

**П.И. Акимов¹, А.К. Балабанов¹, Д.В. Козырев¹,
Г.В. Мельничук¹, П.В. Невский¹, Б.В. Прокофьев¹,
К.Л. Сергеев², Т.К. Сигалова¹, В.А. Смирнов¹,
Д.А. Терентьев¹, И.А. Фрейдович¹**
¹ФГУП "Научно Производственное Предприятие "ТОРИЙ"
²ОАО «Спецмагнит»

Проект многолучевого Клистрона ка-диапазона длин волн

Обсуждаются проблемы разработки малогабаритного широкополосного клистрона Ка-диапазона, пакетированного постоянными магнитами из РЗМ сплава самарий-кобальт. Приведены основные характеристики прибора, примеры конструктивных решений конкретных узлов, результаты проектирования и моделирования

Ключевые слова: пакетированный клистрон, электронно-оптическая, магнитная фокусирующая, электродинамическая система, активные резонаторы, окно вывода энергии

На предприятии ФГУП «НПП «Торий» проводится разработка проекта малогабаритного широкополосного пакетированного клистрона Ка-диапазона. Особая сложность решаемых при выполнении данного проекта комплекса задач: создания электронно-оптической, магнитной фокусирующей, электродинамической систем прибора, связана с необходимостью разработки технологии изготовления и сборки миниатюрных элементов и узлов разрабатываемого прибора.

Среди заданных параметров клистрона основными являются следующие:

- выходная импульсная мощность 150 – 250 Вт;
- импульсная мощность входного сигнала, не более 0.2 Вт;
- относительная полоса рабочих частот 0,8%;
- напряжение катода, не более 2 кВ;
- импульсный ток катода, не более 900 мА;
- КПД 15 - 20%;
- время готовности, не более 8 - 10 сек;
- масса, не более 0.85 кг.

В конструкции разрабатываемого прибора имеется ряд особенностей:

1. Электронно-оптическая система включает два многолучевых ствола по 18 пролетных каналов в каждом. На рис.1 показаны многолучевые пролетные трубы клистрона. Диаметр одного канала 0.31 мм. На рис. 2 дана фотография электронной пушки.

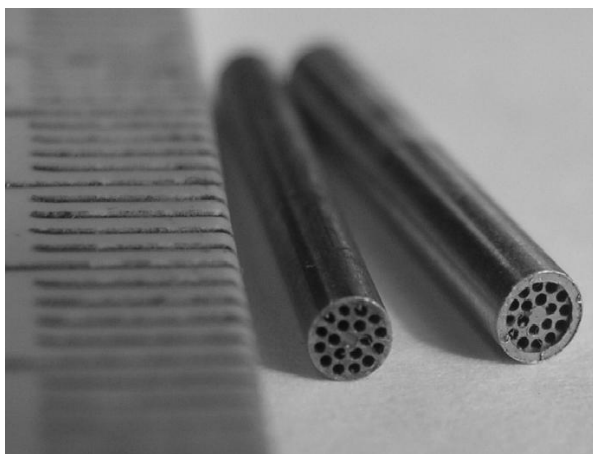


Рисунок 1



Рисунок 2

2. Электронные пучки формируются двухствольной 36-катодной электронной пушкой (см. рис. 2); конструкция пушки предусматривает низковольтную модуляцию электронного потока в режиме плюс-минус.

3. Электродинамическая система клистрона состоит из пяти активных призматических резонаторов, работающих на высшем виде колебаний H_{102} и выходного двухзазорного резонатора с синфазным видом колебаний. На рис. 3 показан блок резонаторов клистрона, на рис. 4 - окно вывода энергии.

4. Для расширения рабочей полосы, в клистроне используются фильтровые системы на входе и выходе. Фильтровые системы двухзвенные, то есть включают активный и один пассивный резонатор, также работающий на виде колебаний H_{102} .

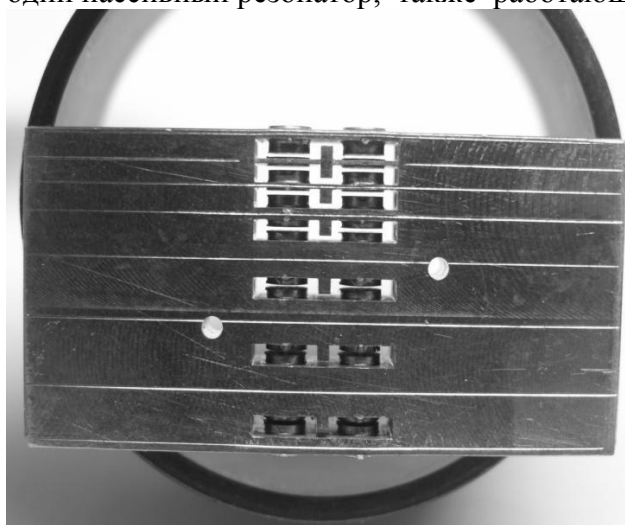


Рисунок 3

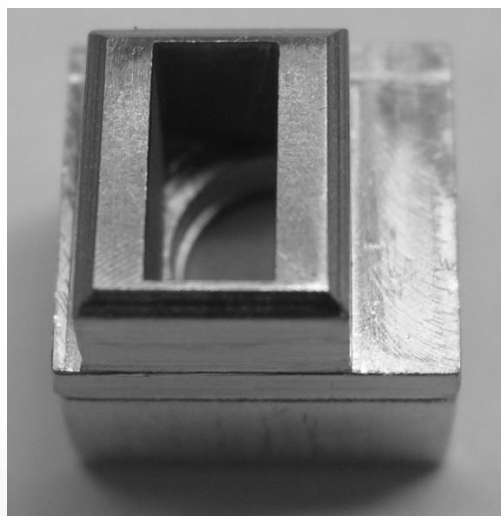


Рисунок 4

Выбранная конструкция пассивных резонаторов обеспечивает возможность выравнивания полей в зазорах активных резонаторов. Кроме того, эта конструкция обеспечивает принципиальную возможность создания клистронов, работающих на двух видах колебаний, что существенно расширяет рабочую полосу.

В представленном на рис. 4 окне вывода энергии в качестве материала диэлектрической перегородки используется пиролитический нитрид бора. Применение этого материала, характеризующегося малыми значениями диэлектрической проницаемости $\epsilon=(4,3\div 5)$, позволило увеличить толщину диска (примерно в 1,5 раза по сравнению с аналогичными перегородками из алюмооксидных керамик) и, тем самым, повысить надежность металлодиэлектрического спая. Вследствие особенностей технологии производства пиролитического нитрида бора этот материал имеет значительный разброс величины диэлектрической проницаемости. В связи с этим в приборе использована конструкция волноводного окна с преимущественной передачей

энергии через диэлектрик на волне E_{01} круглого волновода [1], отличающаяся высокой стабильностью характеристики согласования при вариациях величины проницаемости ϵ вакуумноплотной перегородки. Окно имеет широкую беспаразитную полосу пропускания (около 12%), позволяющую нагрузить нежелательные виды колебаний выходной электродинамической системы клистрона с целью исключения возможности паразитной генерации прибора.

Электронная двуствольная 36-ти лучевая пушка прибора (рис. 2), имеет общий катодно-подогревательный узел, а также общий фокусирующий и общий управляющий электроды. Эмиттеры изготавливаются с использованием плазменной технологии формирования пористой вольфрамовой матрицы на молибденовом керне [2]. Парциальная электронная пушка (рис. 5) представляет собой плоский эмиттер, ограничиваемый отверстием в фокусирующем электроде, который расположен непосредственно на эмиттирующей поверхности. Над фокусирующим электродом расположен управляющий электрод, модулирующий электронный поток в режиме плюс-минус. В области кроссовера электронный луч попадает в быстро нарастающее фокусирующее магнитное поле МФС. Результаты траекторного анализа парциального пучка с первенсом $0.25 \text{ мкА/В}^{3/2}$ в поле МФС с величиной индукции $B_z=0.32 \text{ Тл}$ приведены на рис. 6. Несмотря на некоторую неламинарность траекторий максимальная величина коэффициента заполнения пучком канала не превышает 0.6, что допустимо в МЛК.

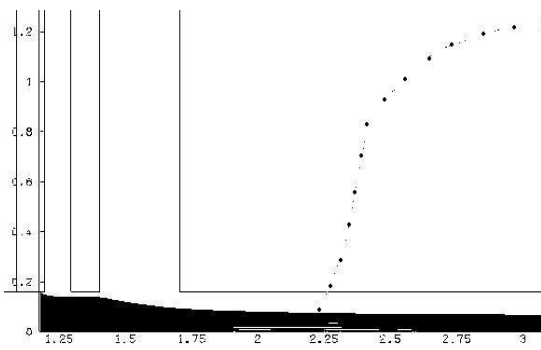


Рисунок 5

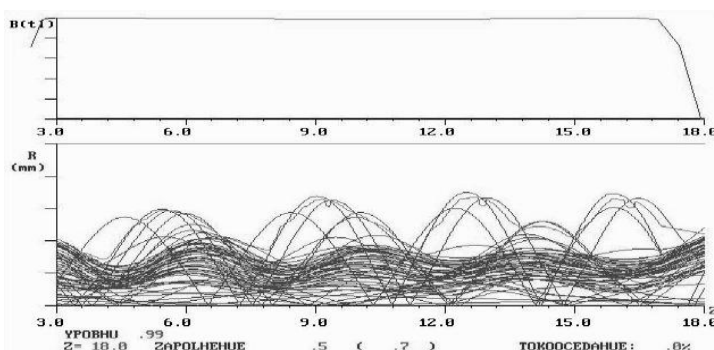


Рисунок 6

Магнитная система двуствольного 36-ти лучевого миниатюрного ЭВП (рис. 7) реализована с использованием плоских постоянных магнитов из РЗМ сплава самарий-кобальт [3] и формирует в каналах однородное магнитное поле с индукцией до 0.35 Тл, обеспечивающее фокусировку парциальных пучков в пролетных каналах диаметром 0.31 мм на длине порядка 17 мм.

На рис. 8 приведены полученные в результате трехмерного моделирования МФС по программе БЕМС распределение продольной B_z и поперечной B_r компонент индукции фокусирующего магнитного поля (МП). Как показали расчеты, распределения продольной и поперечной компонент индукции МП в каналах транспортировки парциальных пучков обеспечивают высокую степень однородности индукции продольной, фокусирующей электроны пучка, компоненты магнитного поля при малой величине дефокусирующей радиальной компоненты индукции, что требуется для обеспечения приемлемого токопрохождения в приборе [4].

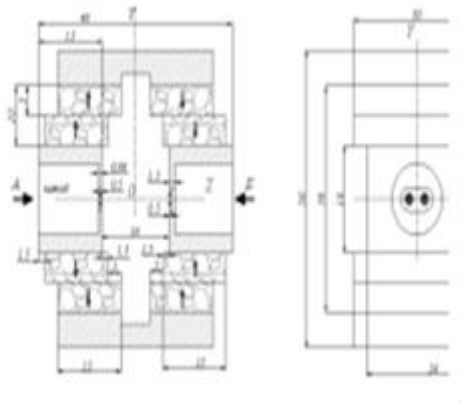


Рис. 7

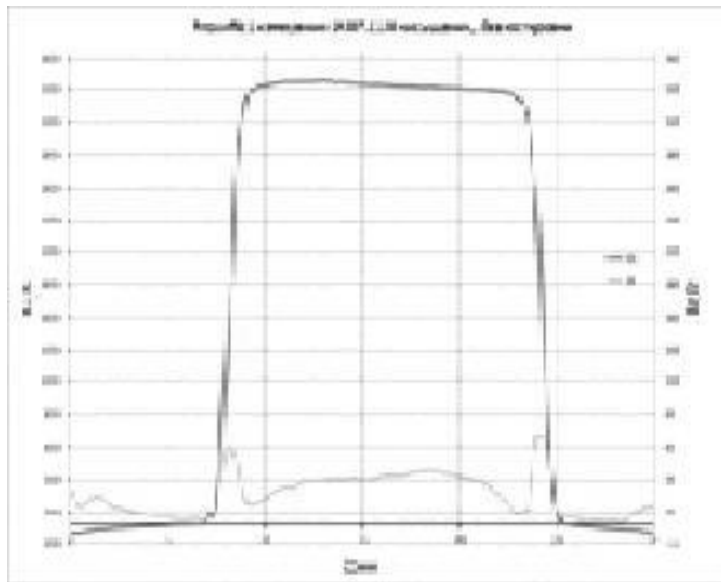


Рис. 8

Экспериментальные исследования конструкции разработанной МФС, проведенные на имитаторе прибора, показали хорошую степень совпадения с результатами компьютерного моделирования (рис. 9). Приведенный на том же рис. 9 результат анализа парциального электронного луча в канале транспортировки в измеренном трехмерном магнитном поле подтверждает предположение о возможности получения необходимого для работы прибора токопрохождения многолучевого пучка.

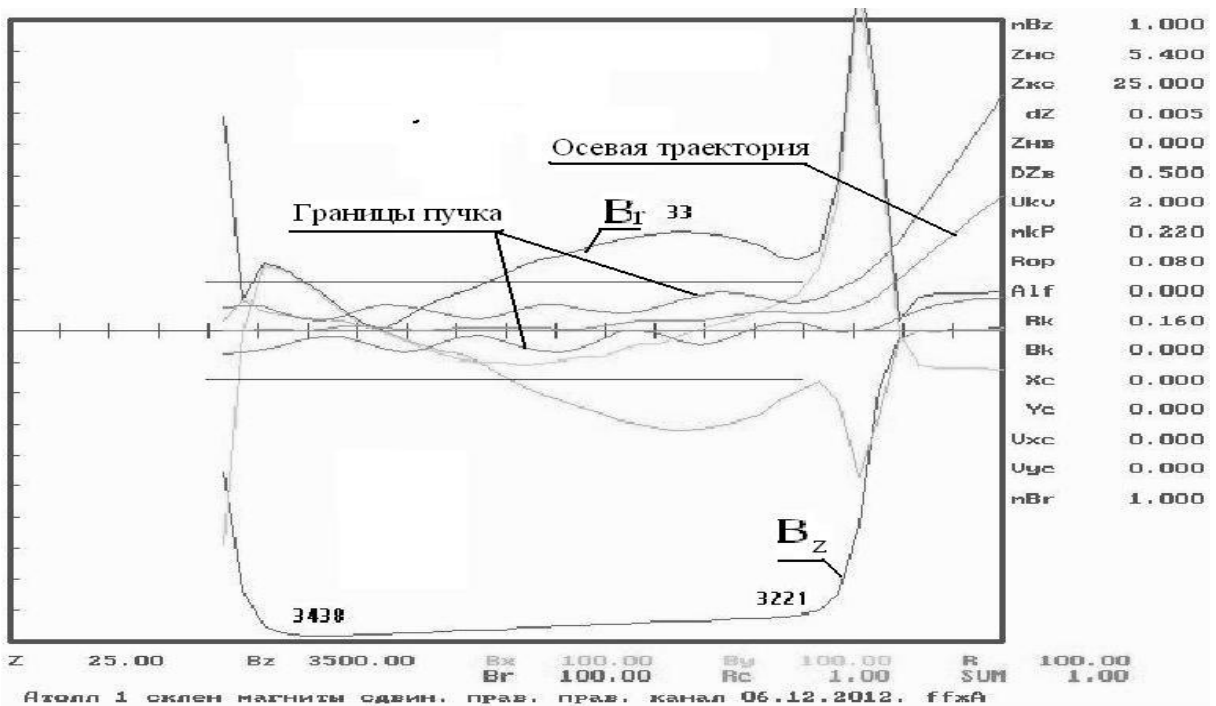


Рисунок 9

На рис. 10 приведена фотография стенда динамических испытаний клистрона в процессе юстировки МФС и настройки прибора.

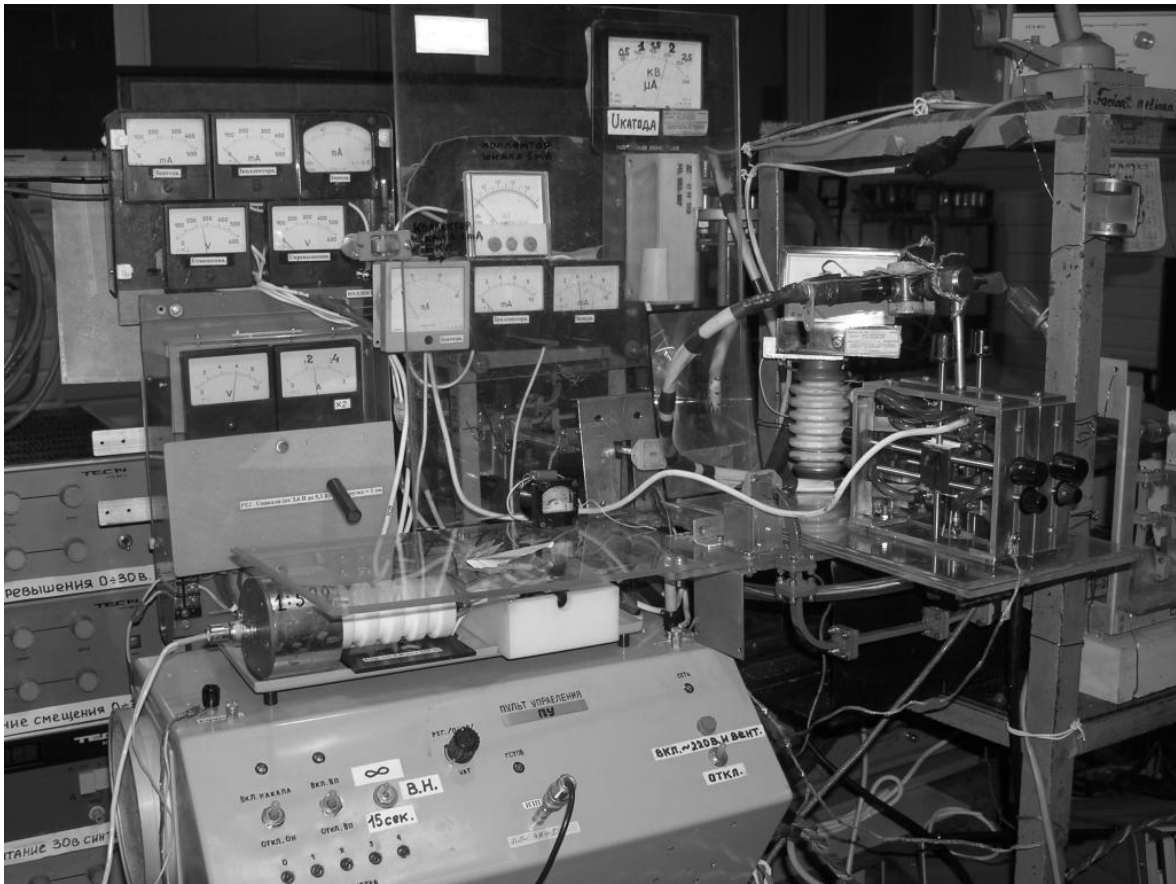


Рисунок 10

Библиографический список

1. Прокофьев Б.В. Баночное окно ввода/вывода энергии СВЧ-прибора. Пат. РФ №1607638. 27.09.93. (11.07.88). Кл. H01 j 23/36. (Изобретения. - 1993. - №43-44, С.200).
2. Смирнов В.А., Акимов П.И., Потапов Ю. А. и др. Многолучевые катодные узлы с общим эмиттером. XVIII научно-техническая конференция "Вакуумная наука и техника". 2011. Материалы конференции. С.279-281.
3. Акимов П.И., Дормидонтов А.Г., Дроздов С.С., Мельничук Г.В. и др. Некоторые аспекты применения современных магнитотвердых сплавов в электровакуумных приборах. XVIII научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов "Вакуумная наука и техника". 2011, сентябрь. Материалы конференции. С.379-382.
4. Акимов П.И., Богословская А.Б., Коротков А.Ф., Никитин А.П., Мельничук Г.В., Невский П.В. и др. Конструкции магнитных фокусирующих систем многолучевых приборов с магнитами из редкоземельных сплавов XIX научно-техническая конф. с участием зарубежных специалистов "Вакуумная наука и техника". 2012, сентябрь. Материалы конференции, с.111-114.