

## Влияние нарушений аксиальной симметрии на процесс генерации и модовой селекции в двухлучевом субтерагерцовом гиротроне

К.А. Лещева<sup>1,2</sup>, В.Н. Мануилов<sup>1,2</sup>, М.Ю. Глявин<sup>2</sup>, А.П. Фокин<sup>2</sup>, В.Ю. Заславский<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН

**Аннотация:** в данной работе приведены результаты исследования процессов генерации в двухлучевом гиротроне на второй гармонике циклотронной частоты (0.79 ТГц), при различных вариантах смещения осей электронных пучков относительно оси резонатора. Выявлены допуски на нарушение аксиальной симметрии системы. Проведено сравнение устойчивости одномодовой генерации при использовании однолучевой и двухлучевой схем гиротронов

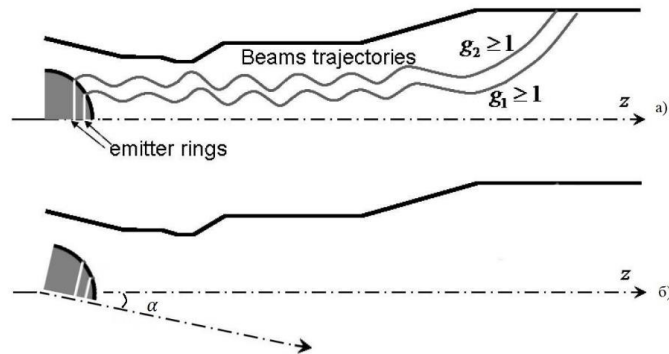
**Ключевые слова:** гиротрон, многолучевые системы, гармоники циклотронной частоты, селекция колебаний, винтовой электронный пучок

Субтерагерцовые непрерывные гиротроны (рабочая частота 0.5–1 ТГц) являются перспективными источниками излучения для многих развиваемых в настоящее время научных и технических приложений [1]. Необходимым условием работы гиротронов является обеспечение условий циклотронного резонанса, когда рабочая частота близка к циклотронной или одной из ее гармоник. Последнее делает необходимым использование сверхпроводящих магнитов с типичными величинами магнитных полей в диапазоне 10–15 Т. Магниты с полями более 15 Т являются уникальными и очень дорогостоящими физическими установками и вследствие этого не могут использоваться в практических конструкциях гиротронов. Поэтому субтерагерцовые гиротроны работают на второй или даже третьей гармонике циклотронной частоты [2]. Последнее обстоятельство резко усложняет задачу селективного возбуждения рабочего типа колебаний в резонаторе гиротрона вследствие конкуренции с модами, синхронными с электронным пучком на низших гармониках. Эффективным способом подавления эффекта конкуренции мод является использование двухлучевых гиротронов с двумя излучающими пучками [3]. Недавние теоретические и экспериментальные исследования двухлучевого гиротрона на второй гармонике циклотронной частоты с рабочей длиной волны 0.38 мм (790 ГГц) (рис.1) [4] показали, что использование такой схемы позволяет реализовать источник излучения с выходной мощностью порядка 10 Вт. Однако типичное для субмиллиметровых гиротронов большое расстояние от катода магнетронно-инжекторной пушки до рабочего пространства гиротрона (в указанном гиротроне 570 мм) в совокупности с малой длиной волны  $\lambda$  и, соответственно – малыми размерами резонатора, существенно усложняют юстировку прибора в магнитном поле и вследствие этого приводят как к параллельному смещению осей электронных пучков относительно оси резонатора на величину  $\Delta R$  (рис.2), так и к их наклону на угол  $\alpha$  (рис.1 а). Очевидно, оба фактора меняют как КПД прибора, так и процессы межмодовой конкуренции в резонаторе гиротрона, и таким образом влияют как на устойчивость генерации, так и на выходную мощность.

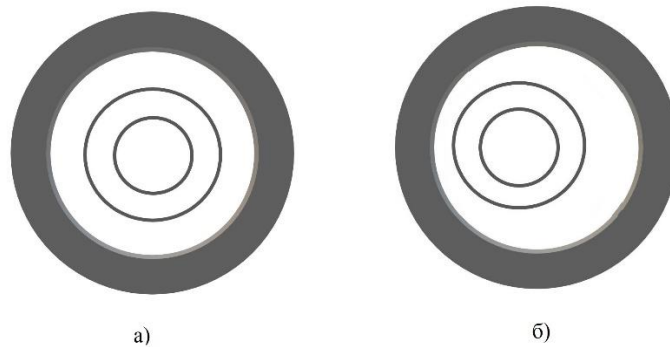
Исследование указанных факторов на процессы генерации в гиротроне до сих пор проводилось только для однолучевых схем и только в относительно длинноволновом

диапазоне ( $\lambda = 1.7$  мм) [5]. Очевидно, наличие двух парциальных электронных пучков меняет динамику процесса установления рабочего типа колебаний. Определенную роль в этом процессе может сыграть и укорочение длины волны.

В данной работе приведены результаты исследования процессов генерации в двухлучевом гиротроне на второй гармонике циклотронной частоты (0.79 ТГц), разработанном в совместном проекте ИПФ РАН и FU FIR Center (Япония) при различных величинах  $\Delta R$  и  $\alpha$ . Выяснены допуски на нарушение аксиальной симметрии системы. Проведено сравнение устойчивости одномодовой генерации при использовании однолучевой и двухлучевой схем гиротронов.



**Рисунок 1.** Схема двухлучевого гиротрона с двумя электронными пучками для случая: а) осесимметричной системы, б) когда оси электронных пучков наклонены под углом к оси резонатора



**Рисунок 2.** Положение электронных пучков для случая: а) осесимметричной системы, б) когда оси электронных пучков смещены относительно оси резонатора

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00132

#### Список литературы

1. Dhillon S. S., The 2017 terahertz science and technology roadmap/ S. S. Dhillon [et.al]// J. Phys. D. Appl. Phys., — 2017 — Vol. 50 — No. 4 — P. 43001
2. Nusinovich G. S, Introduction to the physics of gyrotrons/ Nusinovich G. S// The Johns Hopkins University Press — 2004 — 338 P.
3. Запевалов В. Е, Многолучевые гиротроны/ В. Е Запевалов[и др.]// Изв. ВУЗов. Радиофизика — 1990 — Т. 33 — №.11 — С. 1288–1295
4. Idehara T.A novel THz-band double-beam gyrotron for high-field DNP-NMR spectroscopy/ T.Idehara [et al]// Rev. Sci. Instrum — 2017— Vol. 88 — No. 9 — P. 94708.
5. Глявин М.Ю. Влияние азимутальной несимметрии электронно-волнового взаимодействия на характеристики излучения гиротронов субтерагерцового диапазона / М.Ю Глявин [и др.]. // Известия вузов. ПНД — 2015. — Т. 23. — № 2. — С. 108—118