

## **ОСОБЕННОСТИ ОТКАЧКИ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ СВЧ X ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН**

Д.А. Комаров, Ю.Н. Парамонов, В.М. Саблин, Д.А. Калашников

### **АННОТАЦИЯ**

В работе рассматриваются особенности откачки приборов СВЧ X диапазона. Представлены результаты масс-спектрометрии мощного клистрона КИУ-283.

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ, ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ, СВЧ, КЛИСТРОН, X ДИАПАЗОН ДЛИН ВОЛН, ОТКАЧКА

## **PECULIARITIES OF PUMPING OF ELECTRIC VACUUM X-BAND MICROWAVE DEVICES**

D.A. Komarov, Yu. N. Paramonov, V.M. Sablin, D.A. Kalashnikov

### **ABSTRACT**

The paper considers the pumping features of X-band microwave devices. The results of mass spectrometry of a powerful klystron KIU-283 are presented.

### **KEYWORDS**

MASS SPECTROMETRY, MICROWAVE DEVICES, KLYSTRON, X-BAND, PUMPING

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из основных тенденций развития СВЧ-техники является увеличение частоты СВЧ сигнала при сохранении высоких значений импульсной мощности. Размеры резонаторных систем обратно пропорциональны значению частоты, следовательно, и сами приборы на большие частоты будут обладать меньшими габаритами. С увеличением частоты сигнала СВЧ так же будут уменьшаться размеры ускорителей. Кроме того, большие частоты СВЧ-сигнала улучшают разрешающую способность досмотровых комплексов и точность медицинского оборудования, при этом в ускоряющих структурах повышаются эффективность ускорения и предельно допустимый темп набора энергии.

В то же время, уже при переходе от С к X диапазону длин волн возникают технологические трудности как изготовления миниатюрных резонаторных систем с жесткими допускными требованиями на частоты, так и сохранения требуемой точности размеров на протяжении всего производственного цикла – сборки, сварки, пайки узлов, настройки и откачки. Малейшие геометрические отклонения могут приводить к значительным ухудшениям качества изделия – падению мощности и КПД.

Как и в обычных ЭВП СВЧ изделие должно пройти стандартную операцию откачки, чтобы во время тренировки чрезмерная величина паров остаточных газов не приводила к ухудшению токопрохождения, не вызывала искрений и пробоев, которые могут вывести из строя прибор, а иногда и оборудование испытательного стенда. В то же время, в результате длительного нагрева во время откачки геометрические размеры резонаторной системы

могут выйти за пределы допустимых значений. При этом, не существует эффективных способов настройки резонаторной системы во время динамических испытаний. В данном случае, необходимо было бы вскрывать прибор, заменять деформированные узлы, заново заваривать и вновь подвергать откачке.

Доминирующим остаточным газом в приборах ЭВП СВЧ является водород, который содержится в медных деталях. В связи с этим, возникают дополнительные трудности при откачке многолучевых клистронов X диапазона, так как относительно большие медные резонаторы связаны с насосом откачной камеры (и с встроенным электроразрядным насосом (ЭРН) во время динамических испытаний и эксплуатации) через миниатюрные пролетные каналы, в результате эффективность откачки внутренних полостей значительно уменьшается. Согласно основному уравнению вакуумной техники эффективная скорость откачки  $S_{эфф}$  связана со скоростью откачки насоса  $S_n$  и пропускной способностью откачиваемого объекта  $U$  следующим выражением:

$$\frac{1}{S_{эфф}} = \frac{1}{S_n} + \frac{1}{U}$$

а пропускная способность круглой трубы прямо пропорционально диаметру трубы в четвертой степени:

$$U = 1.36 \cdot 10^3 \cdot \frac{d^4}{L} \cdot \frac{p_1 + p_2}{2} + 121 \cdot \frac{d^3}{L} \cdot \frac{1 + 1.9 \cdot 10^4 \cdot d \cdot \frac{p_1 + p_2}{2}}{1 + 2.35 \cdot 10^4 \cdot d \cdot \frac{p_1 + p_2}{2}}$$

Это значит, что данная конструктивная особенность многолучевых клистронов может приводить к тому, что эффективность откачки будет определяться исключительно пропускной способностью пролетных каналов, какие бы мощные насосы не использовались бы для откачки.

В связи с описанными особенностями приборов X диапазона длин волн, выбор оптимального режима откачки является критическим параметром для стабильной работы изделия. Для оценки качества откачки применяется измерение парциальных давлений остаточных газов методом масс-спектрометрии.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНО-ГО МНОГОЛУЧЕВОГО КЛИСТРОНА X ДИАПАЗОНА**

На рис.1 представлена резонаторная система многолучевого клистрона X диапазона КИУ-283, разработанного на предприятии АО «НПП «Торий» для медицинских комплексов иностранного производства в 2022 году. В данном приборе, 6 резонаторных блоков внешним диаметром 36 мм и длиной 6 мм связаны между собой и с откачным штенгелем 25-ю пролетными каналами диаметром 3 мм.

Технология откачки состояла в обезгаживании резонаторной системы при температуре корпуса 600 °С в течение 5 часов и обезгаживании катода при температуре резонаторного блока 500 °С и токе накала 18 А в течение 5 часов. По результатам масс-спектрометрии (рис.2) был отмечен разный характер изменения парциального давления водорода, угарного и углекислого газа при нагреве изделия до 600 °С.

Так как, источниками соединений СО и СО<sub>2</sub> являются детали катодного узла, изготовленные из никеля, молибдена и нержавеющей стали, локализованные в одном месте относительно насоса, то откачка данных газов имеет стандартный характер, свойственный откачки остаточных газов приборов L, S и C диапазона. Характерный пик СО обусловлен

началом активации катода. При этом, быстрое падение парциального давления окиси углерода обусловлено значительной скоростью уменьшения концентрации углерода в тонких деталях катодного узла, температура которых достигает 1000 °С. В то же время, несмотря на равномерный нагрев медных деталей резонаторной системы, видно характерные спады парциальных газов водорода, что можно объяснить слабой пропускной способностью пролетных каналов и накоплением водорода в резонаторах. Тем не менее, в результате длительной откачки, характер изменения парциального давления водорода приобретает стандартный вид. Видно, что к началу активировки катодного узла прибор обезгажен и время обезгаживания катода можно сократить на 3-4 часа.

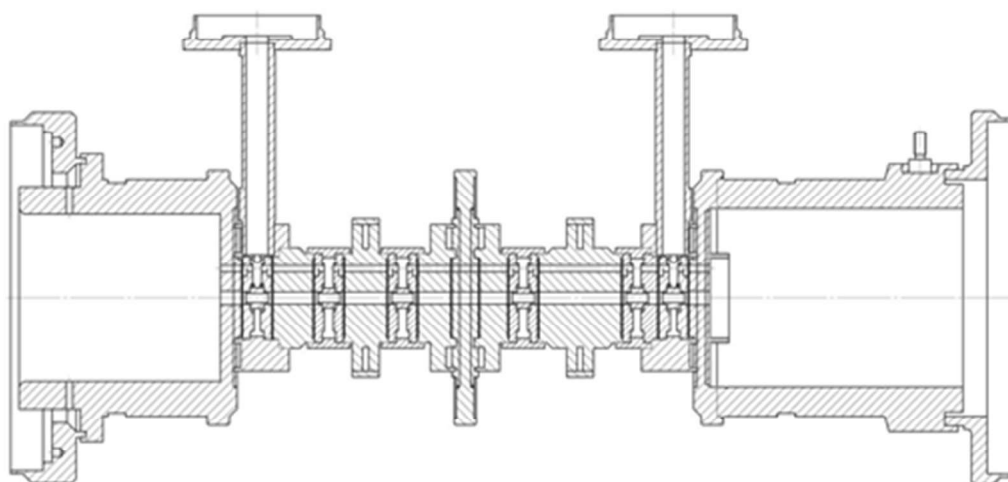


Рис.1 Эскиз резонаторного блока клистрона КИУ-283

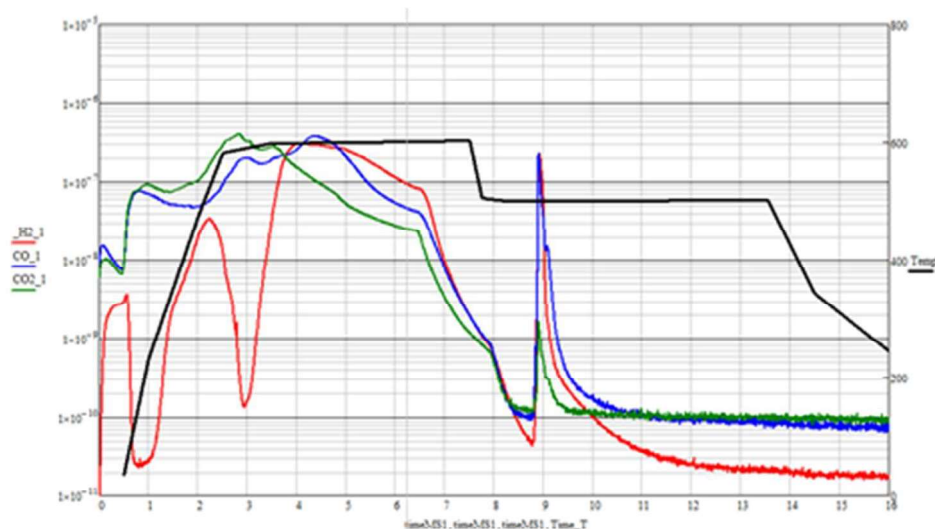


Рис.2. Результаты масс-спектрометрии клистрона КИУ-283 (Т – температура прибора, °С)

В дальнейшем, планируется использовать результаты масс-спектрометрии для анализа процессов газоотделения различных элементов и узлов изделий СВЧ для разработки программы моделирования процесса откачки электровакуумных приборов, которая

позволила бы выбирать оптимальные режимы откачки уже на этапе проектирования приборов и оценивать конструктивные решения на возможность эффективного обезгаживания.

## **ВЫВОДЫ**

Было проведено измерение парциального давления остаточных газов во время откачки мощного импульсного многолучевого клистрона КИУ-283 X диапазона длин волн. По результатам масс-спектрометрии было уменьшено время обезгаживания катода.

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

Д.А. Комаров – доктор технических наук, заместитель генерального директора – директор по научной работе АО «НПП «Торий», г. Москва.

Ю.Н. Парамонов – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе АО «НПП «Торий», г. Москва; e-mail: paramonov.yn@toriy.ru

В.М. Саблин – начальник лаборатории приборов с распределенным взаимодействием АО «НПП «Торий», г. Москва; e-mail: sablin.vm@toriy.ru

Д.А. Калашников – начальник лаборатории магнетронов АО «НПП «Торий», г. Москва; e-mail: kalachnikov.da@toriy.ru