

ИНЖЕКТОР И ТРАКТ ИНЖЕКЦИИ СИНХРОТРОНА НА 300 Мэв •

Л. Г. КОСИЦЫН

В синхротроне на 300 Мэв в качестве инжектора используется импульсная ускорительная трубка на 260 кВ. Ввод электронов в ускорительную камеру осуществляется с помощью электростатического инфлектора. Угол отклонения пучка в инфлекторе составляет 47° .

Конструкция ускорительной трубки приведена на рис. 1. Корпус трубки состоит из фарфорового и стального цилиндров, склеенных эпоксидным клеем. К другому концу фарфорового цилиндра приклеен дюралюминиевый катодный фланец. Длина фарфорового цилиндра составляет 30 см. Корпус трубки, снабженный электростатическими экранами, испытывался на напряжение свыше 300 кВ.

Ускоряющий промежуток, представляющий собой пушку Пирса [1], вынесен в стальной цилиндр, находящийся под потенциалом земли. Форма электродов пушки приведена на рис. 2. Катодом ускорительной трубки служит борид-лантановая таблетка диаметром 5,6 мм. При мощности накала 120 Вт ускорительная трубка дает на выходе ток 4,4 А. Осциллограмма тока приведена на рис. 3. Расходимость пучка составляет $5 \cdot 10^{-2}$ рад, диаметр пучка на расстоянии 24 см от анода не превышает 2 см.

Из ускорительной трубки электроны поступают в вакуумную камеру через тракт инжекции. Фокусирующая система тракта инжекции должна обеспечивать в вертикальной плоскости либо параллельный, либо сходящийся пучок ($\gamma_z \leq 5 \cdot 10^{-3}$ рад). Чтобы обеспечить параллельность пучка на выходе из инфлектора в горизонтальной плоскости, пучок должен иметь пересечение в точке фокуса инфлектора. Размеры поперечного сечения пучка определяются зазором инфлектора. Для избежания потерь частиц на пластинах инфлектора высота пучка не должна превышать 25 мм, а ширина — 8 мм. Описанным выше требованиям отвечает система из двух квадрупольных линз.

Схема фокусировки пучка квадрупольными линзами показана на рис. 4. В горизонтальной плоскости (X) первая линза фокусирует пучок, вторая дефокусирует. В вертикальной плоскости (Y) обратное чередование фокусировки и дефокусировки.

Расчет оптической силы линз производится методом подбора по двучленной формуле:

$$\left. \begin{aligned} q &= \frac{q_0}{\sqrt{K}} \sin \sqrt{K} l + q_0 \cos \sqrt{K} l, \\ q' &= q_0 \cos \sqrt{K} l - \sqrt{K} q_0 \sin \sqrt{K} l, \end{aligned} \right\} \text{ для фокусирующей линзы;}$$

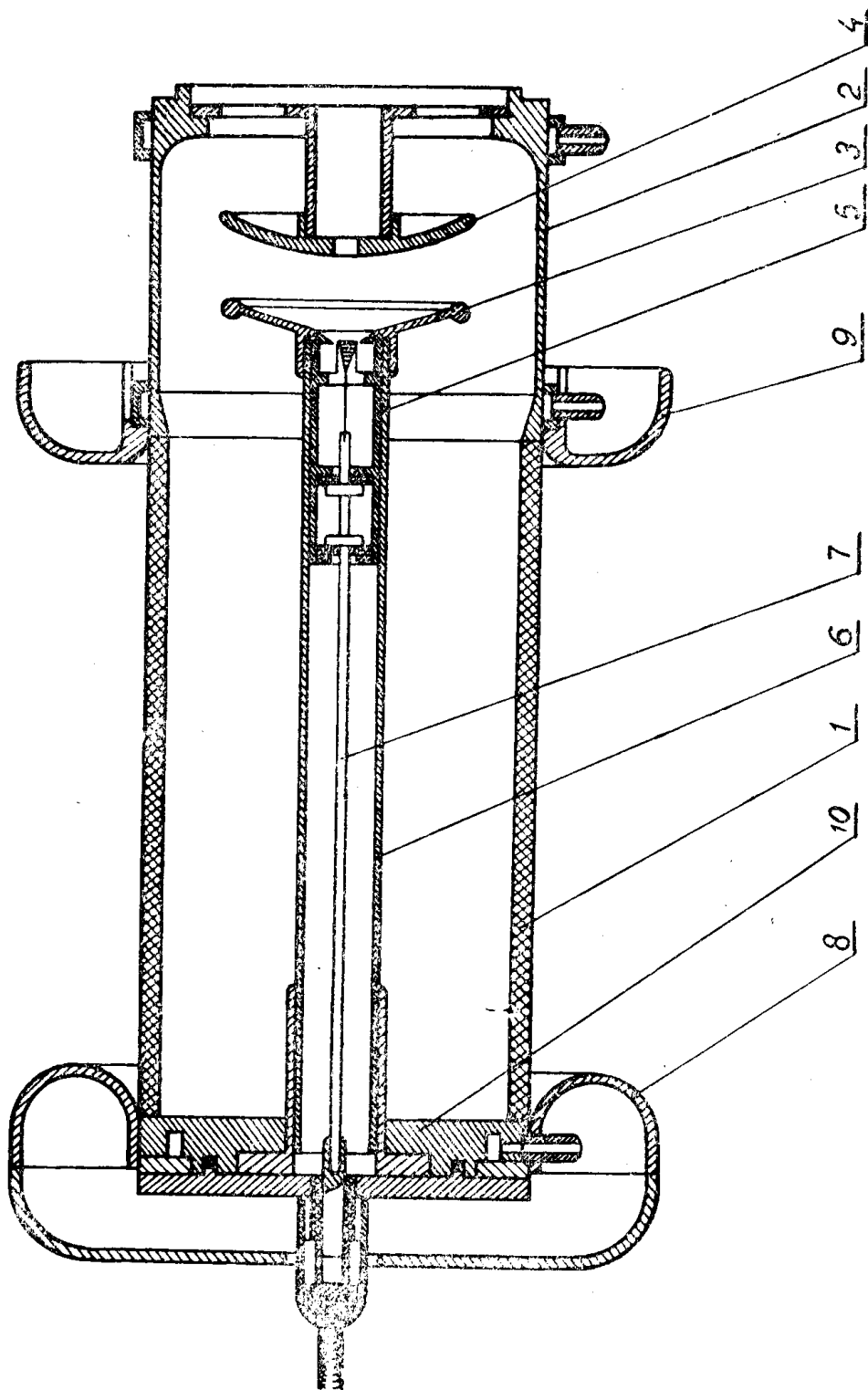


Рис. 1. Конструкция ускорительной трубки: 1 — фарфоровый цилиндр; 2 — стальной цилиндр; 3 — катодный электрод; 4 — анод; 5 — катодный блок; 6 — труба; 7 — стержень; 8 и 9 — экраны; 10 — катодный фланец

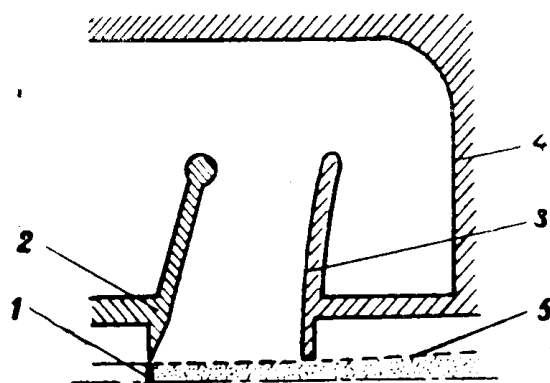


Рис. 2. Форма электродов пушки: 1 — катод; 2 — катодный электрод; 3 — анод; 4 — стальной цилиндр; 5 — граница пучка

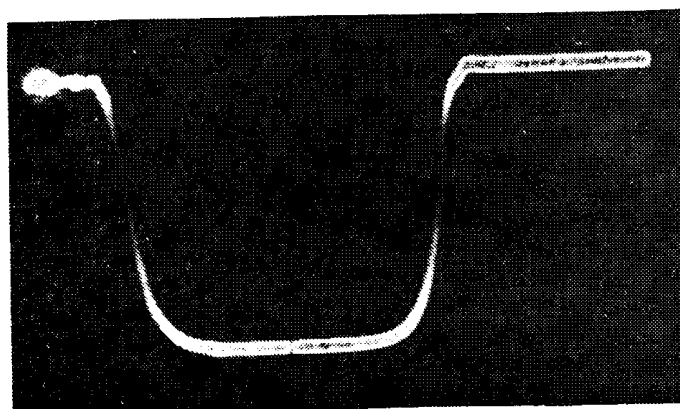


Рис. 3. Осциллограмма тока ускорительной трубки

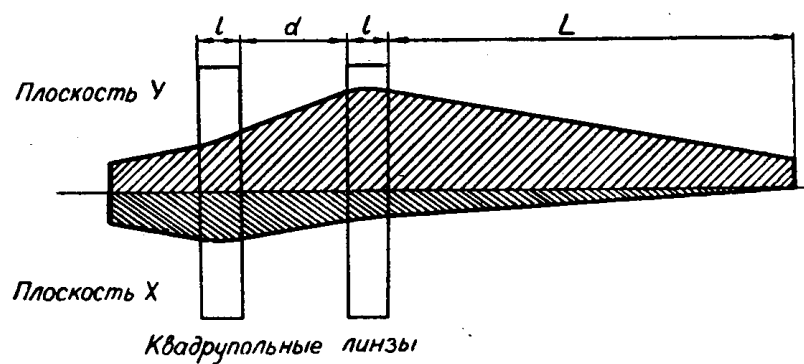


Рис. 4. Схема фокусировки пучка квадрупольными линзами

$$\left. \begin{aligned} q &= \frac{q_0'}{\sqrt{K}} \operatorname{sh} \sqrt{K} l + q_0 \operatorname{ch} \sqrt{K} l, \\ q' &= q_0' \operatorname{ch} \sqrt{K} l + \sqrt{K} q_0 \operatorname{sh} \sqrt{K} l, \end{aligned} \right\} \text{ для дефокусирующей линзы;}$$

где q_0 и q_0' — начальные значения координат и углов наклона траекторий на входе в линзу;

q и q' — координаты и углы наклона траекторий на выходе из линзы;

K — удельная оптическая сила линзы:

$$K = \frac{1}{BR} \frac{\partial B_x}{\partial Y} = \frac{1}{BR} \frac{\partial B_Y}{\partial X};$$

l — длина линзы вдоль оси.

Для заданных значений $l = 2$ см, $L = 6$ см, $q_0 = 1$ см и $q_0' = 0,025$ рад были найдены $K_1 = 0,04$, $K_2 = 0,035$ и $d = 5$ см, обеспечивающие наилучшее приближение к требуемым параметрам пучка на выходе из фокусирующей системы. Градиент магнитного поля $\frac{\partial B_x}{\partial Y} = \frac{\partial B_Y}{\partial X}$ при $K = 0,04$ и, $BR = 1380$ гссм составляет 75 гс см.

Профиль полюсов линз выполнен в виде дуг окружностей с радиусом 33 мм. Магнитодвижущая сила создается четырьмя катушками, расположенными на полюсных сердечниках. Каждая катушка содержит 1250 витков. Схема питания линз обеспечивает регулировку тока в катушках от 0 до 150 ма.

Инфлектор представляет собой цилиндрический электростатический конденсатор, выполненный в виде изогнутой дюралюминиевой коробки прямоугольного сечения. Высоковольтный электрод, находящийся внутри коробки, разделен по длине на три равные части. Каждая из частей укреплена на отдельном проходном изоляторе и питается от отдельного регулируемого источника высокого напряжения. Это позволяет производить коррекцию искажений траектории пучка в инфлекторе, вызванных магнитными полями рассеяния на прямолинейном участке. Земляная пластина инфлектора изолирована от коробки и так же разделена на три части. Каждый участок имеет самостоятельный вывод на коаксиальную фишку, смонтированную на конечной секции тракта инжекции. Пластины заземлены через сопротивление 100 ом. Наблюдение сигналов с пластин, обусловленных попаданием на них электронов при прохождении через инфлектор, позволяет производить тонкую регулировку напряжения на высоковольтных электродах.

При среднем радиусе кривизны инфлектора 35 см и зазоре 1 см расчетное напряжение на пластинах составляет 12,35 кв. Стабилизированные источники для питания пластин инфлектора выполнены на напряжение до 15 кв. Поперечное сечение инфлектора показано на рис. 5. Профиль высоковольтного электрода подобран на электролитической ванне из условия получения наибольшей протяженности рабочей области. При ширине высоковольтного электрода 40 мм рабочая область составляет 35 мм.

Для юстировки пучка используется система безжелезных сосредоточенных отклоняющих катушек, укрепленных на конечной секции тракта инжекции. Вертикальное и горизонтальное отклонение совмещено в одной и той же области. В горизонтальной плоскости система юстировки должна обеспечить компенсацию отклонения пучка

$\gamma = 0,1 \text{ рад}$, вызванного магнитным полем рассеяния. В вертикальной плоскости требования к системе юстировки в 2—3 раза ниже.

Связь между углом отклонения электронного пучка и магнитным полем имеет вид:

$$\gamma = 5,86 \cdot 10^{-2} \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta} H_0 l_0,$$

где

H_0 — напряженность магнитного поля в эрстедах;

$l_0 = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} H dl}{H_0}$ — эффективная длина катушки в метрах;

β — относительная скорость электронов.

Требуемая напряженность магнитного поля для горизонтального отклонения создается катушками, содержащими по 1000 витков. Катушки вертикального отклонения имеют витков вдвое меньше. Стабилизированные источники питания обеспечивают плавную регулировку тока в катушках от 0 до 150 мА.

Кроме электрической юстировки электронного пучка, предусмотрена механическая регулировка ускорительной трубки, линз, инфлектора и тракта инжекции в целом.

В конечной секции тракта инжекции установлены отсекающие пластины. Их назначение — осуществлять ввод частиц в ускорительную камеру в течение времени, меньшего длительности импульса напряжения инжекции. Отсекающие пластины питаются от специального импульсного генератора [2]. Длительность отпираания пучка регулируется от 0,1 до 6 мксек. В последнем случае продолжительность ввода электронов и их энергетический спектр целиком определяются импульсом ускоряющего напряжения. Малые длительности отпираания (1,1—0,2 мксек) необходимы для детального исследования движения пучка на первых оборотах [3].

Измерение тока ускорительной трубки может производиться двумя способами: с прерыванием и без прерывания пучка. Первый способ измерения осуществляется подвижным цилиндром Фарадея, второй — индукционным магнитным датчиком. Магнитный датчик представляет собой катушку из 180 витков, намотанную на кольцо из феррита Ф-250. Чувствительность датчика 3,85 мВ/мА.

Контроль формы пучка и центровки его относительно оси тракта осуществляется с помощью сетки и экрана, покрытых люминофором. Сетка расположена в начале тракта инжекции и может устанавливаться под углом 45° к оси пучка. Экран установлен на входе в инфлектор. Для прохождения пучка в экране имеется щель с размерами 36 мм по высоте и 9 мм по ширине, приходящаяся точно против рабочего зазора инфлектора. Наблюдение пучка производится через смотровые окна. Ограничение размеров пучка, вводимого в инфлектор, достигается коллиматором с регулируемыми размерами щели в двух плоскостях. Коллимирование пучка защищает инфлектор от бомбардировки.

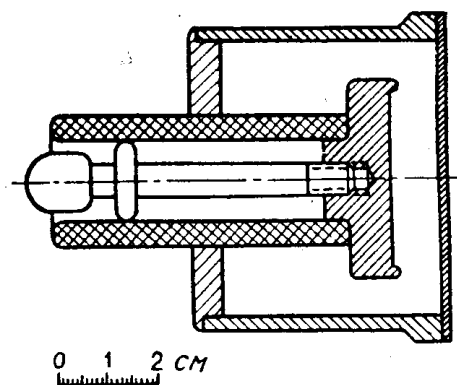


Рис. 5. Поперечное сечение инфлектора

ровки бесполезными электронами и необходимо при исследовании первых оборотов частиц в ускорительной камере. В период настройки системы фокусировки коллиматор использовался для исследования распределения плотности электронов в пучке по двум направлениям методами подвижной щели и точечного отверстия, а также для изучения угловых характеристик пучка. Измерения угловых характеристик пучка на выходе из инфлектора показали, что пучок в горизонтальной плоскости расходится под углом $5 \cdot 10^{-8}$ рад, а в вертикальной плоскости сходится под углом $3 \cdot 10^{-3}$ рад. Приведенные выше значения углов меньше допустимых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Пирс. Теория и расчет электронных пучков. 1956.
 2. Л. И. Миненко. Питание отсекающих пластин системы ввода пучка электронного синхротрона на 300 Мэв. Настоящий сборник.
 3. В. П. Анохин, В. Н. Епонешиников, Л. Г. Косицын. Коррекция магнитного поля по пучку и квазибетатронный режим в синхротроне на 300 Мэв. Настоящий сборник.
-