

## **Источники электронов для линейных ускорителей и технологических целей**

В.А. Поляков, И.С. Щедрин  
*Московский государственный инженерно-физический институт  
(технический университет), Россия*

Рассмотрены конструкции и основные характеристики источников электронов для ускорителей. Разработаны 2 варианта катодных узлов для ВЧ-инжектора электронов. Для повышения срока службы источников использованы катоды из монокристалла гексаборида лантана. Дисковые катоды косвенного нагрева диаметром 4-6 мм и толщиной 1,5 мм обеспечивают токи электронов до 10 А и малую скорость эрозии эмиттирующей поверхности из-за ионной бомбардировки. Последний параметр в 3-4 раза ниже, чем для поликристаллических катодов из гексаборида лантана. Описываемые источники электронов будут использованы в компактных линейных ускорителях.

### **Введение**

Для линейных ускорителей, используемых в прикладных целях, особенно важным являются надежность и стабильность работы всех систем, включая инжектор. Компактные линейные ускорители используют целый ряд источников электронов различной конструкции. Наиболее критичным элементом инжектора является эмиттер, который определяет в значительной степени рабочие характеристики инжектора. В прикладных ускорителях используются, как правило, термоэлектронные катоды. Проволочные эмиттеры просты, но имеют малый срок службы, низкую стабильность и значительный эмиттанс электронного пучка. Дисковые и стержневые катоды требуют более сложной конструкции катодного узла, но обеспечивают высокую стабильность и электронную яркость, большой срок службы инжектора без его разборки. Во многих случаях важным является хорошее поперечное формирование ускоренного пучка. Наиболее полно описывает поперечную динамику пучка такой параметр как яркость пучка на выходе электронной пушки.

Как было показано в [1, 2] на основе анализа выходных параметров многих ускорителей, одним из важных параметров, определяющих качество поперечного формирования пучка, является яркость пучка на выходе инжектора, приведенная величина которой максимальна в инжекторе и уменьшается по длине ускорителя. С учетом этих заключений очень важно для получения высокой яркости пучка на выходе ускорителя обеспечить минимальную величину поперечного эмиттанса пучка источника электронов, которая в свою очередь определяется многими факторами, в том числе стабильностью эмиссионных характеристик, положения катода и др.

Цель данной работы состояла в разработке конструкций источника электронов с улучшенными параметрами для линейных ускорителей.

### **Описание конструкции**

Как показано ранее, массивные эмиттеры предпочтительны для получения высококачественного электронного пучка, поэтому для разработанных источников был выбран этот тип катода. Материал катода — гексаборид лантана,

который сочетает высокую плотность тока эмиссии со значительной стойкостью к отравлению активными газами, ионной бомбардировке и низкой скоростью испарения. Этот материал особенно предпочтителен для использования в разборных электронно-лучевых устройствах (линейных ускорителях, электронных технологических пушках), периодически подвергаемых воздействиям атмосферного воздуха. Диаметр катода выбран в диапазоне 4-8 мм, для его нагрева применен способ электронной бомбардировки со вспомогательного эмиттера.

В результате ряда экспериментальных исследований была разработана конструкция катодного узла, обеспечивающего простоту замены дискового эмиттера и его надежную фиксацию (рис.1 и 2). Он состоит из держателя эмиттера 1 в виде полого усеченного конуса, дискового эмиттера из гексаборида лантана 2, прижима 3, обеспечивающего фиксацию эмиттера и ленточного вспомогательного катода 4, обеспечивающего электронную бомбардировку эмиттера 2. Так как материал эмиттера сравнительно хрупок, необходимо обеспечить его упругий прижим в течение всего периода работы. Из-за циклических изменений температуры прижима 3 в процессе эксплуатации снижаются его эластичные свойства. Оригинальной особенностью разработанного узла является наличие выступов на дальнем от эмиттера краю прижима 3. Выполнение выступов в зоне низких температур обеспечивает значительное снижение скорости неупругих деформаций.

Другая важная особенность катодного узла — вспомогательный катод 4, выполненный из тантала или фольфрама и имеющий прорези, перпендикулярные его длинной стороне. При этом увеличивается необходимый ток накала и снижается влияние магнитного поля тока накала на формирование основного электронного пучка. Указанные улучшения обеспечивают увеличение срока службы катодного узла и повышение яркости пучка на выходе источника.

Другой важной проблемой при разработке источников электронов является стабильная и надежная работа высоковольтного узла и прежде всего изолятора. Нами разработан ряд конструкций высоковольтного узла на основе алюмооксидной керамики 22ХС. Они обеспечивают надежную работу при напряжениях до 100-120 кВ и были использованы в ряде технологических источников электронов в промышленности.

### **Рабочие характеристики**

На основе описанных узлов были разработаны источники электронов для технологических целей и линейных ускорителей. Основные части источника показаны на рис.3. Ускоряющее напряжение может изменяться от 20-30 кВ до 100 кВ. Управление током электронов в непрерывном режиме в пределах 1-1000 мА обеспечивается управляющим напряжением до 5 кВ. Потребление мощности катодным узлом составляет 50-60 Вт. Это обеспечивает длительную работу электронной пушки без принудительного водяного охлаждения, что во многих случаях значительно упрощает эксплуатацию пушки. Рассеяние тепловой энергии осуществляется за счет нагрева деталей катодного блока пушки и объема жидкого диэлектрика, размещенного в высоковольтном вводе пушки.

Срок службы эмиттера в значительной степени зависит от вакуумных условий. В технологических источниках электронов вакуум составляет, как правило,  $10^{-2}$  и менее, срок службы не превышает 100 часов. В высоком вакууме при давлении  $10^{-3}$  Па и менее срок службы превышает 1000 часов. Сравнение поликристаллических и монокристаллических эмиттеров из гексаборида лантана показало, что в равных условиях скорость снижения эмиссионного тока последних в 3-4 раза меньше.

Формирование электронного пучка осуществляется с помощью как электростатической трехэлектродной системы, так и электромагнитной фокусировкой одиночной линзы. Они обеспечивают сходящийся пучок на выходе пушки с диаметром кроссовера менее 1 мм при токе 1 А. Указанная плотность мощности позволяет проводить такие технологические процессы, как электронно-лучевая сварка толстостенных изделий, термическая закалка деталей. Электронные пушки с описанными узлами были использованы на предприятиях авиационной промышленности.

Разработан инжектор электронов для линейного ускорителя на 10 МэВ. Энергия электронов 40 кэВ, ток пучка 2А, длительность импульса 4 мкс. Сборочный чертеж инжектора приведен на рис. 4. Конструкция источника включает выше описанный катодный и высоковольтный узлы. В настоящее время инжектор находится в стадии изготовления.

### Литература

1. V.A. Polyakov, I.S. Shchedrin. "Comparison of Characteristics of Beams, Accelerated in Electron Linacs". IEEE Trans on Nucl. Sci., v. NS-28, pp.3536-35-39, №.3, 1981.

2. В.А. Поляков. "Динамика пучков большой яркости в линейных ускорителях электронов". Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук. Московский инженерно-физический институт. - Москва, 1982.

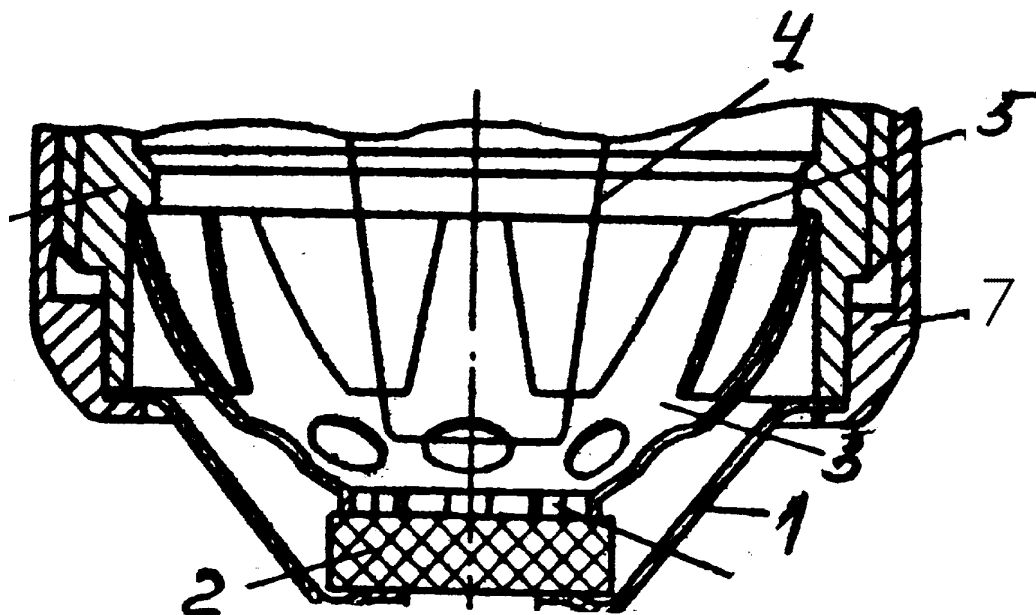
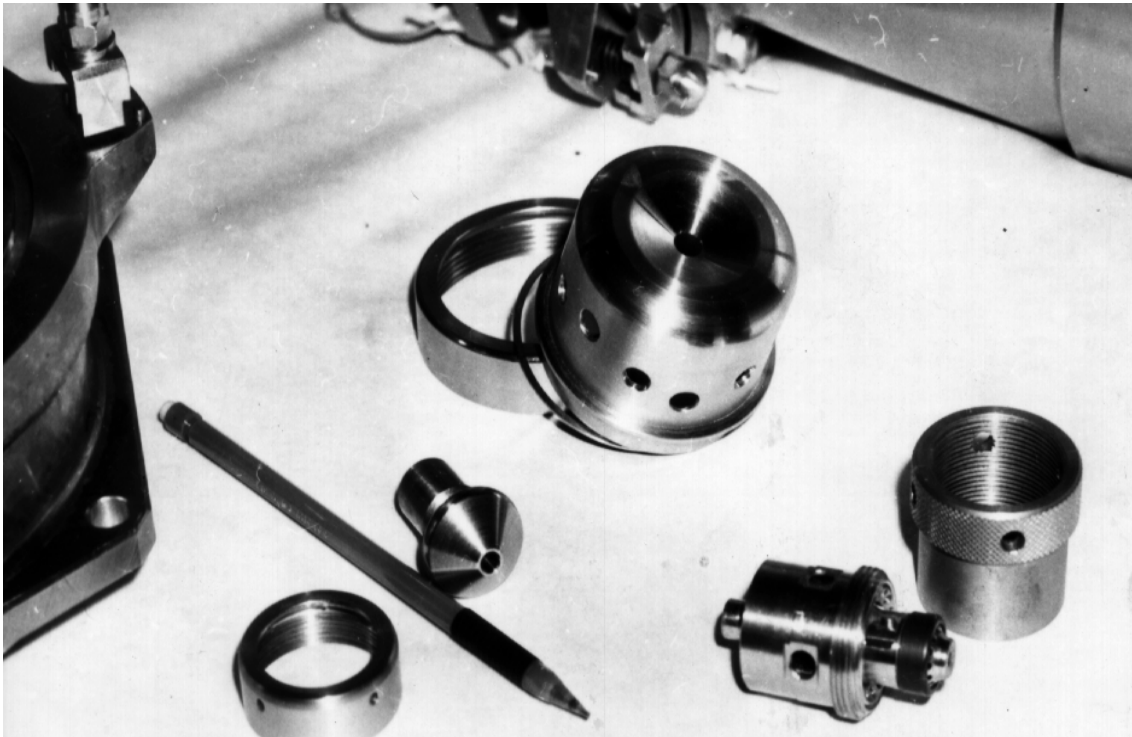


Рис.1. Схема катодного узла.



**Рис.2. Общий вид катодного узла (в сборе, справа второй) и деталей электродной системы пушки.**



**Рис.3. Основные детали высоковольтного узла источника.**

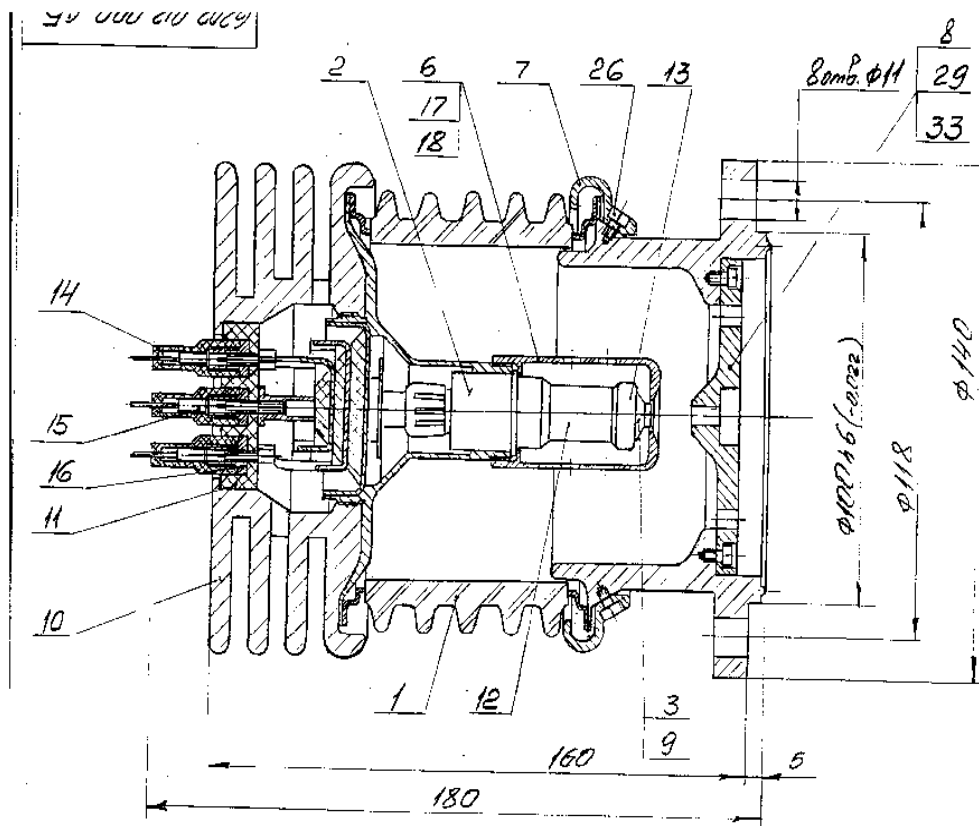


Рис.4. Сборочный чертеж источника электронов линейного ускорителя.