

# Модернизация конструкции магнитной системы для спиральной ЛБВ X-диапазона частот

Е.А. Богомолова, А.В. Галдецкий, Н.М. Коломийцева

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы, связанные с различными аспектами фокусировки протяженных интенсивных электронных трубчатых пучков магнитными периодическими полями. Представлена конструкция магнитной системы для ЛБВ X-диапазона частот, улучшающая фокусировку электронного потока в статическом режиме. Представлены результаты исследования магнитной периодической фокусирующей системы.

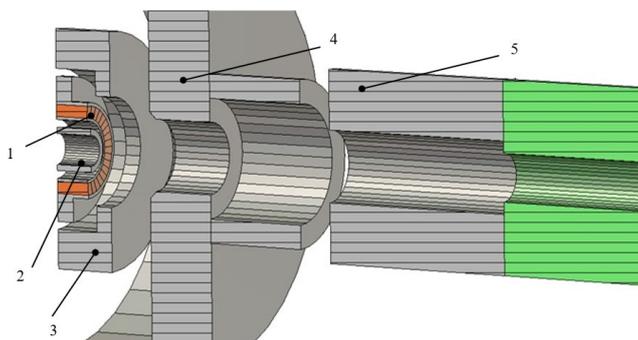
**Ключевые слова:** трубчатый электронный поток, спиральная замедляющая система, ЛБВ, магнитная периодическая фокусирующая система

## 1. Введение

В современных мощных СВЧ-усилителях типа лампы бегущей волны (ЛБВ) зачастую используются магнитные периодические фокусирующие системы (МПФС), которые существенно уменьшают массогабаритные параметры прибора. При разработке приборов с такими магнитными системами приходится решать задачи, связанные с поиском структуры распределения продольной и поперечной составляющих магнитного поля и основных геометрических параметров МПФС, обеспечивающих требуемое распределение магнитного поля [1].

В настоящей работе рассмотрена возможность улучшения токопрохождения в спиральной ЛБВ X-диапазона частот с МПФС за счет введения конструктивных элементов в систему, обеспечивающих распределение магнитного поля в области катода с амплитудой более 30 Гс. Приведены результаты исследования предложенной конструкции магнитной системы и траекторного анализа при фокусировке ею электронного потока.

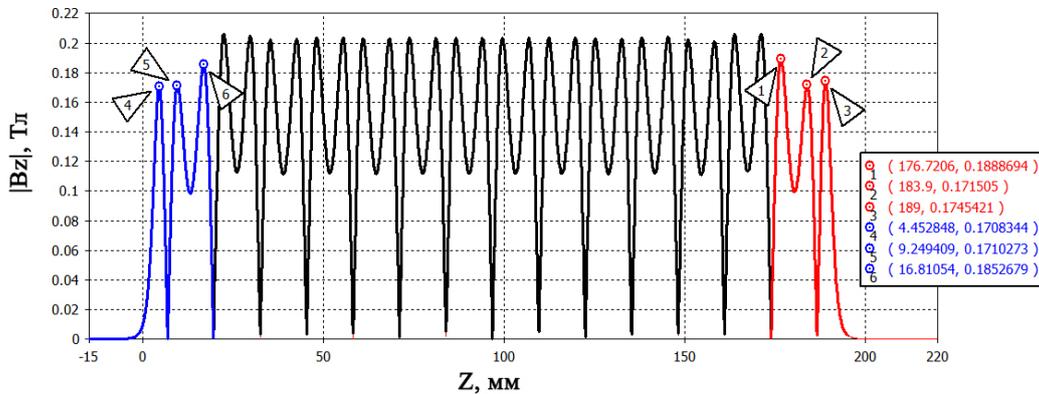
Электронно-оптическая система (ЭОС) прибора содержит кольцевой катод, формирующий трубчатый электронный поток (ТЭП) с током 420 мА при напряжении анода 9 кВ (рис. 1).



**Рисунок 1.** Модель ЭОС прибора: 1 – кольцевой катод, 2 – центральный штырь, 3 – фокусирующий электрод, 4 – первый анод и 5 – анод.

Фокусировка ТЭП осуществляется в периодическом магнитном поле с 3-й гармоникой. Базовая конструкция МПФС состоит из аксиально-намагниченных кольцевых магнитов (30 шт.), полюсных наконечников (15 шт.) и ферромагнитных вставок (14 шт.). Магниты с внутренним и внешним диаметрами 8 мм и 17 мм

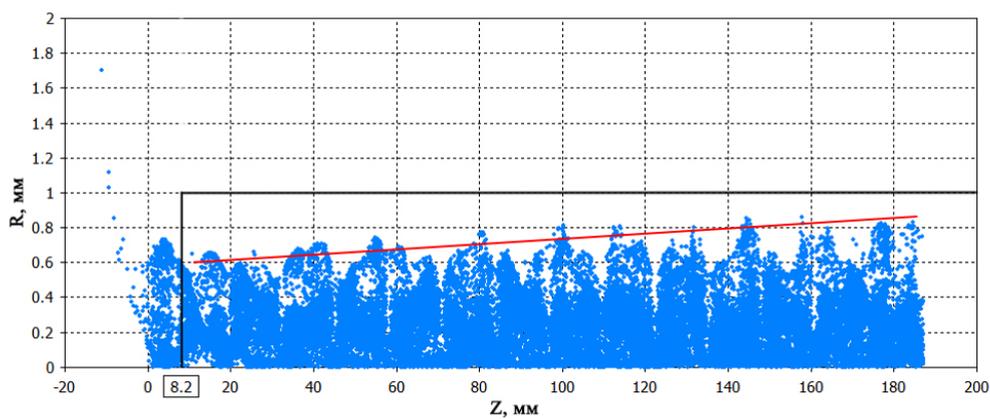
соответственно, толщиной 3 мм в каждой двух соседних ячейках имеют противоположную намагниченность и выполнены из самарий-кобальта. На рисунке 2 представлена расчетная кривая распределения осевой компоненты магнитной индукции в рабочем зазоре ~ 193 мм.



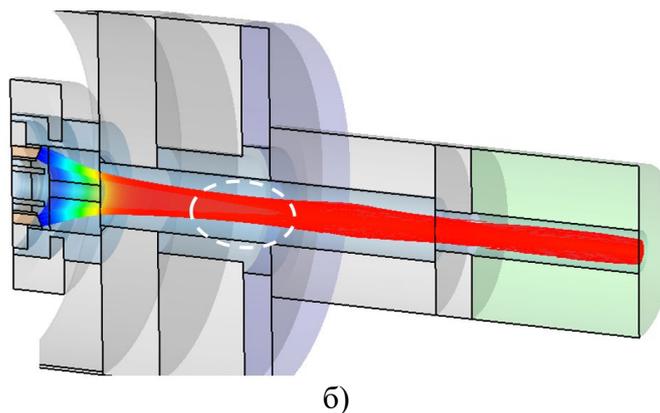
**Рисунок 2.** Несинусоидальное распределение осевой компоненты магнитной индукции  $|B_z|$  в рабочем зазоре.

Маркеры 1-3 (рис. 2) определяют значение магнитной индукции для пиков В28-В30 в области коллектора, а маркеры 4-6 (рис. 2) – для пиков В1-В3 в области катода. Амплитуда магнитного поля в регулярной части составляет 0.2 Тл. Магнитное поле на катоде отсутствует.

Распределение частиц ТЭП по радиусу на длине 180 мм в статическом режиме представлено на рис. 3а. Радиус пролетного канала  $a$  составляет 1 мм. Анализ рис. 3а показывает, что ТЭП имеет средний радиус 0.55 мм. Отсутствие магнитного поля на катоде приводит к перемешиванию электронного потока после прохождения первого анода (рис. 3б). В пролетном канале электронный поток становится сплошным, при этом приосевые трубки тока имеют большой угол отклонения, что приводит к расширению потока и увеличению пульсаций в области влета в коллектор, создавая в динамическом режиме тепловую нагрузку на внутреннюю поверхность пролетного канала.



а)



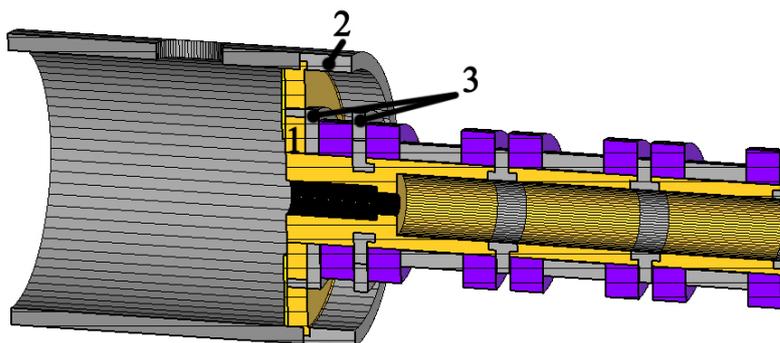
**Рисунок 3.** а) распределение частиц ТЭП по координате  $Z$  от радиуса  $R$  ( $a=1$  мм); б) траектории ТЭП в ЭОС.

Несмотря на 100% токопрохождение на коллектор в статическом режиме (рис. 3а), необходимо уменьшить динамическое токооседание, а также получить трубчатую структуру электронного потока на всей длине пролетного канала. Для достижения поставленной цели требуется модернизировать базовую конструкцию магнитной системы, для получения магнитного поля на катоде.

## 2. Модернизация конструкции магнитной периодической фокусирующей системы

Известны конструкции магнитных систем, в которых магнитное поле в области катода обеспечивается за счет пушечного магнита [2-4]. К недостаткам подобных конструкций относится наличие магнита в области электронной пушки, который создает значительные поля рассеяния, добавляя трудности при настройке и эксплуатации СВЧ-прибора. Кроме того, значительно увеличиваются массогабаритные параметры прибора.

Предложена конструкция магнитной системы (рис.4), технический результат которой состоит в улучшении токопрохождения электронного потока, уменьшении тепловой нагрузки на замедляющую систему и увеличении уровня выходной мощности ЛБВ при сохранении габаритов.

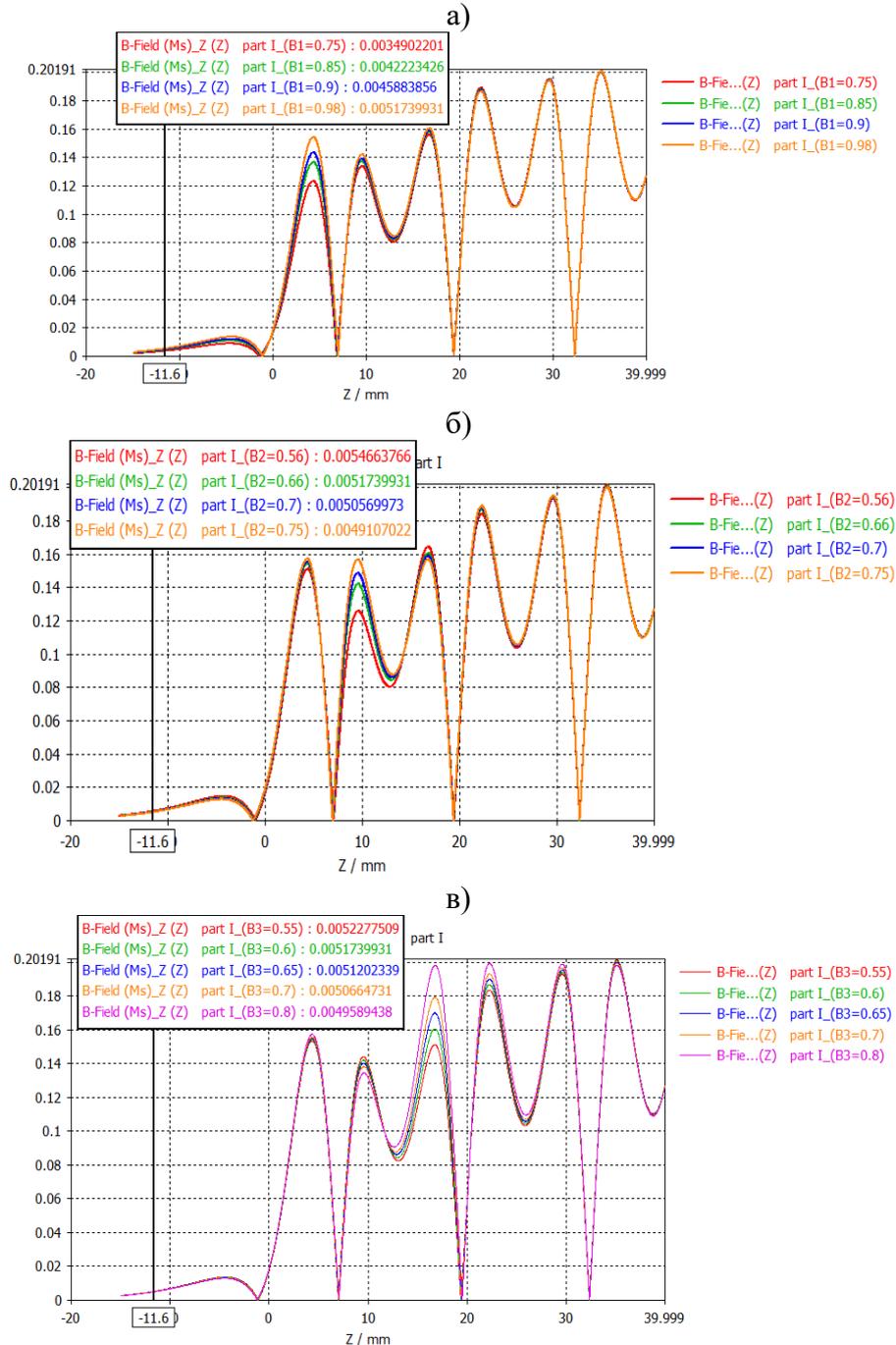


**Рисунок 4.** Поперечный разрез конструкции МПФС для ЛБВ  $X$ -диапазона: 1 – медная деталь; 2 – стальная деталь и 3 – «Г-образные» стальные ступицы первого магнита.

Торцевая стенка магнитного экрана («1» рис. 4) выполнена из немагнитного материала, а сам экран («2» рис. 4) выдвинут в сторону периодической системы на 4.6 мм. Конструктивные изменения позволили регулировать амплитуду магнитного поля в области катода намагниченностью только первого магнита в системе. Для исключения влияния остальных магнитов, необходимо модифицировать первые два полюса, окружающие первый магнит со стороны электронной пушки. В поперечном

сечении полюса выполнены «Г-образной» формы («3» рис.4), где первый полюс обращен «носиком» к катодному полюсу, а второй – к центру периодической системы, остальные полюса системы имеют геометрию от базовой конструкции. Для сохранения технологического процесса изготовления и сборки МПФС все магниты в системе имеют одинаковые размеры. Для получения требуемого распределения осевого магнитного поля первый магнит имеет намагниченность  $B_1 = 0.98$  Тл, второй и третий –  $B_2 = B_3 = 0.66$  Тл, в регулярной части – 0.8 Тл.

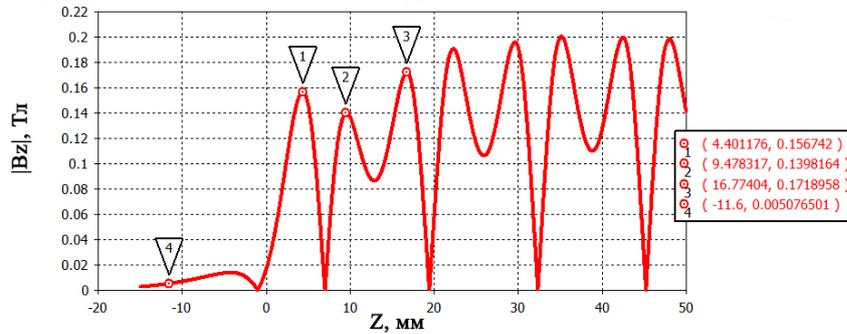
Для оценки чувствительности амплитуды магнитного поля на катоде к изменению величины намагниченности первого и ближайших магнитов периодической системы проведено численное моделирование (рис. 5).



**Рисунок 5.** Несинусоидальное распределение осевой компоненты магнитной индукции  $|B_z|$  в рабочем зазоре при изменении намагниченности: (а)  $B_1$  от 0.75 до 0.98 Тл; (б)  $B_2$  от 0.56 до 0.75 Тл; (в)  $B_3$  от 0.55 до 0.8 Тл.

Анализ результатов, представленных на рис.5, показывает, что амплитуда магнитного поля на катоде в основном определяется за счет намагниченности первого магнита и имеет чувствительность к изменению  $B_1$  33%. Влияние на величину магнитного поля на катоде при изменении  $B_2$  и  $B_3$  составляет 10% и 5.1% соответственно.

Таким образом, в предложенной конструкции стало возможным обеспечить требуемое распределение и амплитуду магнитного поля в области катода  $\sim 50$  Гс, для получения ТЭП (рис. 6).

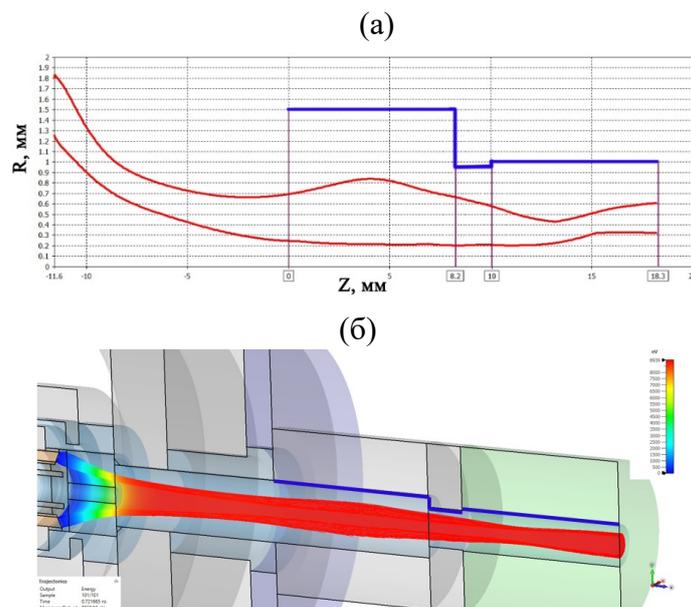


**Рисунок 6.** Несинусоидальное распределение осевой компоненты магнитной индукции  $|B_z|$  в рабочем зазоре

Маркеры 1-3 (рис. 6) определяют значение магнитной индукции для пиков  $B_1$ - $B_3$  в переходной области катода, а маркер 4 (рис. 6) – амплитуду магнитного поля на координате, соответствующей положению катода. Амплитуда магнитного поля в регулярной части составляет 0.2 Тл. Магнитное поле на катоде – более 50 Гс.

### 3. Траекторный анализ трубчатого электронного потока

Траекторный анализ электронного потока показал, что в пролетном канале транспортируется ТЭП с минимальными пульсациями (рис. 7). Конструкция магнитной системы с «Г-образными» ступицами толщиной 1.2 мм, где для первой ступицы длина «носика» составляет 1.8 мм толщиной 0.75 мм, а для второй – 0.7 мм толщиной 0.75 мм, обеспечивает контролируемое поле в области катода более 40 Гс.



**Рисунок 7.** а) огибающая ТЭП по координате Z от радиуса R ( $a = 1$  мм); б) траектории ТЭП в ЭОС. Синим цветом обозначен внутренний контур анодного блока.

#### 4. Заключение

Проведена модернизация конструкции МПФС, благодаря которой достигается контролируемое магнитное поле в области катода с амплитудой более 30 Гс. Изменения коснулись процесса изготовления и сборки катодного магнитного полюса, экрана и первых двух полюсов системы.

Предлагаемая конструкция МПФС обладает следующими преимуществами: улучшение токопрохождения в СВЧ-приборе, и как следствие увеличение выходной мощности и улучшение теплового режима прибора, упрощение его настройки и эксплуатации, при сохранении массогабаритных параметров.

#### Список литературы

1. С.П. Морев, Д.А. Комаров, А.Н. Дармаев и др. «О взаимосвязи геометрических размеров ячейки фокусирующей магнитной системы и сложной периодической структуры формируемого ею магнитного поля», материалы XVII Координационного научно-технического семинара по СВЧ технике, Нижний Новгород, 6-8 сентября, 2011 г., стр. 47-79.
2. А.Д. Родионов, Х.Г. Загипуллина «Магнитная фокусирующая система», Авторское свидетельство № 656129 H01J23/08 от 05.04.79
3. Francis James Weaver, Great Baddow et. all «Magnetic focusing systems for travelling wave tubes», Патент № 2965782, US от 20.12.1960
4. Ryuzo Orui, « Magnetic focusing device for an electron tube», Патент № 3252033, US от 17.05.1966