главе, исследуется возможность реализации импульсного мультимегаваттного гиротрона 3-мм диапазона длин волн на основе модифицированного сильноточного ускорителя Сатурн-Ф. Выполнена оптимизация как электронно-оптической системы, работающей в режиме температурного ограничения эмиссии, так и процесса электронно-волнового взаимодействия, и показано, что возможна реализация гиротрона с мощностью 5-10 МВт при КПД порядка 30%. Указанные выводы подтверждены экспериментально. Несомненным достоинством главы является тщательное проведение теоретических исследований, которое основано на последовательном использовании целого ряда физических и численных моделей все усложняющегося уровня сложности и сопоставлении полученных на их основе результатов, что и позволило реализовать впечатляющие выходные параметры в ходе экспериментов. Во второй главе рассмотрен релятивистский гиротрон Ка-диапазона с субгигаваттным уровнем выходной мощности. Отличительной особенностью использованной и исследованной здесь электронно-оптической системы (ЭОС) является использование взрывозмиссионного катода, что с одной стороны упрощает получение огромных токов (2 кА) и энергий частиц (500 кэВ), но с другой – сильно усложняет как задачу хорошего токопрохождения, так и методику численного моделирования таких ЭОС и реализации приемлемых параметров электронного потока. Тем не менее, в диссертации использованы адекватные методы численного моделирования и найдены режимы, позволившие обеспечить пич-фактор порядка 1 при малом перехвате пучка каналом транспортировки в случае магнитной компрессии пучка. Расчетное качество пучка подтверждено экспериментально. В этой же главе предложен и детально исследован новый резонатор продольно-щелевого типа, состоящий из набора продольно расположенных пластин, где возможно селективное возбуждение электронным пучком ТМ мод. Помимо этого, теоретически показана возможность получения выходной мощности около 200 МВт как в гиротроне с классическим цилиндрическим резонатором на моде  $TE_{3,2}$ , так и с продольно-щелевым пластинчатым резонатором на моде  $TM_{5,1}$  на частотах 30-35 ГГц. Экспериментально подтверждена, хотя и на более низкой мощности (40 МВт), возможность генерации на указанных выше модах. В заключительной третьей главе рассмотрены подходы, позволяющие поднять частоту генерации релятивистских гиротронов до нескольких сотен гигагерц. С этой целью предложен и исследован оригинальный цилиндрический резонатор с продольно-

щелевыми разрезами и показана возможность существенного разрежения спектра высокочастотных мод по сравнению с классическим цилиндрическим резонатором. При этом полоса возбуждения рабочей моды по магнитному полю оказывается вдвое больше, чем в регулярном резонаторе, а максимальная мощность излучения может достигать 100 МВт на частоте 100 ГГц и 70-80 МВт на частотах 300-500 ГГц. Другой рассмотренный в диссертации метод увеличения частоты генерации основан на нелинейном умножении частоты. Показано, что в отличие от слабoreлятивистских гиротронов, коэффициент нелинейной трансформации для третьей гармоники гирочастоты может быть повышен на несколько порядков, вплоть до 0.5%, что позволяет реализовать мегаваттный уровень выходной мощности на третьей гармонике при частотах 100-300 ГГц. Этот вывод подтвержден экспериментально. Аналогичный подход, согласно теоретическому анализу, позволяет достичь даже частоты 0.5 ТГц на 5-ой гармонике при уровне выходной мощности порядка 200 кВт.

Автореферат написан ясным лаконичным языком, хорошо структурирован и достаточно полно отражает физику рассматриваемых процессов. В целом работа производит приятное впечатление. В ней решено много весьма нетривиальных задач, направленных на дальнейшее увеличение частоты и мощности релятивистских гиротронов. К несомненным достоинствам работы следует отнести гармоничное сочетание различных методов теоретического анализа с экспериментальной проверкой сделанных теоретических утверждений.

В качестве замечаний к тексту автореферата можно указать следующие:

1. Согласно рис.3в в рабочем пространстве гиротрона наблюдаются осцилляции пичч-фактора, однако объяснение этого эффекта отсутствует.
2. На стр. 18 автореферата утверждается, что разброс по поперечным скоростям достигает 40%, что является весьма большой величиной. Следует ли в этом случае учитывать отраженные от магнитного зеркала электроны?

Сделанные замечания имеют частный характер и не снижают общую высокую положительную оценку работы. Диссертация А.Н.Леонтьева является в целом самостоятельным, системно оформленным исследованием и представляет научный труд, имеющий существенное значение для физики и техники перспективных релятивистских гиротронов субмиллиметрового диапазона.

Автореферат свидетельствует о высоком научном уровне и квалификации автора в области исследования динамики электронных генераторов и как экспериментатора и как теоретика. Основные выводы и положения представляются достоверным и обоснованными. Результаты диссертации достаточно полно опубликованы, включая 10 статей в ведущих российских и зарубежных журналах, а также прошли апробацию на крупных всероссийских и международных конференциях с участием ведущих специалистов в области СВЧ электроники. Диссертация соответствует специальности 1.3.4 – радиофизика.

Считаю, что диссертационная работа А.Н.Леонтьева удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а соискатель заслуживает присуждения указанной степени.

Отзыв составил:



Профессор кафедры квантовой радиофизики и электроники  
радиофизического факультета ННГУ, доктор физ.-мат. наук по специальности  
01.04.03 – «радиофизика»

*Мав*

Мануилов В.Н.

603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.  
e-mail: [mavnik1@yandex.ru](mailto:mavnik1@yandex.ru)  
тел.: 8 (831) 462-32-66

**Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации**

Мануилов Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.03 - «радиофизика», профессор кафедры квантовой радиофизики и электроники радиофизического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Адрес: 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.

Тел.: +79107982506; E-mail : [mavnik1@yandex.ru](mailto:mavnik1@yandex.ru).

Подпись профессора кафедры квантовой радиофизики и электроники радиофизического факультета ННГУ, доктора физико-математических наук Мануилова Владимира Николаевича заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

*Л.Ю. Черноморская*

