

ВЫБОР НАПРЯЖЕНИЯ ИНЖЕКЦИИ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕТАТРОНОВ

Л. М. АНАНЬЕВ, Ю. Н. БЕЛЪТЯЕВ, В. Л. ЧАХЛОВ

(Представлена научным семинаром кафедры промышленной электроники)

Известным и общепринятым путем повышения захваченного заряда в циклических ускорителях является увеличение напряжения инжекции. Рассматривая вопрос о повышении напряжения инжекции переносных малогабаритных бетатронов (ПМБ), необходимо иметь в виду, что на первый план ставится задача улучшения удельных габаритных, весовых и экономических показателей установки в целом.

Некоторые общие вопросы улучшения удельных характеристик ПМБ рассмотрены в [1], а элементов системы инжекции импульсного и накального трансформаторов — во [2].

В данной статье рассмотрено влияние на величину ускоряемого заряда увеличения напряжения инжекции с учетом изменения конструктивных размеров электронной пушки, вызванных изменением напряжения инжекции.

Максимальный заряд, ускоряемый в камере бетатрона, связан с геометрическими размерами установки и напряжением инжекции соотношением [3]

$$Q_0 = (0,1 \div 0,4) \cdot 10^{-11} \cdot \frac{\Delta r^2}{R_0} \sqrt{\frac{1-n}{n}} \cdot U, \quad (1)$$

где $\Delta r = R - R_0$, R — радиус инжекции, R_0 — радиус равновесной орбиты, n — показатель спадания магнитного поля, U — напряжение инжекции.

Соотношение 1 можно записать в виде

$$Q_0 = K_1 \cdot S_0 \cdot U, \quad (2)$$

где $S_0 = \pi \Delta r^2 \sqrt{\frac{1-n}{n}}$ — полезная площадь ускорительной камеры, определяемая пространственным распределением потенциальной функции магнитного поля; $K_1 = (0,1 \div 0,4) \cdot 10^{-11} \frac{1}{R_0}$ — коэффициент, не зависящий от напряжения.

В реальном случае радиальный размер полезного сечения ускорительной камеры уменьшается за счет так называемой «промашки» инжектора (рис. 1) до величины $S \sim (\Delta r - \Delta)$. При этом ускоряемый заряд равен

$$Q \sim K \cdot S \cdot U. \quad (3)$$

Относительное снижение предельного заряда, способного ускоряться в камере, или эффективность использования полезного объема камеры равна

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{S}{S_0} = \left(1 - \frac{\Delta}{\Delta r}\right)^2. \quad (4)$$

Из (4) следует, что, если «промашка» имеет один порядок с полушириной ускорительной камеры, эффективность использования полезно-

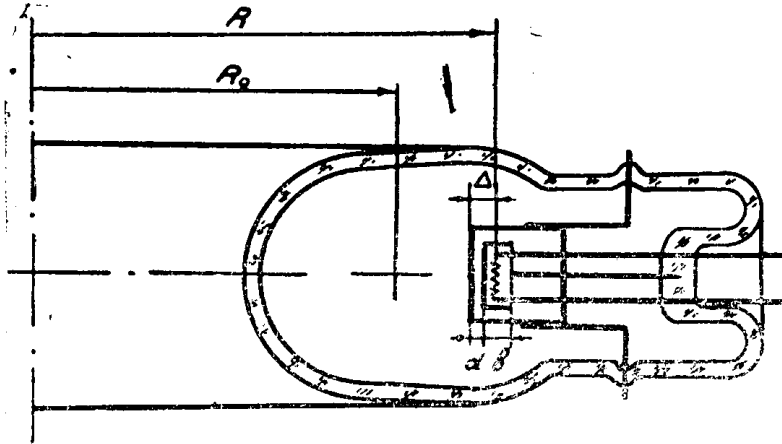


Рис. 1. Сечение ускорительной камеры

го объема ускорительной камеры существенно зависит от размера промашки Δ .

Для инжектора Керста (рис. 1)

$$\Delta = \frac{b}{2} + d, \quad (5)$$

где α — расстояние от фокусирующего электрода до анодной коробочки — связано с напряжением инжекции соотношением (4).

$$U = \beta d^\alpha. \quad (6)$$

Здесь α и β — коэффициенты, характеризующие электрическую прочность промежутка d ; $\frac{b}{2}$ — полуширина фокусирующего электрод.

Если учесть, что оптимальный первеанс пучка инжектора $P = \frac{I}{U^{3/2}}$ (5), где I — оптимальный ток инжекции, а ширину фокусирующего электрода для простоты принять равной ширине катода, то

$$\frac{b}{2} = \frac{PU^{3/2}}{jl}, \quad (7)$$

где j — плотность тока эмиссии катода, l — длина катода.

С учетом 5, 6, 7 выражение (3) может быть переписано в виде

$$Q = K_1 \left[\Delta r - \frac{PU^{3/2}}{jl} - \left(\frac{U}{\beta}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \right]^2 \cdot U. \quad (8)$$

Зависимость (8) имеет экстремальный характер, следовательно, имеется оптимальная величина напряжения инжекции, выше которого проектировать инжектор нецелесообразно, так как удельные характеристики будут ухудшаться.

На рис. 2 представлена в относительных единицах зависимость величины захватываемого заряда, подсчитанная по выражению (8), от напряжения инжекции для малогабаритного бетатрона типа ПМБ-6. Кривая 2—1 соответствует плотности тока эмиссии катода $j = 5 \frac{a}{cm^2}$, кривая

2—2 плотности $j = 10 \frac{a}{cm^2}$. Из рис. 2 следует, что величина оптимального

напряжения инжекции для камеры бетатрона ПМБ-6 с инжектором Керста при данных плотностях тока эмиссии катода лежит в пределах $40 \div 50$ кв. При инжекции с помощью внешнего инжектора с инфлектором электродная система пушки удалена из пределов полезного сечения ускорительной камеры, следовательно, если принять, что ширина пучка на выходе из инфлектора равна ширине катода, то соотношение (8) можно переписать в виде

$$Q \sim \left(\Delta r - \frac{PU^{3/2}}{jL} \right)^2 \cdot U. \quad (9)$$

Значения величины интенсивности, рассчитанные по соотношению (9) при плотности $j = 5 \frac{a}{cm^2}$, представлены на рис. 2—3. Как видно из рисунка, при этом оптимальная величина напряжения инжекции составляет

примерно 70 кв. Относительная величина захваченного заряда при этом возрастает примерно в два раза по сравнению с инжектором типа Керста, также рассчитанного на оптимальное значение напряжения инжекции.

Таким образом, из сказанного следует, что эффективность использования полезного объема ускорительной камеры бетатрона в сильной мере зависит от конструктивных особенностей инжектора, особенно снижается эффективность использования объема камер в малогабаритных бетатронах.

Действительно, для камеры бетатрона ПМБ-6 с инжектором Керста имеем $\Delta = 4$ мм, $\Delta r = R - R_0 = 15$ мм, $\frac{Q}{Q_0} = 0,54$.

Отсюда следует, что наиболее целесообразно в ускорительных камерах малогабаритных бетатронов использовать внешний инжектор с инфлектором, так как такой инжектор позволит не только увеличить оптимальное

напряжение инжекции, но и повысить эффективность использования объема ускорительной камеры, что дополнительно улучшит удельные характеристики ПМБ. Кроме того, как видно из рис. 2, повышение плотности тока с катода инжектора

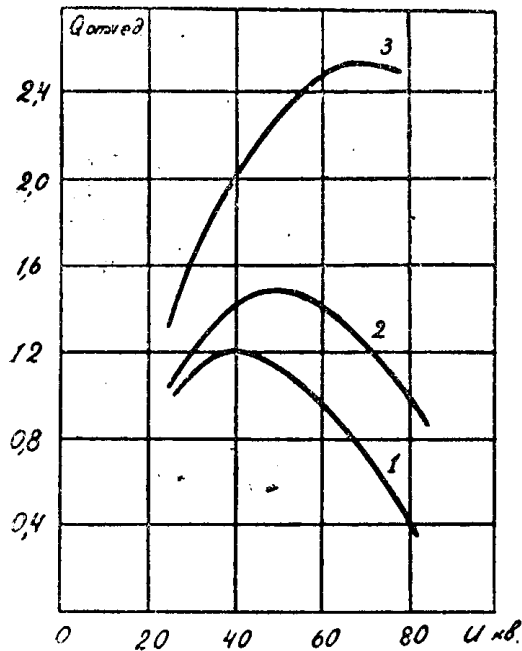


Рис. 2. Зависимость величины захватываемого заряда от напряжения инжекции: 1—при плотности тока эмиссии катода $5a/cm^2$, 2—при плотности тока эмиссии катода $10 a/cm^2$, 3— для внешнего инжектора с инфлектором при плотности тока эмиссии катода $5a/cm^2$

также улучшает коэффициент использования области существования фокусирующих сил в рабочем зазоре ускорителя и повышает величину захваченного в ускорение заряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Чахлов. Диссертация, ТПИ, 1964.
 2. Я. С. Пеккер. Диссертация, ТПИ, 1967.
 3. Л. М. Ананьев и др. Индукционный ускоритель электронов-бетатрон. Атомиздат, 1961.
 4. И. Н. Сливков и др. Электрический пробой и разряд в вакууме. Атомиздат, 1966.
 5. П. А. Черданцев. Электронные ускорители. Тр. III Межвузовской конференции, 1961.
-