

# Особенности формирования многолучевых ЭОС с криволинейными осями парциальных электронных потоков

С. П. Морев<sup>1</sup>, В. М. Саблин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО Научно-производственное предприятие «Торий»

**Аннотация.** Представлены результаты анализа транспортировки электронного потока в электронной пушке многолучевого прибора с криволинейными осями парциальных пучков. Показана возможность увеличения первеанса парциального пучка в таких пушках, позволяющая упростить электродинамическую систему прибора за счет уменьшения числа каналов транспортировки.

**Ключевые слова.** Электронные потоки с криволинейными осями формирования, многолучевая электронно-оптическая система (ЭОС).

## 1. Введение

Повышение срока службы и выходной мощности электровакуумных приборов СВЧ связано с допустимой величиной плотности тока пучка, формируемого электронной пушкой. Использование электронных пушек с криволинейной осью может обеспечить увеличение величины тока пучка формируемого электронного потока и нарастить выходную мощность прибора, или уменьшить токовую нагрузку на катод, за счет чего может быть повышена долговечность прибора. Кроме того, такие электронно-оптические системы могут обеспечить упрощение электродинамической системы прибора за счет уменьшения радиуса расположения пролетных каналов в многолучевых приборах, а в некоторых случаях позволить уменьшить число каналов.

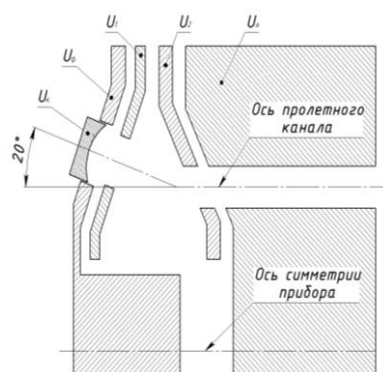
В работе представлены результаты проектирования многолучевой ЭОС, в которой парциальные электронные пушки имеют криволинейные оси формирования электронных потоков, и область многолучевой электронной пушки экранирована от магнитного поля реверсной фокусирующей системы. Показано, что за счет применения наклонной электростатической линзы в области формирования электронного потока можно создать простую конструкцию электронной пушки, обеспечивающую необходимые параметры пучка на входе в магнитную систему

## 2. Постановка задачи

Ранее [1-2] уже неоднократно обсуждались некоторые попытки проектирования многолучевых ЭОС с криволинейными осями формирования. Однако все они обладали рядом недостатков, одним из которых является сложность конструкции. В работе [3] была рассмотрена многолучевая электронная пушка с криволинейной осью парциального пучка, в которой за счет увеличения диаметра

катода, уменьшена плотность тока с катода, что может приводить к повышению его срока работы.

В общем случае электронная пушка состояла из катода ( $U_k$ ), фокусирующего электрода ( $U_f$  с потенциалом катода), вытягивающего электрода ( $U_1$ ), отклоняющего электрода ( $U_2$ ) и анода ( $U_a$ ). На рис. 1 изображена конфигурация электродов, обеспечивающая отклонение пучка на  $20^\circ$ . Электроды  $U_f$  и  $U_1$  обеспечивают первичное формирование электронного потока и низковольтное управление током пучка. С помощью электродов, образующих наклонную электростатическую линзу, и потенциалов  $U_2$  и  $U_a$  обеспечивается необходимое отклонение пучка и ускорение электронного потока, который подается на вход магнитной системы и фокусируется магнитным полем для последующей транспортировки в пролетном канале.



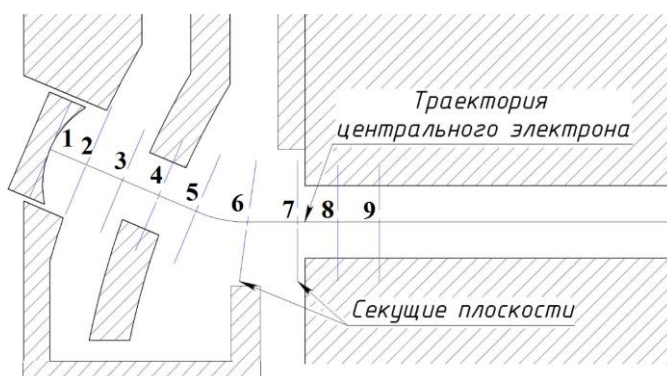
**Рисунок 1.** Общий вид парциальной электронной пушки с криволинейной осью формирования.

За счет увеличения диаметра катодов и возможности их расположения на большем по сравнению с исходным радиусе без изменения количества катодов, плотность тока с парциального катода спроектированной пушки была снижена до  $3,2 \text{ А/см}^2$  по сравнению с  $5,66 \text{ А/см}^2$  в исходной прямоточной пушке. Была исследована возможность транспортировки такого пучка в магнитном поле разных конфигураций, которая показала, что абберации, возникающие при движении пучка в линзе, приводят к нарушению распределения пространственного заряда, из-за чего его фокусировка магнитным полем затрудняется. При увеличении тока парциального катода эти абберации увеличиваются, что заставляет более тщательно рассмотреть вопросы, связанные с формированием интенсивного электронного потока в электронной пушке с криволинейной осью.

### 3. Результаты расчетов и их обсуждение

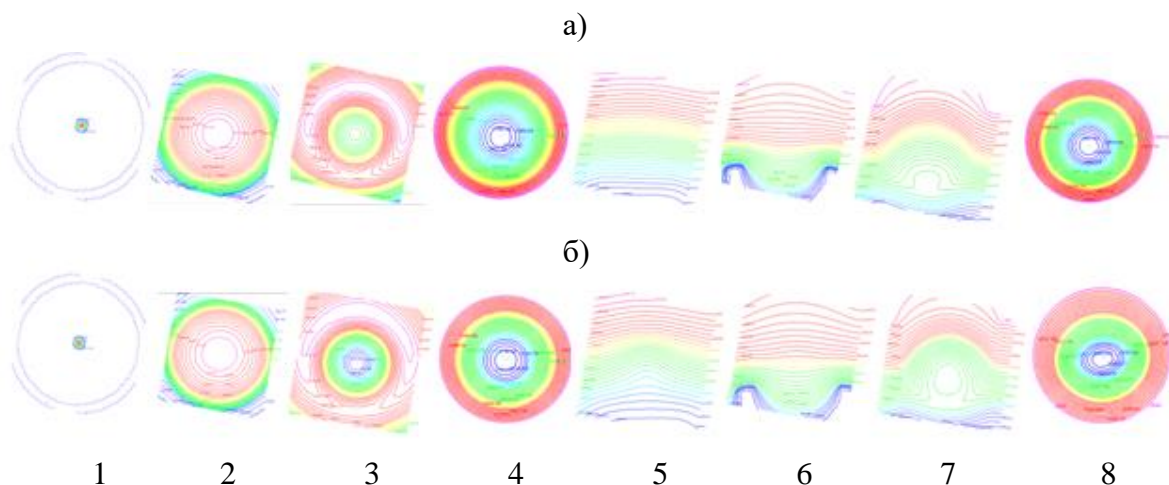
В качестве примера была рассмотрена прямоточная многолучевая ЭОС с расположенными по азимуту парциальными пучками и параметрами, представленными в таблице 1.

Таблица 1. Параметры электронной пушки	
Параметр	Значение
Ток частичного пучка, А	1.65
Потенциал фокусирующего электрода, В	0
Потенциал управляющего электрода, В	нет
Потенциал анода, В	24000
Диаметр катода, мм	6.0
Диаметр канала, мм	6.0
Количество лучей	30



**Рисунок 2.** Эскиз частичной электронной пушки. 1-7 – положение секущих плоскостей в которых рассматривалось распределение потенциала.

При рассмотрении электронной пушки с криволинейной осью (рис.2) вначале было рассмотрено распределение потенциала в плоскостях перпендикулярных криволинейной траектории частичной электронной пушки в отсутствие электронного потока (рис. 3а).



**Рисунок 3.** Распределение потенциала вдоль криволинейной оси частичной электронной пушки в отсутствие электронного пучка (а) и при наличии пучка (б)

Из анализа результатов расчета, представленных на рисунках 3а следует, что распределение лапласовского потенциала вдоль криволинейной оси парциальной электронной пушки носит сложный характер и на расстояниях, отстоящих от отверстий для парциального пучка, больше чем диаметр отверстия перестает быть локально аксиально-симметричным. Внутри отверстий, как и положено, распределение потенциала локально аксиально-симметрично. При наличии электронного потока из-за пространственного заряда происходит искажение распределения потенциала, и пучок становится эллиптическим (рис.3б). В прямоточных парциальных электронных пушках в большинстве случаев этот эффект пренебрежимо мал, а в случае высокой компрессии и повышения первеанса парциального электронного пучка эти искажения необходимо компенсировать соответствующим выбором формы электродов и расстоянии между ними.

В результате проведенного цикла расчетов удалось увеличить ток парциального электронного пучка в 1.6 раза, и уменьшить количество парциальных каналов количество парциальных каналов при приемлемой структуре электронного потока (табл.2).

Таблица 2. Параметры электронной пушки

Параметр	Значение
Ток парциального пучка, А	2.75
Потенциал фокусирующего электрода, В	0
Потенциал управляющего электрода, В	4500
Потенциал анода, В	24000
Диаметр катода, мм	8.0
Диаметр канала, мм	5.5
Количество лучей	18

#### Список литературы

1. Pat. 1136666 US. Многолучевая электронная пушка / О.Ю. Гаврилов, С.С. Дроздов, П.В. Невский; опубл. 30.03.94.
2. Галдецкий А.В., Голеницкий И.И., Духина Н.Г., Сапрынская Л.А. Многолучевая пушка, формирующая криволинейные электронные лучи с высокой сходимостью // Электронная техника. Сер. 1, СВЧ-техника. – 2007. – Вып. 5 (493). – С. 17-20
3. Морев С.П., Саблин В.М. Формирование и транспортировка электронных потоков в многолучевой электронно-оптической системе с криволинейной осью формирования/ Материалы XIX координационного научно-технического семинара по СВЧ технике Н. Новгород 5-7 сентября 2017, С.36-38.