В.М. Саблин, И.А. Фрейдович, П.И. Акимов,
П.В. Невский, Д.А. Терентьев, И.С. Фролов
ФГУП «НПП «Торий»

Результаты проектирования ЭОС мощного 26 лучевого клистрона

Разработана электронно-оптическая система многолучевого клистрона на частоту 5.712 ГГц и выходную мощность до 3 МВт с реверсной магнитной системой для малогабаритных ускорителей мобильных установок инспекционно-досмотрового контроля, дефектоскопии и радиотерапии.

Ключевые слова: многолучевая электронная пушка, реверсная магнитная фокусирующая система, парциальный луч, коллекторный экран

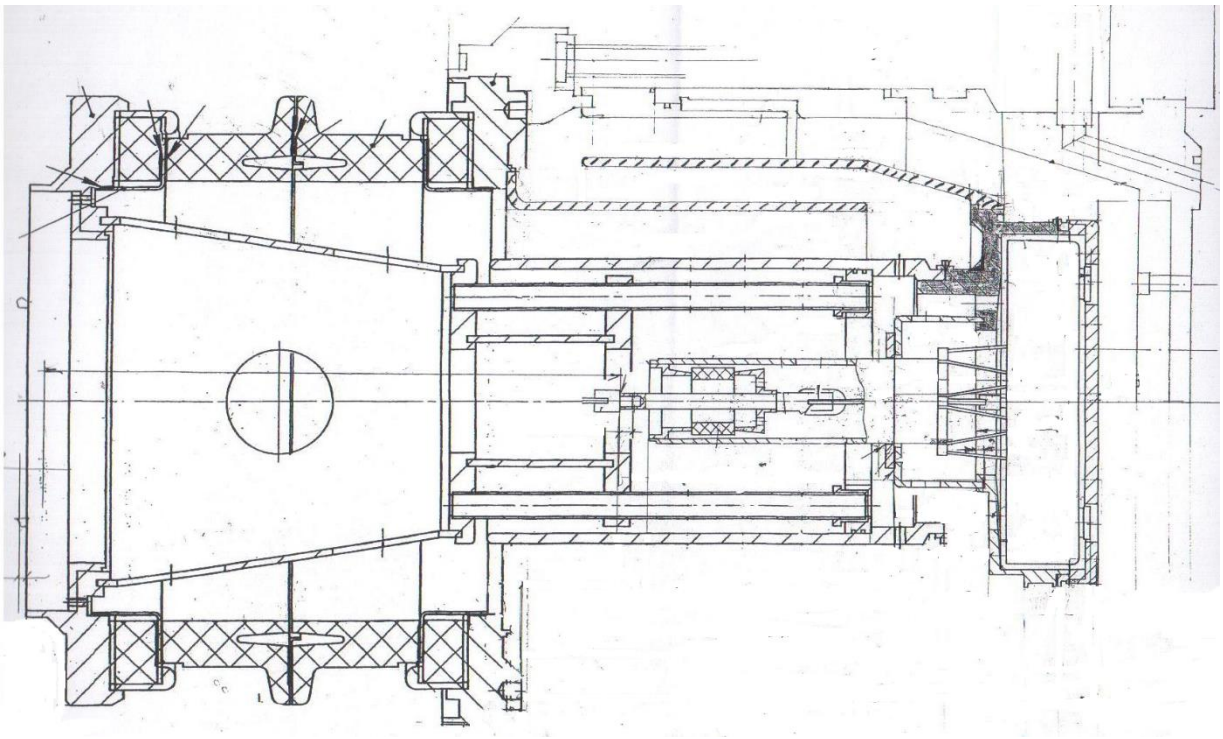
Для удовлетворения нарастающей потребности в малогабаритных линейных ускорителях проводится разработка малогабаритного источника СВЧ питания – компактного многолучевого клистрона с присущими этому типу приборов достоинствами. В подобных клистронах одновременно удается сочетать такие параметры, как: низкое катодное напряжение, высокий КПД, малые габариты и вес. Приборы такого типа десятки лет разрабатываются и выпускаются предприятием. В работе приведены результаты проектирования основных конструкционных узлов ЭОС, с помощью которых достигаются вышеперечисленные параметры: электронной пушки, магнитной фокусирующей системы, коллектора электронов.

Конструкция электронной пушки выполнена в 26-ти лучевом двухэлектродном варианте и рассчитана на величину полного тока в многолучевом пучке 140 А. Использование такого количества парциальных лучей позволяет увеличить выходную мощность клистрона без увеличения анодного напряжения. Происходит это благодаря уменьшению влияния пространственного заряда в ЭОС при сохранении (или увеличении) суммарного электронного потока. Однако применение многолучевых пушек требует больших усилий со стороны технологии и электронной оптики. В частности, становится сложнее обеспечить прохождение тока по многочисленным каналам в условиях неизбежной радиальной неоднородности магнитного поля, что накладывает более жёсткие требования к фокусирующим системам. Диаметр одного катода – 8 мм, 8 катодов расположены во внутреннем ряду на окружности диаметром 25 мм, 18 – во внешнем ряду на окружности диаметром 56 мм.

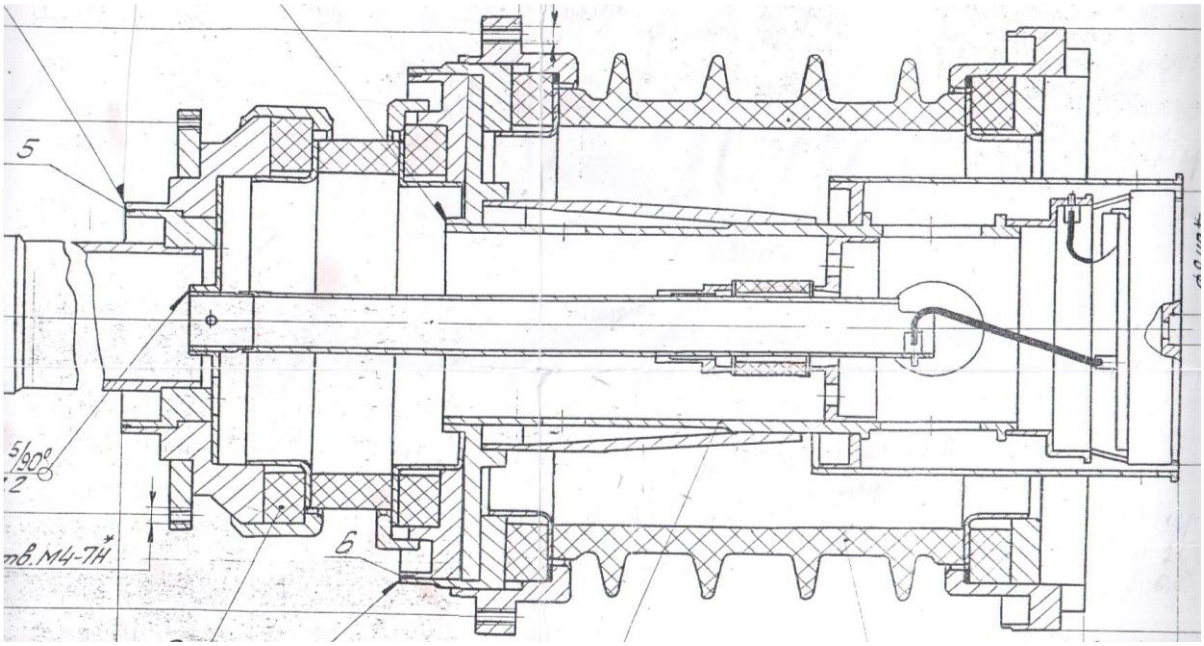
В процессе разработки были рассмотрены два варианта выполнения конструкции пушки:

- с теплоэкранированным катодно-подогревательным узлом и фокусирующим электродом, охлаждаемым до температуры, исключающей термоэмиссию (порядка 550^{o}C), с использованием системы концентрических теплоизлучателей (рис. 1, а);

- с катодами, укреплёнными в обойме, одновременно являющейся фокусирующим электродом (рис.1, б).



а)

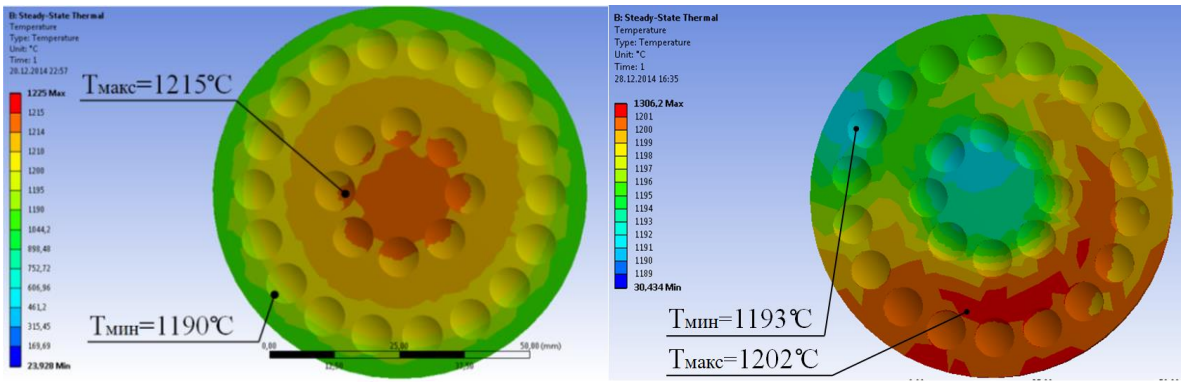


б)

Рисунок 1.

Второй вариант пушки обладает более простой конструкцией, компактностью, дешевизной, однако он не лишён недостатков. Во-первых, обойма нагревается до температур, близких к рабочей температуре эмиттеров (1200 ^{o}C), что неизбежно приводит к возникновению паразитной термоэлектронной эмиссии с поверхности обоймы. Во-вторых, большая неравномерность температурных полей (около 25^{o}C) на поверхности катодов. Для уменьшения неравномерности была спроектирована новая конструкция с подогревателем, в которой перепад температуры удалось снизить (до уровня порядка 9^{o}C). Результаты

теплового анализа обоймы с катодами до изменения конструкции подогревателя (а) и после (б) представлены на рис. 2.



а) б)

Рисунок 2.

Решение проблемы паразитной термоэмиссии возможно с помощью нанесения специального покрытия на обойму, снижающую эмиссию. В будущем планируется использование этого варианта, однако в настоящее время используется более традиционный первый вариант. Основные требования к электронной пушке: импульсный суммарный ток катода – 140 А, рабочее напряжение катода – 43 кВ, микропервеанс – 0,55 $А/В^{3/2}$. На рисунке 3 показан результат траекторного анализа пучка в парциальной электронной пушке с заданными значениями.

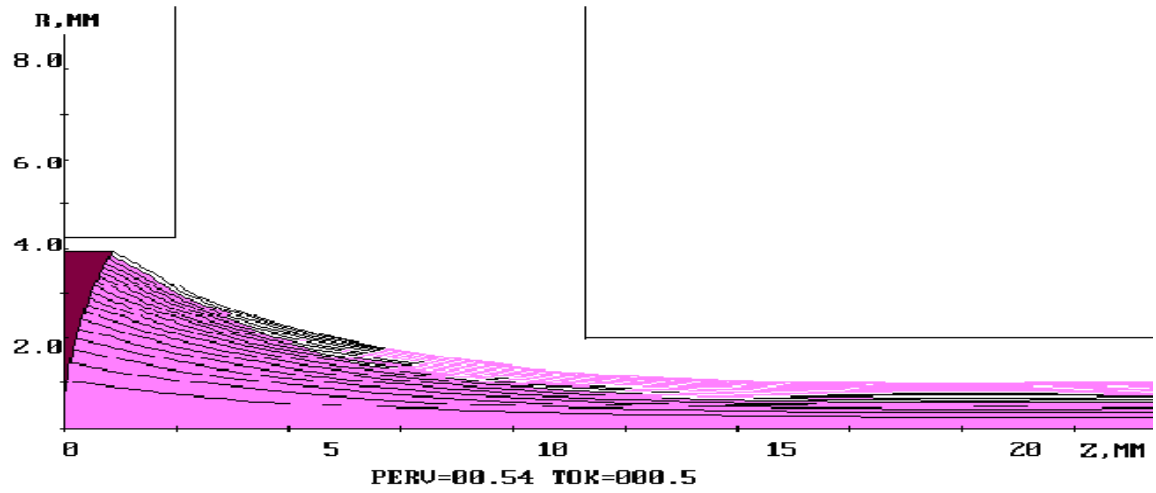


Рисунок 3.

Фокусировка электронных лучей осуществляется однореверсной системой с радиально намагниченными кольцевыми магнитами, выполненными из сплава SmCo. Использование реверсной фокусирующей системы позволяет в несколько раз уменьшить массу и габариты фокусирующей системы по сравнению с магнитами, создающими униполярное поле. Требуемая амплитуда магнитного поля: 1270 Гс в первом реверсе, 1430 Гс во втором.

Неоднородность продольной составляющей магнитного поля, измеренном в крайнем пролётном канале в первом и во втором реверсах, не должна превышать 20 Гс. Распределение продольной составляющей индукции магнитного поля на оси канала транспортировки пучка внешнего ряда и результат расчёта электронных траекторий парциального пучка в канале транспортировки представлены на рисунках 4 и 5 соответственно.

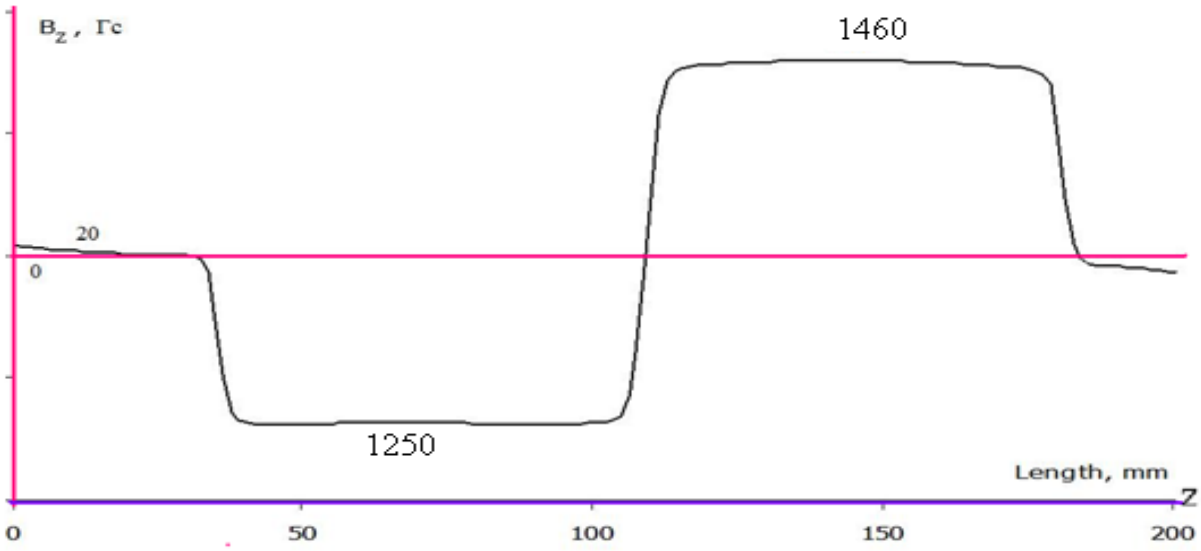


Рисунок 4.

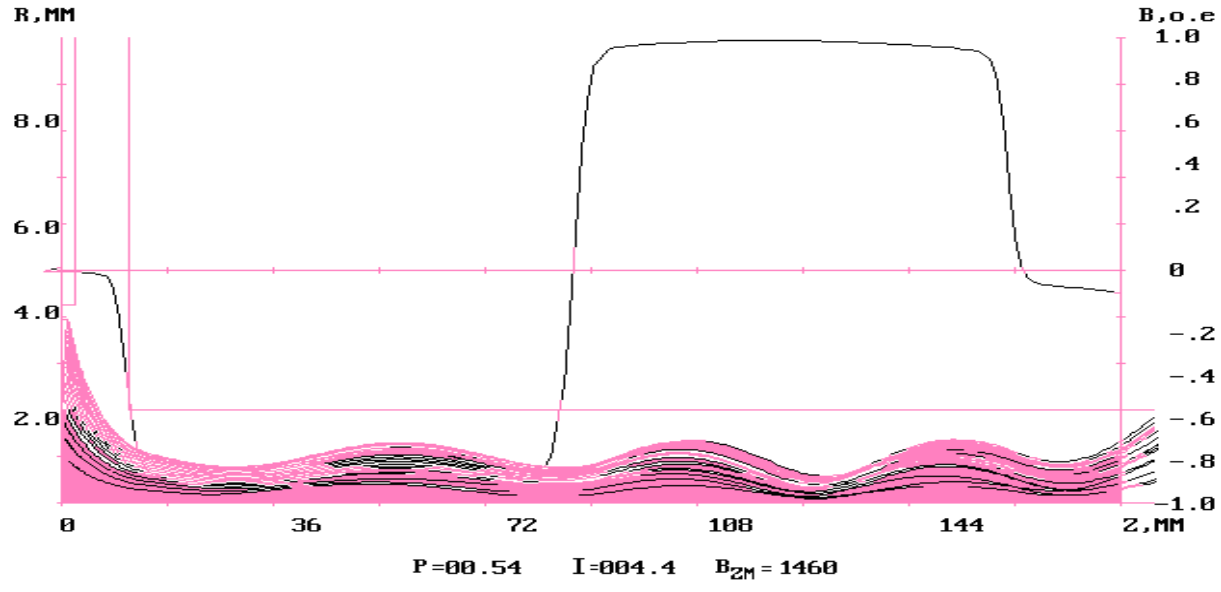


Рисунок 5.

Коллектор электронов выполнен с отдельными токоприёмными камерами для каждого луча. Конструкция коллектора с системой принудительного жидкостного охлаждения представлена на рисунке 6.

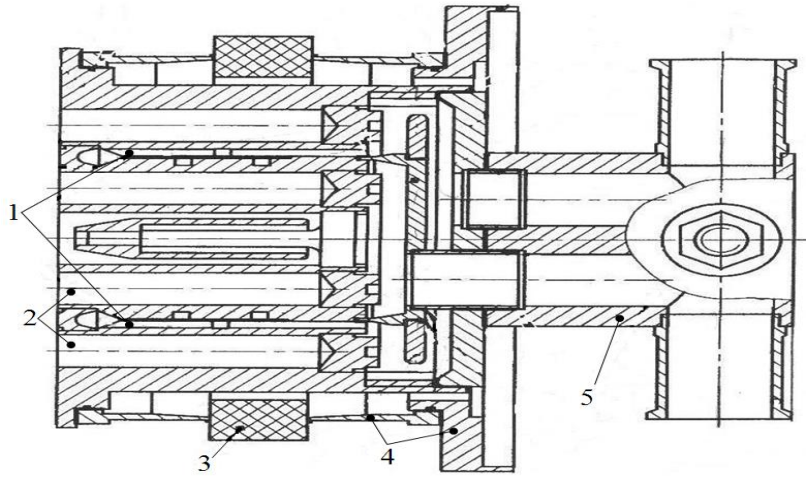


Рисунок 6.

1 - каналы охлаждения; 2 - токоприёмные камеры; 3 - изоляционное кольцо; 4 - элементы магнитного экрана; 5 - элементы системы охлаждения

Общая импульсная тепловая мощность, приходящая на коллектор, составляет 26 кВт. Поэтому в конструкцию коллектора была включена система принудительного жидкостного охлаждения. Расчётный расход воды составляет 26 л/мин. Оптимизация конструкции коллекторных магнитных экранов обеспечивает необходимую расходимость пучка в парциальных коллекторах для равномерного распределения энергии электронов по поверхности.

Общий вид прибора представлен на рисунке 7.

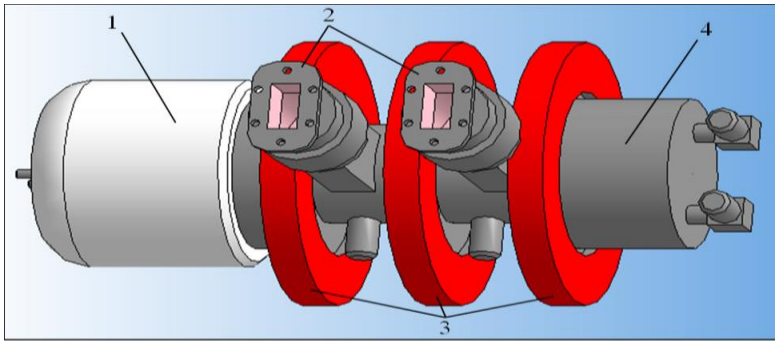


Рисунок 7.

1 – электронная пушка, 2 – выводы энергии, 3 – магниты, 4 – коллектор.

Разработанные конструкционные узлы обеспечивают клистрону ряд эксплуатационных преимуществ, обеспечивающих его эффективное использование в качестве источника питания СВЧ ускорителей, в частности: низкое катодное напряжение (43 кВ), высокий КПД (60%), малые вес и габариты (45 кг).

Библиографический список

1. Балабанов А.К. Многолучевой клистрон С-диапазона с реверсной фокусирующей системой на постоянных магнитах / А.К. Балабанов, Р.А. Косарев, Г.В. Мельничук и др. // Доклады III Всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ» (Санкт-Петербург, июнь 2014).