

УДК

## Формирование поля на катоде в МПФС с 3-ей гармоникой для ЛБВ X-диапазона

Ю.Ю. Филин, С.П. Морев, Н.М. Коломийцева, П.А. Комраков, Н.А. Кривошей

АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

**Аннотация.** Описаны и представлены варианты формирования поля на катоде для МПФС со значимой величиной 3-ей гармоники. Найдено распределение продольной составляющей магнитного поля, обеспечивающего устойчивую фокусировку трубчатого электронного потока на всем протяжении области взаимодействия.

**Ключевые слова:** электронно-оптическая система (ЭОС), магнитная периодическая фокусирующая система (МПФС) с 3-ей гармоникой, трубчатый пучок

### 1. Введение.

В работе [1] описана ЭОС ЛБВ с МПФС и модуляцией «ноль-минус» (запирание тока пучка осуществлялось подачей отрицательного потенциала на фокусирующие электроды при нулевом потенциале на них в рабочем режиме), которая позволила обеспечить защиту элементов замедляющей системы от локального токооседания и улучшить токопрохождение в ЛБВ. В этой ЭОС трубчатый электронный поток, сформированный кольцевым катодом, преобразовывался в области пролетного канала в сплошной аксиально-симметричный поток.

В настоящей работе представлены результаты разработки МПФС с магнитным полем на катоде электронной пушки с целью обеспечения сохранности трубчатого потока в области пролетного канала. Использование трубчатого потока в рассмотренной ЛБВ может позволить улучшить её выходные параметры за счет концентрации тока пучка вблизи с замедляющей системой.

### 2. Обзор литературы.

Параметры ЭОС и МПФС работы [1], а также результаты расчетов ЭОС представлены в таблицах 1,2 и на рисунке 1.

В работе [2] представлена ЭОС, в которой в области электронной пушки формирование трубчатого электронного потока создавалось за счет ввода на катод магнитного поля и использования так называемого «обратного хвоста» в распределении магнитного поля, создаваемого первым магнитом МПФС. Конструкция входного участка ЭОС представлена на рисунке 2, а распределение магнитного поля данной системы на рисунке 3.

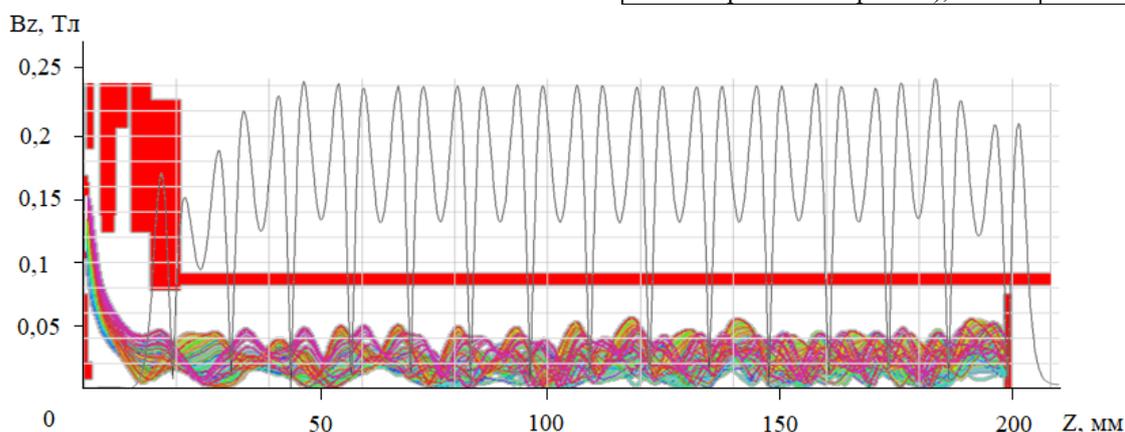
Данная конструкция защищена патентом № RU 2 796 977 C1 и обеспечивает токопрохождение электронного трубчатого потока. Недостатком данной конструкции является наличие стальных деталей нестандартной формы, составная конструкция полюсного наконечника, что увеличивает количество паяных швов, а также сложная установка первого магнита, находящегося под стальной деталью.

**Таблица 1. Параметры ЭОС**

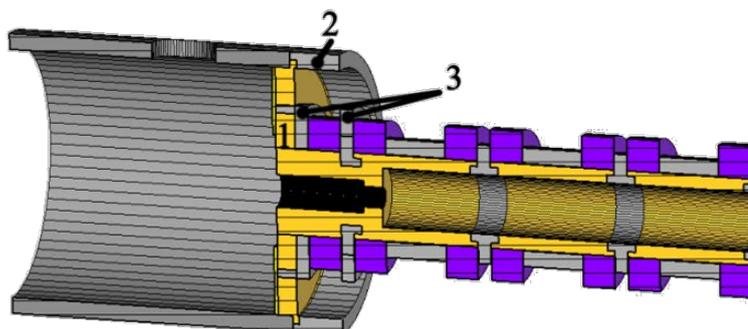
Ток пучка, мА	380,0
Ускоряющее напряжение, В	9000
Микропервеанс, мкА/В <sup>3/2</sup>	0,445
Диаметр катода, мм	3,7
Диаметр канала, мм	2,0
Плотность тока на катоде, А/см <sup>2</sup>	3,5

**Таблица 2. Параметры МПФС**

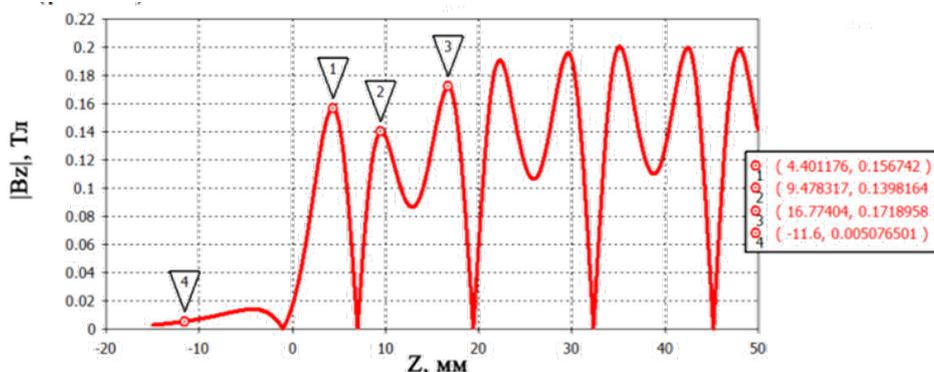
Амплитуда поля на оси, Гс	2400
Период МПФС, мм	25,7
Параметр магнитного поля	1,17
Бриллюэновский радиус пучка в МФС, мм	0,31
Средний радиус пучка (с учетом поперечных скоростей), мм	0,5



**Рисунок 1.** Формирование и транспортировка электронного потока в ЭОС в магнитном поле с 3-ей гармоникой.



**Рисунок 2.** Конструкция МПФС с 3-ей гармоникой предложенная в работе [2]: 1 – медный наконечник, 2 – стальной полюс, 3 – стальные ступицы специальной формы.



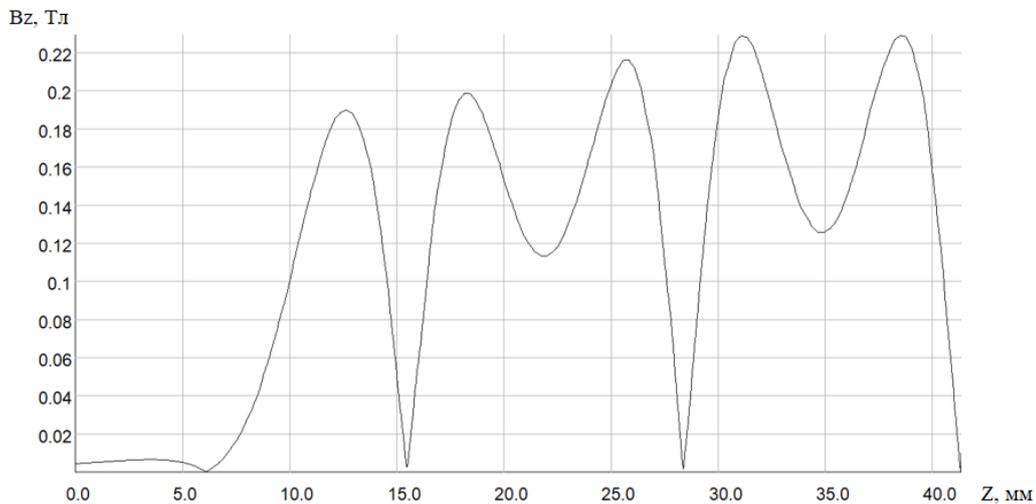
**Рисунок 3.** Распределение продольной составляющей магнитного поля.

Для облегчения монтажа и сборки системы в конструкциях ЭОС с магнитным полем на катоде были рассмотрены упрощенные конструкции входного участка формирования магнитного поля в МПФС.

### 3. Формирование магнитного поля в области электронной пушки за счет использования «обратного хвоста», создаваемого первым магнитом МПФС

В исходной конструкции ЭОС катодный полюс надежно экранирует катод от магнитного поля МПФС, за счет чего происходит преобразование трубчатого потока в области электронной пушки в аксиально-симметричный поток в пролетном канале ЭОС. Для формирования протяженного трубчатого потока в области пролетного канала необходимо формирование магнитного поля в области электронной пушки с определенным значением его величины на катоде.

Поставленная цель может быть достигнута за счет выполнения катодного полюса из немагнитного материала (например, меди). В этом случае формируется «обратный хвост» магнитного поля от первого магнита, достигающий катода электронной пушки. Такое решение приводит к минимальным изменениям в конструкции входного участка МПФС, однако, требует увеличения толщины первого магнита МПФС для обеспечения величины магнитного поля на катоде, равной 50 Гс (рисунок 4). Параметры такой МПФС представлены в таблице 3.

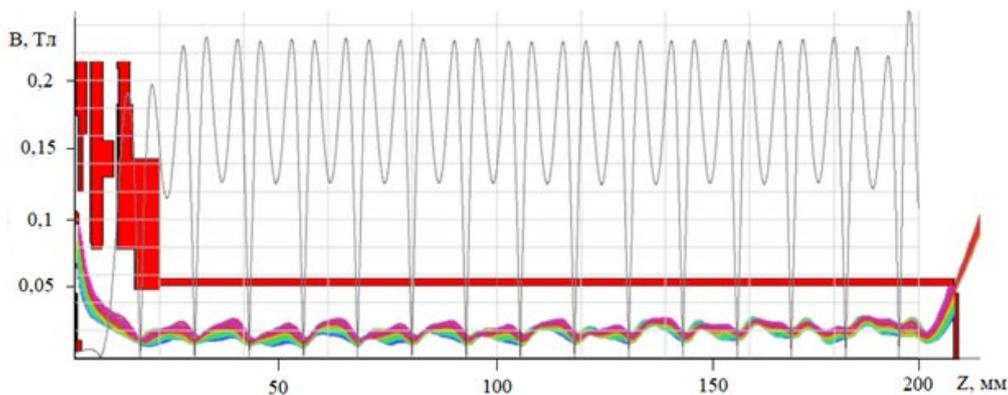


**Рисунок 4.** Распределение модуля осевой компоненты индукции магнитного поля на входном участке ЭОС.

**Таблица 3.** Параметры МПФС

Амплитуда поля на оси, Гс	2400
Поле на катоде, Гс	50
Период МПФС, мм	25,7
Параметр магнитного поля	1,18
Бриллюэновский радиус пучка в МФС, мм	0,31
Средний радиус пучка (с учетом поперечных скоростей), мм	1,03
Бриллюэновский заполнение	0,159
Реальное заполнение	0,516

Введение магнитного поля в область электронной пушки с определенной величиной магнитного поля на катоде обеспечило формирование и транспортировку трубчатого электронного потока в пролетном канале ЛБВ без изменения конструкции ЭОС. Результаты расчетов транспортировки трубчатого потока в разработанной МПФС приведены на рисунке 5.

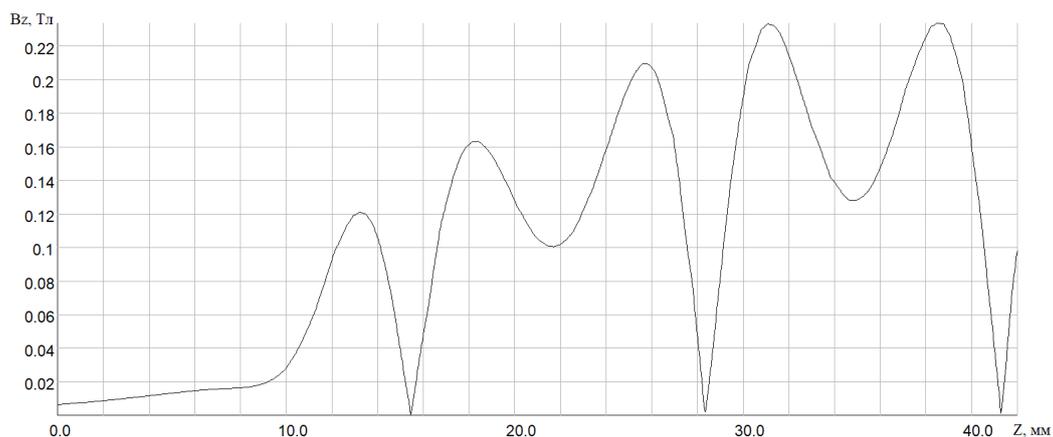


**Рисунок 5.** Формирование и транспортировка трубчатого электронного потока в ЭОС в разработанном магнитном поле с 3-ей гармоникой.

#### **4. Формирование магнитного поля в области электронной пушки за счет использования «поля сопровождения»**

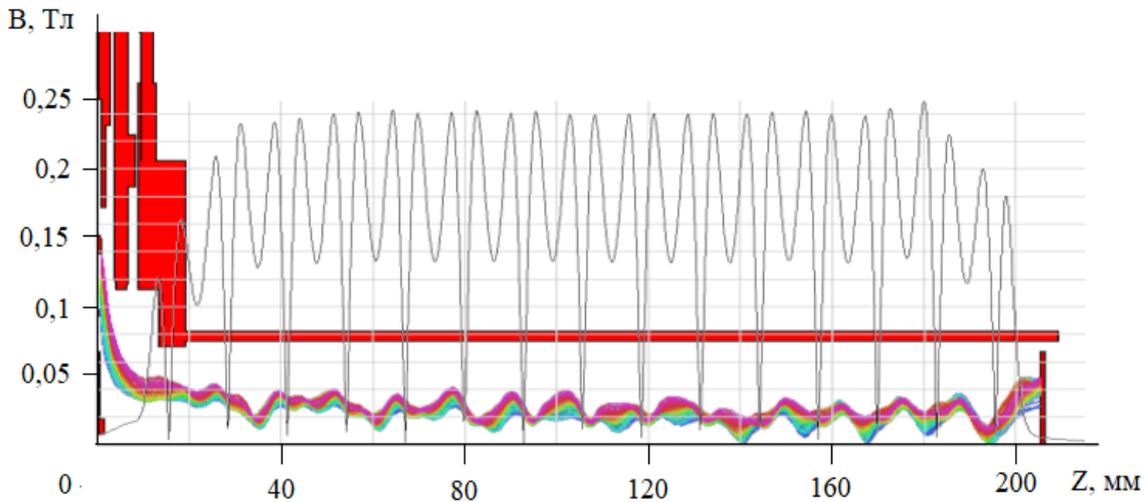
Было рассмотрено формирование трубчатого потока для данной ЛБВ за счет так называемого «поля сопровождения», когда поле на катоде формируется за счет намагниченности первого магнита без смены знака поля [4].

В МПФС с 3-ей гармоникой магнитное поле сопровождения может быть сформировано за счет некоторого увеличения размеров первого магнита или использования дополнительного магнита меньшей толщины той же полярности.



**Рисунок 6.** Распределение модуля осевой компоненты индукции магнитного поля с полем сопровождения.

Увеличение толщины первого магнита и изготовление катодного полюса из немагнитного материала приводит к плавному спаду магнитного поля вплоть до катода, что позволяет сопровождать электронный поток до области взаимодействия, сохраняя его трубчатую форму (рисунок 7.).



**Рисунок 7.** Формирование и транспортировка трубчатого электронного потока в ЭОС в разработанном магнитном поле с 3-ей гармоникой.

## 5. Заключение.

Использование катодного полюса из немагнитного материала позволило сформировать магнитное поле на кольцевом катоде ЛБВ с помощью изменения толщины первого магнита или добавления магнита меньшей толщины. Формирование магнитного поля на катоде возможно как с помощью «обратного хвоста» в распределении магнитного поля, создаваемого первым магнитом, так и «полем сопровождения», в обоих случаях разработанная упрощенная конструкция позволила сформировать протяженный трубчатый электронный поток во всей области взаимодействия, что может позволить повысить выходные параметры ЛБВ за счет концентрации тока пучка вблизи с замедляющей системой.

### Список литературы

1. Ю.Ю. Филин, С.П. Морев, Н.М. Коломийцева и др. Результаты модернизации конструкции электронно-оптической системы с кольцевым катодом в ЛБВ с низковольтным управлением. Электронная техника, Сер.1, СВЧ-техника. – 2024. – Вып.3(563), – С. 55 – 63.
2. Богомолова Е.А., Галдецкий А.В., Коломийцева Н.М. Модернизация конструкции магнитной системы для спиральной ЛБВ X-диапазона частот. XII Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ» Сборник докладов. Санкт-Петербург. 29 мая - 2 июня 2023 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». с. 253-258.
3. Галдецкий А.В., Богомолова Е.А., Коломийцева Н.М. Магнитная фокусирующая система. Патент РФ № RU2796977C1 от 08.12.2022.
4. Алямовский И. В. Электронные пучки и электронные пушки. -М.: Сов. радио, 1966. – 456 с.