

УДК

# Крупногабаритный катод со сферической эмиссионной поверхностью для клистрона мощностью 20 МВт

Р.М. Зубилов, Н.М. Галина, О.В. Поливникова, К.Г. Симонов

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

**Аннотация:** в рамках ряда ОКР, проведенных в последние годы, проводился анализ пушек мощных клистронов. В результате анализа был выявлен ряд недостатков в конструкциях пушек. Одним из основных недостатков является то, что в основном в пушках используется сегмент оксидного катода в виде сферического диска с карбонатным покрытием, который крепится на толстостенные держатели пушки. Предложен вариант изготовления пушки с катодно-подогревательным узлом, выполненном в виде самостоятельной единицы, что позволяет снизить разброс температуры от узла к узлу, проводить анализ параметров катода вне состава пушки. Так же предложен способ нанесения никелевой губки на сферический керн катода с использованием центробежной силы.

**Ключевые слова:** катод, сверхмощный клистрон, эмиссионная поверхность, катодно-подогревательный узел, никелевый порошок.

## 1. Введение

Одним из направлений развития вакуумных приборов СВЧ является увеличение мощности клистронов. Современная техника специального назначения, ускорительная техника требует разработки сверхмощных клистронов мощностью до 50 МВт. Увеличение выходной мощности клистронов достигается разными путями. Это может быть достигнуто за счет поднятия анодных напряжений до высоких значений (300-500 кВ), за счет создания сверхмощных цепочек усилительных клистронов или за счет увеличения диаметра эмитирующей поверхности. В настоящее время с развитием направления перехода на производство отечественной техники СВЧ в России на АО «НПП «Исток» продолжаются работы по увеличению мощности как однолучевых, так и многолучевых клистронов.

В рамках данной работы был проведен анализ существующих конструкций пушек для сверхмощных клистронов, разработана конструкция крупногабаритного катодно-подогревательного узла, проведена корректировка технологии обработки порошка, а также предложен способ нанесения порошка на керны катодов, исключая использование биндера.

## 2. Анализ существующих конструкций

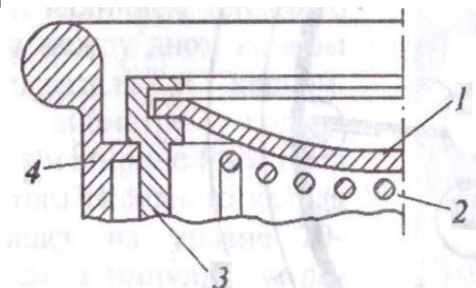
Были рассмотрены некоторые примеры реализации крупногабаритных катодов, выпускаемых ранее.

В конструкции французского катода (рис. 1) керн с подогревателем крепится непосредственно к чашеобразному экрану. Эта сборочная единица помещается во второй экран подобного вида и крепится на стойках к диску. Данная конструкция не проста в изготовлении и, происходит разогрев не только рабочей поверхности катода, но и чашеобразных экранов. Мощность накала данного катода при диаметре 80 мм составляет 470 Вт.



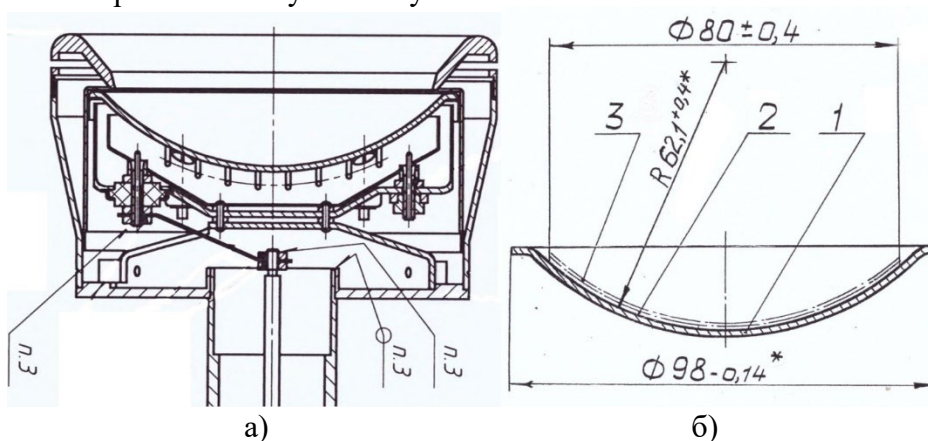
**Рисунок 1.** Французский сферический катод.

В конструкции, представленной на рис. 2, катод с эмитирующей поверхностью выполнен по периметру с плоским буртиком и свободно размещен в пазах толстостенного держателя. При установке катода в держатель между последним и буртиком оставляют зазор, его подбирают таким образом, чтобы катод мог расширяться без деформации, и чтобы не нарушалась оптика прибора из-за слишком его свободного перемещения. Мощность накала катода такой конструкции диаметром 100 мм составляет более 500 Вт.[1]



**Рисунок 2.** Катод диаметром 100 мм.

При разработке клистрона мощностью 20 МВт использовалась конструкция крепления катодов с эмиссионным покрытием аналогичная показанной на рис. 2 (рис. 3). Монтаж катодов с эмиссионным покрытием непосредственно в пушку прибора приводил к невозможности проведения испытаний вне прибора и разбросу температуры эмиссионной поверхности от пушки к пушке.



**Рисунок 3.** Конструкция пушки (а) и катода (б) ранее используемых в сверхмощном клистроне.

Катод крепился на толстостенные детали, что приводило к значительному снижению температуры к краю эмиссионной поверхности, поэтому диаметр катодов пришлось сделать равным 98 мм при эмиссионной поверхности 80 мм, для

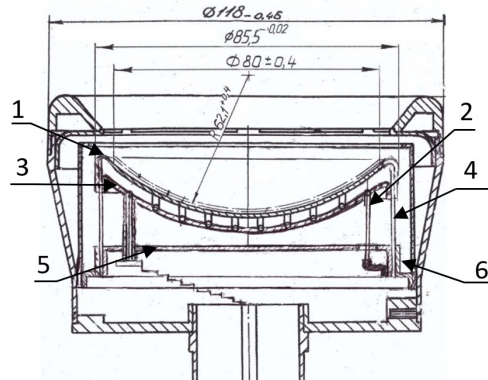
отсечения более холодной зоны эмитирующей поверхности.[2]

### 3. Разработка конструкции катодно-подогревательного узла.

Была поставлена задача разработать крупногабаритный катод с эмиссионным покрытием диаметром 80 мм, который бы являлся самостоятельной единицей со следующими параметрами:

- диаметром эмиссионной сферической поверхности - 80 мм
- радиус сферы эмиссионной поверхности – 62,1 мм
- мощность накала менее 400Вт,
- время разогрева не более 15 минут,
- токоотбор в импульсном режиме не более 240 А,
- долговечность не менее 2000 часов,
- количество циклов включения и выключения напряжения накала – не менее 3000.

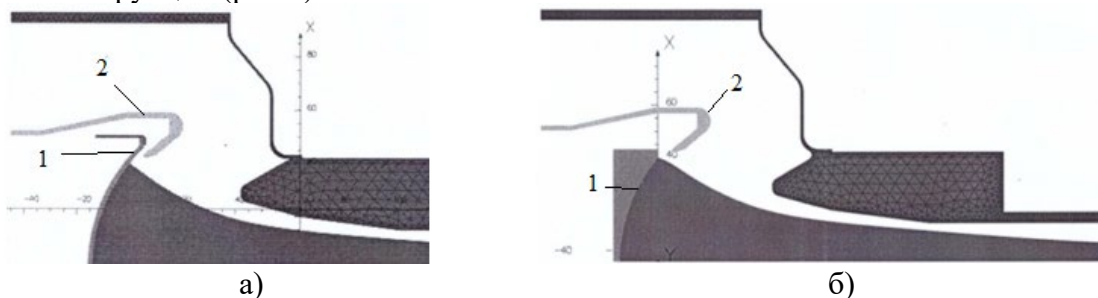
Катод выполнен по аналогии с конструкциями среднегабаритных катодов (рис. 4).



**Рисунок 4.** Конструкция катода. 1 – Керн, 2 – Подогреватель с изоляторами, 3 – Верхний экран, 4 – Держатель, 5 – Нижний экран, 6 – Кольцо

Толщина керна катода (1) была уменьшена с 1,5 мм до 1 мм, поэтому для усиления формоустойчивость керн был выполнен в виде колпачка. Диаметр катода был уменьшен с 98 мм на 86 мм. Сферический подогреватель, повторяющий форму используемой ранее конструкции, с керамическими изоляторами крепится ко дну (3) и размещается под керном. Крепление керна осуществляется на держатель (4) толщиной 0,1 мм. Держатель нижней части крепится на кольцо (6), в которое вставляется экран (5). Высота катода и внешний диаметр кольца позволили произвести замену предыдущей конструкции узла с сохранением конструкции и размеров посадочного места и фокусирующего электрода.

Так как в новом катоде были сохранены диаметр и радиус сферы эмиссионного тела, не удивительно, что электронный поток практически идентичный потоку в базовой конструкции (рис.5).



**Рисунок 5.** Электронный поток пушки. 1 – керн катода, 2 – управляющий электрод, а - с базовым катодом, б – с разработанным катодом

Расчет показал, что уменьшение площади керна, не имеющей эмиссионного покрытия, более чем в два раза позволило сократить потери на излучение со сферической поверхности. Были проведены тепловые испытания катода, которые показали, что мощность накала снизилась на 20 Вт и составила 380 Вт.

В связи с тем, что конструкция подогревателя не была изменена, необходимо продолжить работу по распределению температуры по керну катода.

#### 4. Корректировка технологии нанесения никелевого порошка

Эмиссионное покрытие катода выбиралось с учетом токоотбора и долговечности, предъявляемым к катоду. В приборах, где требуется токоотбор менее  $0,3 \text{ А/см}^2$  в непрерывном режиме и до  $10 \text{ А/см}^2$  в импульсном режиме, обычно, используются оксидные катоды, в частности металлооксидные катоды.

Была проведена работа по корректировке технологии обработки порошка перед его нанесением, предложенной еще в 60-х годах. Согласно ей, для удаления углерода из порошка, его предварительно промывают в деонизованной воде 3-4 раза, затем отдают на отжиг в среде водорода при температуре 600С 30 минут. Таким образом, содержание углерода уменьшается на 1-2 порядка. После этого опять производится легкий помол порошка и просеивание его по размерам. Так как согласно технологии изготовления металлооксидных катодов после такой предварительной обработки порошка, он наносится на керн, и снова отжигается сначала при 1150С 25 минут, после чего еще при 1250С 40 минут, появляется вопрос о целесообразности проведения предварительной отчистки порошка, если углерод должен удаляться и в процессе спекания самой губки. Эксперименты показали (табл. 1), что количество углерода, который удаляется при предварительной обработке порошка сопоставимо с количеством углерода, удаляемого в процессе спекания губки.

Таблица №1

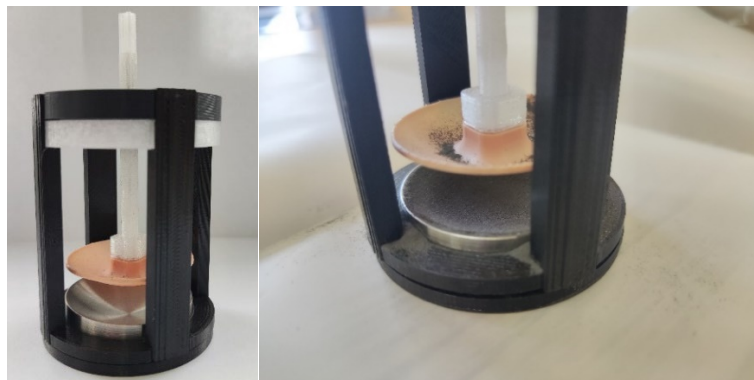
Порошок	Исходный		С предварительной обработкой		Без предварительной обработки	
	Углерод	Сера	Углерод	Сера	Углерод	Сера
К-10	0,232	0,0009	0,0032	$\leq 0,00004$	0,0042	0,00008
К-9	0,312	0,0004	0,0057	0,00005	0,0065	0,00007

Еще один минус данной технологии заключается в том, что после промывки и отжига порошок необходимо растолочь и просеять через сито. При данных процессах, выполняемых вручную, начальная гранулометрия порошка меняется, что приводит к отсутствию стабильности в технологии. В большинстве случаев растирание порошка приводит к образованию большого количества мелких частиц, размером меньше 40 микрон. Порошок с таким размером частиц не используется в технологии данных оксидных катодов, это приводит к потерям дефицитного в настоящее время никелевого порошка.

Исключение предварительной обработки порошка из технологии устраняет нестабильность в гранулометрии отдельных партий порошков, снижает время изготовления катодов, а, следовательно, снижает трудоемкость и уменьшает себестоимость катода без ухудшения эмиссионных свойств.

При ручном нанесении губки, насевом порошка через сито, получить четкий радиус эмитирующей сферической поверхности для больших катодов очень сложно, кроме того связующее вещество – биндер, содержит сравнительно большое количество углерода. Использование биндера можно исключить с помощью предлагаемого нами способа изготовления никелевой губки.

Предлагается для создания никелевой губки использовать оправку, в которой центровка керна осуществляется за счет четкой установки керна катода в нижней ее части на основание и фиксируется боковыми держателями (рис. 6).



**Рисунок 6.** Оправка для нанесения покрытия

Поверхность никелевой губки формируется за счет опускания сферического прижима. По мере опускания прижима с вращением его вокруг своей оси за счет центробежной силы избыточный никелевый порошок высыпается за пределы необходимого размера покрытия. Точный радиус сферы поверхности никелевой губки определяется сферой прижима, диаметр и высоту никелевой губки задает выступ на прижиме с необходимыми размерами. Излишки порошка удаляются, и прижим поднимается вверх. Убираются боковые держатели, и керн на основании передается на следующую операцию – отжиг.

## 5. Заключение

В результате работы была разработана конструкция крупногабаритного катодно-подогревательного узла, которая позволяет:

- снизить мощность накала катода
- уменьшить, разброс рабочей температуры катода от узла к узлу
- проводить тепловые испытания катодно-подогревательного узла вне состава изделия.

Предлагаемая технология изготовления губки металлоксидного катодно-подогревательного узла позволяет исключить предварительную обработку порошка, что:

- устранит внесение нестабильности по гранулометрии порошка;
- уменьшит трудоёмкость изготовления эмиссионного покрытия;
- сократит потери дефицитного в настоящее время никелевого порошка;
- частично исключит вредные для здоровья процессы.

Предложен способ нанесения никелевого порошка, позволяющий получать более точную сферу эмиссионного покрытия.

### Список литературы

1. С.А. Зусмановский, К.Г. Симонов, «Устройство для фокусировки электронных потоков», авторское свидетельство СССР 302048, 1969 г.
2. Симонов К. Г. и др. Сверхмощный 20-МВт клистрон S-диапазона частот //Электронная техника, сер. 1, СВЧ-техника. – 2023. – вып. 3(559). – С. 76–81.