

# МНОГОЛУЧЕВАЯ ВЫСОКОПЕРВЕАНСКАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА МОЩНОГО ЭЛЕКТРОВАКУУМНОГО ПРИБОРА

*А. Г. Быков, К. В. Троцюк, И. В. Ошкин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

## Введение

Создание мощных электровакуумных приборов с многолучевой электронной пушкой требует решения задач формирования, транспортировки и осадения высокопервеансного электронного потока, для которого характерны низкая энергия электронов и высокие плотности тока [1–3].

Применение многолучевой конструкции электронной пушки позволяет получить высокий микропервеанс за счет суммирования тока низкопервеансных парциальных пучков. В многолучевой конструкции электронной пушки катодные узлы смещены относительно оси прибора, что приводит к росту поперечных составляющих магнитного поля в катодной области и в каналах транспортировки парциальных пучков. В результате усложняется процесс фокусировки и увеличивается поперечный дрейф парциальных пучков в пролетных каналах, что влечет за собой снижение токопрохождения и ограничение суммарного микропервеанса многолучевого потока. Для устранения данной проблемы необходимо применять в конструкции пушки различные по форме магнитомягкие экранирующие элементы для компенсации поперечных составляющих магнитного поля.

Целью работы является анализ влияния геометрии магнитомягких экранирующих элементов на электрические характеристики многолучевой электронной пушки, получение максимального токопрохождения и микропервеанса многолучевого потока.

## Катодная область пушки

В многолучевых СВЧ-приборах используются сплошные пучки, для формирования которых применяют диодные пушки с катодным узлом либо частично, либо полностью экранированным от магнитного поля [4, 5], именно поэтому здесь возникают определенные трудности. Сфокусировать (т. е. получить ламинарный пучок с наименьшими пульсациями) электронный пучок в области вылета электронов из анодного отверстия, а затем и в пролетном канале – сложная задача при разработке электровакуумных СВЧ-приборов. Поэтому важным этапом при построении катодной области является выбор типа электронной пушки с заданной степенью экранировки от внешнего магнитного поля.

В качестве базовой конструкции катодного узла для формирования парциального пучка многолучевой электронной пушки воспользуемся модифицированной пушкой Мюллера с фокусирующим электродом (ФЭ) пушки Пирса (см. рис. 1). Такое построение конструкции катодного узла позволяет более эффективно компенсировать расфокусирующие силы пространственного заряда при высоких микропервеансах и тем самым формировать электронный пучок с минимальными потерями тока.

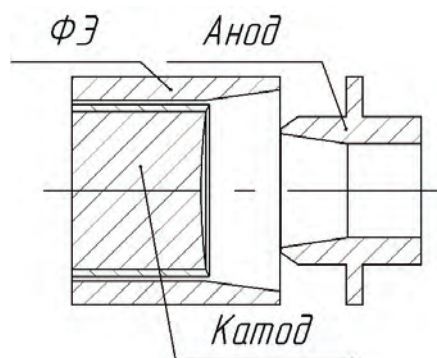


Рис. 1. Конструкция катодного узла

На рис. 2 представлен общий вид конструкции многолучевой электронной пушки в продольном разрезе. Она содержит шесть катодных узлов со сферическими эмиттерами из  $\text{LaB}_6$ , размещенных по радиусу, которые формируют при ускоряющем напряжении 4 кВ сплошные электронные пучки с током 0,35 А. Суммарный ток многолучевого потока составляет 2 А (микропервеанс  $8 \text{ мкА/В}^{3/2}$ ).

## Переходная область пушки

В многолучевой высокопервеансной конструкции пушки, рис. 2, катодные узлы размещаются по радиусу достаточно плотно, при этом размеры экрана отдельно взятого катода становятся малы, вследствие чего происходит насыщение материала экрана и появляется азимутальная неоднородность магнитного поля в переходной области пушки [4]. В стандартных многолучевых пушках экран является общим для всех катодных узлов и располагается с внешней стороны пушки (см. рис. 2а). Однако данный вариант геометрии экрана не позволяет формировать требуемые градиенты продольной состав-

ляющей магнитного поля в переходной области и, как следствие, транспортировать интенсивные электронные пучки. Одним из оптимальных конструктивных вариантов экрана является геометрия в виде диска, который содержит отверстия под каждый катодный узел (см. рис. 2б).

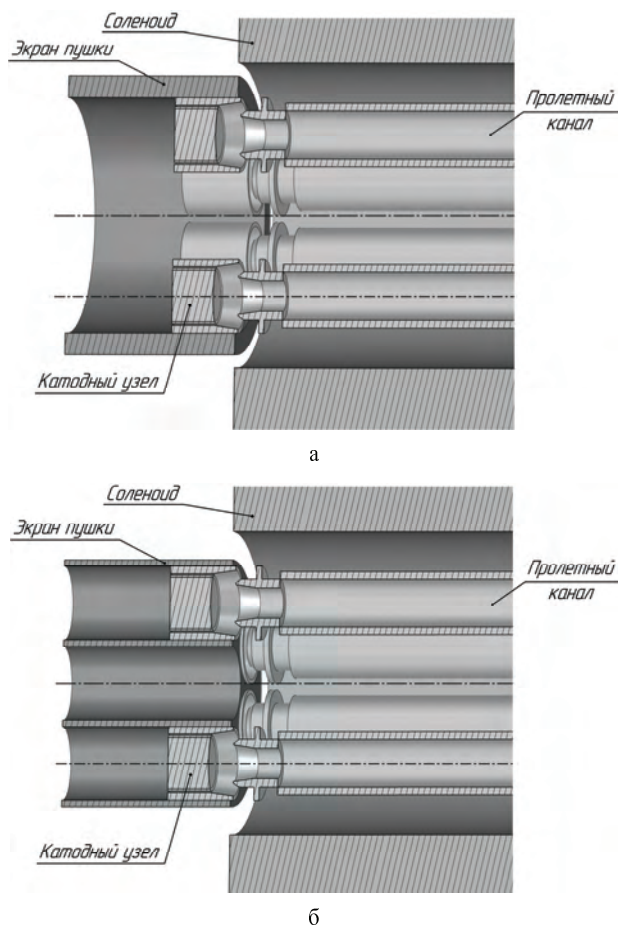


Рис. 2. Общий вид конструкций многолучевой пушки: а – с железным диском, б – с железным диском с отверстиями

При этом для обеспечения наилучшей фокусировки и однородности магнитного поля необходимо каждое отверстие выполнить в виде усеченного цилиндра, а также внести в конструкцию дополнительный элемент – магнитно-фокусирующий диск (МФД), располагающийся на внешней стороне анода (см. рис. 3). Диск и экран выполняются из магнитного материала, например, из железа армко.

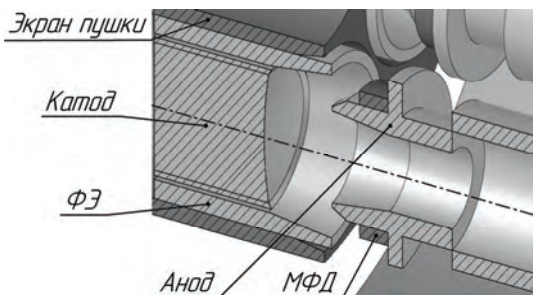


Рис. 3. Конструкция МФС с отверстиями и с МФД

На рис. 4 представлено распределение продольных  $B_z$  и поперечных  $B_y$  составляющих магнитного поля в области формирования парциальных пучков многолучевого потока для различных вариантов исполнения экранов. Как видно из рис. 4, конструкция, состоящая из диска с отверстиями и МФД, обладает наибольшим градиентом магнитного поля и минимальными поперечными составляющими (кривые 3) в области формирования электронного пучка.

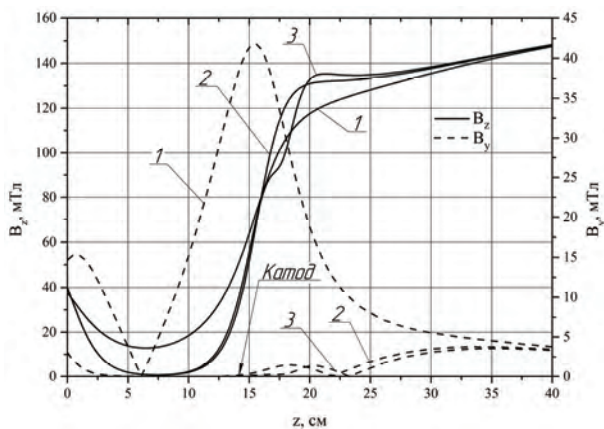


Рис. 4. Продольная составляющая магнитного поля вдоль оси катодного узла: 1 – с железным диском, 2 – с отверстиями в железном диске, 3 – с МФД

### Результаты численного моделирования

На рис. 5. показан электростатический потенциал поля отдельной пушки, который проецируется на каждую пушку, вследствие симметрии многолучевой конструкции. Согласно рис. 5 эквипотенциальные линии вблизи катода совпадают с формой эмитирующей поверхности, а в катод-анодном промежутке образуется слабая рассеивающая линза со сферической аберрацией. Сочетание данных условий позволяет формировать и транспортировать электронный пучок с минимальным разбросом по продольным скоростям и обеспечить высокое токопрохождение электронного пучка в СВЧ-приборе.

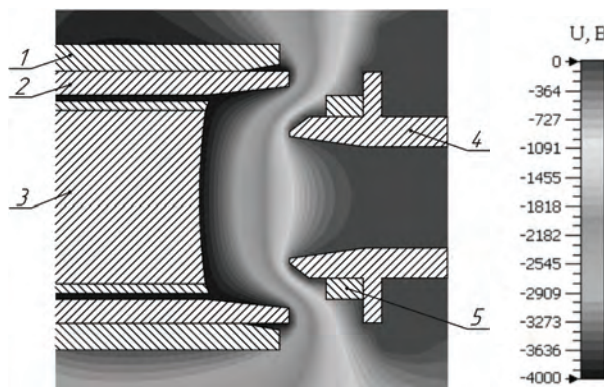


Рис. 5. Электростатический потенциал поля отдельной пушки: 1 – экран пушки, 2 – ФЭ, 3 – катод, 4 – анод, 5 – МФД

Результаты моделирования электронных траекторий многолучевого потока для каждого из вариантов исполнения магнитного экрана в переходной области (раздел 2) представлены на рис. 6, 7 и 8. Результаты моделирования стандартного конструктивного варианта с железным диском (см. рис. 6), показывают, что все электроны, эмитируемые с поверхности катода, при вылете из анода полностью оседают на поверхности пролетного канала. Это объясняется наличием значительной амплитуды поперечной составляющей магнитного поля (кривая 1 на рис. 4), под воздействием которой при вылете из области катода происходит максимальный рост азимутальной скорости движения электронов и смещение центра парциального пучка к стенке пролетного канала.

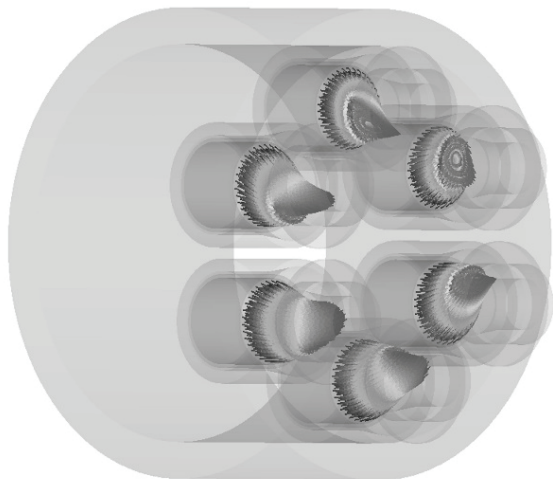


Рис. 6. Траектории электронов многолучевой пушки в конструкции с железным диском

На рис. 7 представлены траектории электронов в конструкции с железным диском, у которого выполнены отверстия для каждого парциального пучка. Согласно представленным результатам траекторного моделирования, весь ток, инжектируемый с поверхности парциального катода транспортируется в пролетном канале без токооседания. Высокое токопрохождение парциальных пучков достигается за счет снижения до минимального уровня поперечной составляющей магнитного поля вдоль осей пролетных каналов (кривая 2 на рис. 4).

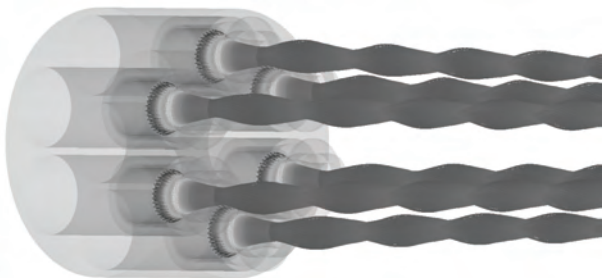


Рис. 7. Траектории электронов многолучевой пушки в конструкции с железным диском с отверстиями

При добавлении в конструкцию пушки МФД наблюдается изменение характера распределения поперечной составляющей магнитного поля и уменьшение ее амплитуды до минимального значения в сечении анодного отверстия (кривая 3 на рис. 4). Это приводит к дополнительной фокусировке и снижению величины пульсаций парциальных пучков в пролетном канале (см. рис. 8).

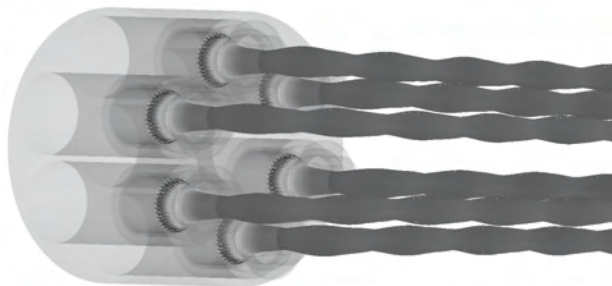
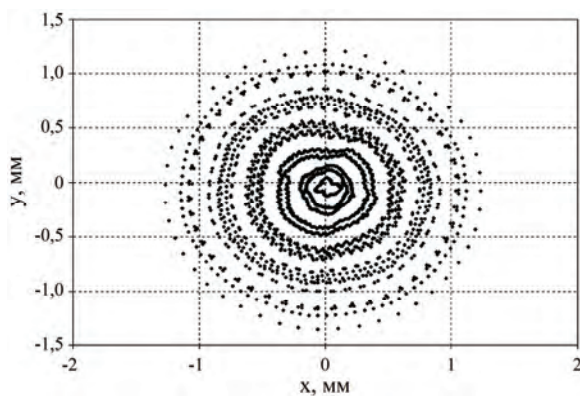
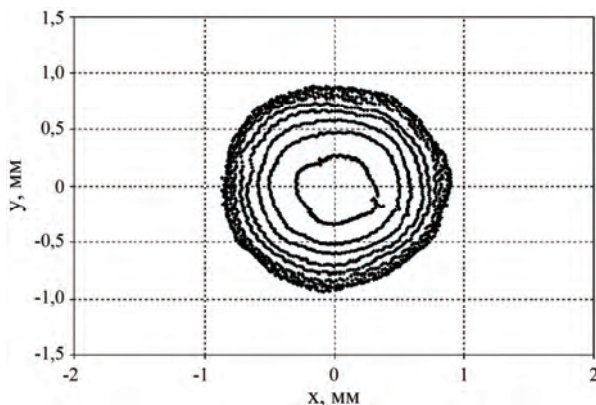


Рис. 8. Траектории электронов многолучевой пушки в конструкции с железным диском с отверстиями и с МФД

На рис. 9 показаны поперечные размеры парциального пучка в пролетном канале на участке сходимости (в сечении кроссовера). При максимальных пульсациях коэффициент заполнения пучком пролетного канала составляет 0,56 и находится в диапазоне допустимых значений.



а



б

Рис. 9. Поперечный размер парциального пучка: а – в максимуме пульсации пучка, б – в минимуме пульсации пучка

## Заключение

Таким образом, результаты анализа влияния геометрии магнитомягких экранирующих элементов на электрические характеристики многолучевой электронной пушки показывают, что для формирования высокоперевансных многолучевых потоков с максимально достижимыми значениями токопрохождения необходимо в конструкции электронной пушки использовать экран с отверстиями в виде усеченного цилиндра для каждого парциального пучка. При этом дополнительная фокусировка парциальных пучков достигается при установке на внешней стороне анода МФД.

## Литература

1. Ошкин И. В., Троцюк К. В. Общая схема разработки электронно-оптических систем в приборах

СВЧ // Сборник докладов Восьмой научно-технической конференции «Молодежь в науке» – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2009 г. Вып. 8. С. 492–497.

2. Ошкин И. В., Троцюк К. В. Оптимизация характеристик магнетронной пушки // Сборник тезисов Девятого Всероссийского семинара «Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики» – Москва, 2009 г.

3. Елизаров А. А., Ефремова М. В. Системы формирования электронных пучков электровакуумных приборах: современное состояние и тенденции развития // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 9. С. 70–73.

4. Молоковский С. И., Сушков А. Д. Электронно-оптические системы приборов сверхвысоких частот. Л.: Энергия, 1965.

5. Алямовский И. В. Электронные пучки и электронные пушки. М.: Сов. радио, 1966.