

С 34511

Б-442

20/xII-71

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 6081

4232/2-71



А.П.Беляев, П.И.Рыльцев

ФОКУСИРОВКА ПУЧКА В ЭЛЕКТРОНОВОДЕ
МОДЕЛИ КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ

ОТДЕЛ НОВЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ

1971

P9 - 6081

А.П.Беляев, П.И.Рыльцев

ФОКУСИРОВКА ПУЧКА В ЭЛЕКТРОНОВОДЕ
МОДЕЛИ КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Беляев А.П., Рыльцев П.И.

P8-6081

Фокусировка пучка в электропроводе модели коллективного ускорителя

Проведен расчет фокусирующей системы электропровода модели коллективного ускорителя для транспортировки пучка электронов с током 50-150 а, энергией 1,5-2,5 Мэв и значением эмиттанса 20-100 мрад.см.

Фокусировка осуществляется магнитными линзами. Приводятся графики огибающих пучка в дрейфовых промежутках, указаны величины магнитных полей на оси электропровода и расположение фокусирующих линз для различных режимов работы ускорителя.

**Сообщения Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1971**

Belyaev A.P., Ryltsev P.I.

P9-6081

**Beam Focusing in the Electron-Conductor of the
Collective Accelerator Model**

The focusing system for the electron-conductor of the collective accelerator model has been calculated for the transportation of the electron beam with a current 50-150 A, an energy - 1.5-2.5 MeV and an emittance 20 -100 mrad, cm.

Focusing is performed by means of magnetic lenses. The diagrams of the beam envelope functions in the drift intervals are given. The values of the magnetic fields at the axis of the electron-conductor and the location of the focusing lenses for various operation regimes of the accelerator are indicated.

**Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1971**

1. Введение

Важным моментом ускорения заряженных частиц методом, получившим название "коллективного", является создание плотного электронного кольца /1/. При выбранном варианте инжектора (ЛИУ-3000) и способе инъекции пучка в камеру адгезатора эта задача сводится к созданию фокусирующей системы, обеспечивающей минимальные потери частиц пучка на тракте ЛИУ-3000 - электропровод-инфлектор. Авторами проведен расчет "расплывания" пучка электронов с конечным фазовым объемом и значительной плотностью пространственного заряда. Определены наиболее целесообразные расстояния между фокусирующими линзами и величины магнитного поля в них при заданных значениях тока, энергии и эмиттанса пучка.

В качестве исходных данных при расчете движения пучка были взяты следующие его характеристики:

- 1) радиус пучка, инжектируемого в камеру адгезатора, - 1 см;
- 2) максимальный радиус пучка - 3 см;
- 3) ток инъекции 50, 100, 150 а;
- 4) релятивистский фактор $\gamma = 4,6$.

2. "Расплывание" дрейфующего пучка

Согласно [2-3], движение пучка заряженных частиц в пространстве свободного дрейфа ведет к увеличению его поперечного размера. Уравнение для огибающей аксиально-симметричного пучка имеет вид [2]:

$$\frac{d^2 r}{d z^2} - \frac{F^2}{r^3} - \frac{a^2}{r} = 0, \quad (1)$$

где

$$a^2 = \frac{2 \cdot J}{m_0 c^2} \cdot \frac{1}{\beta^3 \gamma^3}; \quad \gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} = (1 - \beta^2)^{-1/2},$$

J - ток пучка, F - эмиттанс пучка.

Если рассматривать движение пучка от точки кроссовера, то начальные условия записываются в виде:

$$r(0) = r_0, \quad r'(0) = 0,$$

где r_0 - радиус пучка в кроссовере.

Первый интеграл уравнения (1) имеет следующий вид:

$$\frac{2F}{r_0^2} z = \int_{r_0}^{(r/r_0)^2} \frac{dx}{\sqrt{x + \xi \ln x - 1}}, \quad (2)$$

где

$$\xi = \left(\frac{a r_0}{F}\right)^2.$$

Уравнение (2) дает возможность вычислить увеличение поперечных размеров электронного пучка в дрейфовом промежутке в зависимости от тока, энергии и эмиттанса пучка, если задан поперечный размер пучка в точке кроссовера.

Вычисленные огибающие пучка при $r_0 = 1$ см приведены на рис. 1-5. Цифра перед графиком - значение эмиттанса в мрад.см. Из рисунков видно, что в указанных выше пределах изменения параметров пучка форма огибающей не критично зависит от величины тока и определяется, в основном, значением эмиттанса.

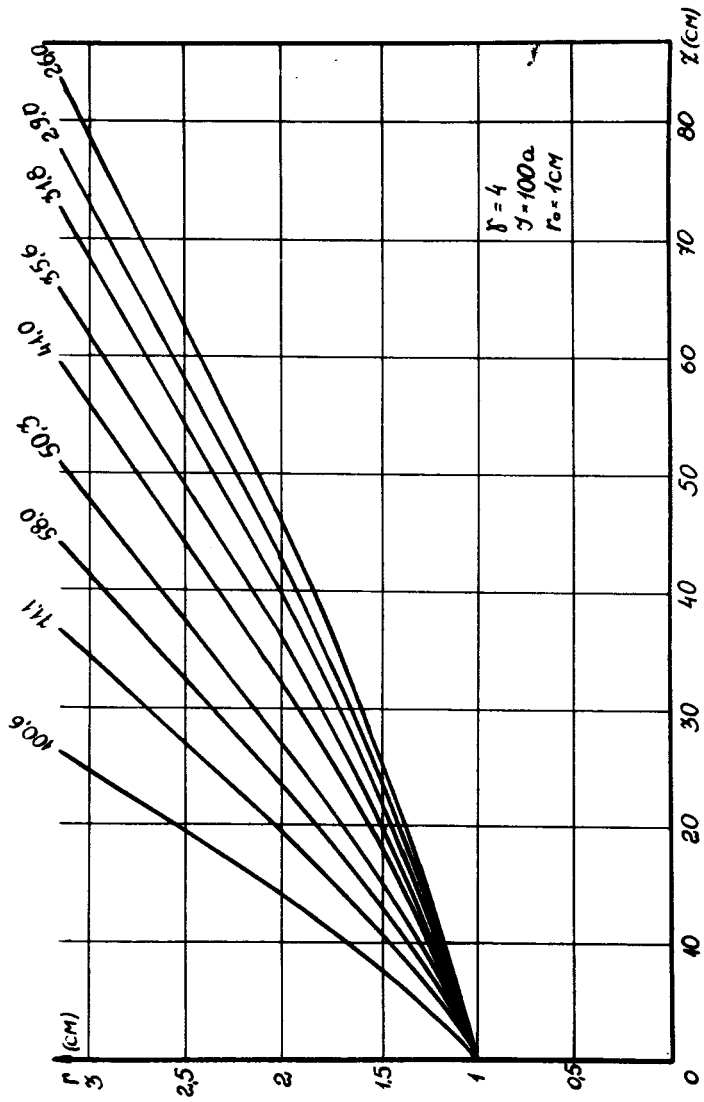


Рис. 1

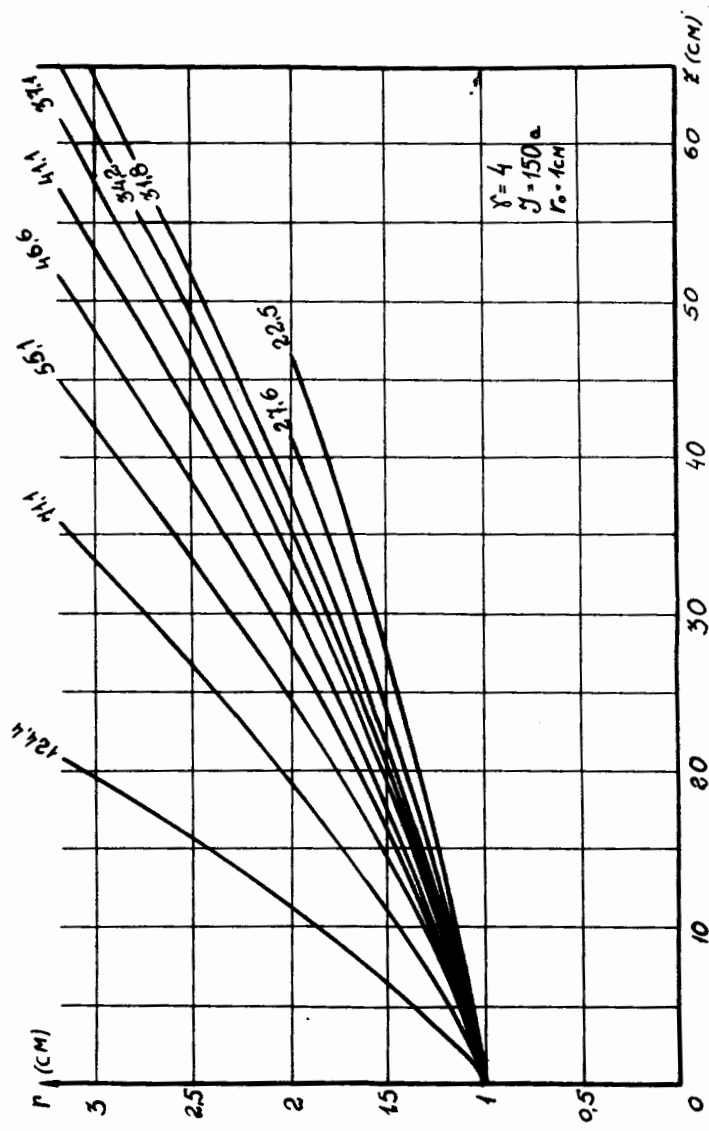


Рис. 2

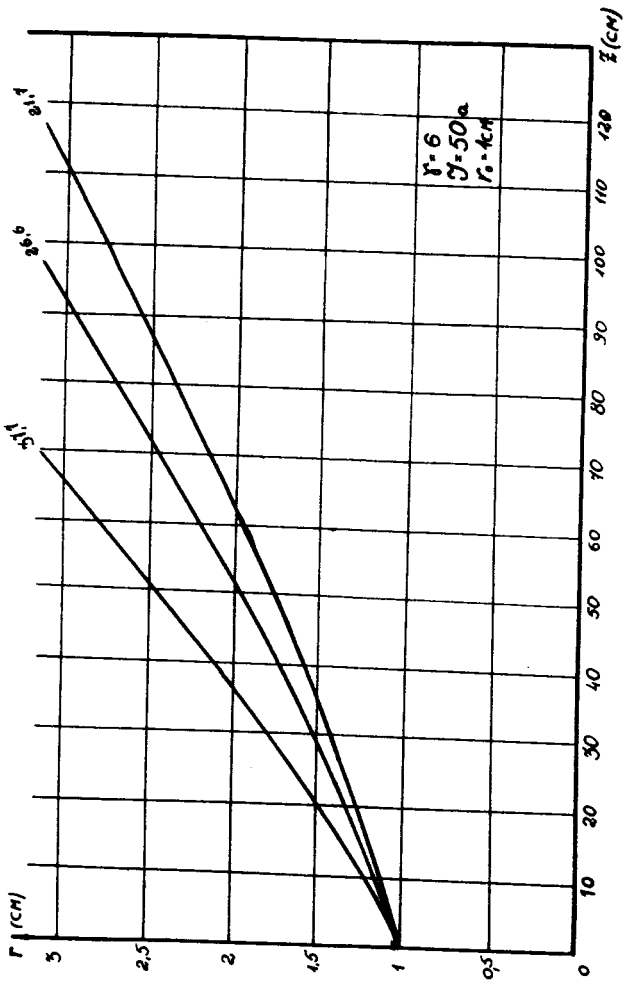


Рис. 3

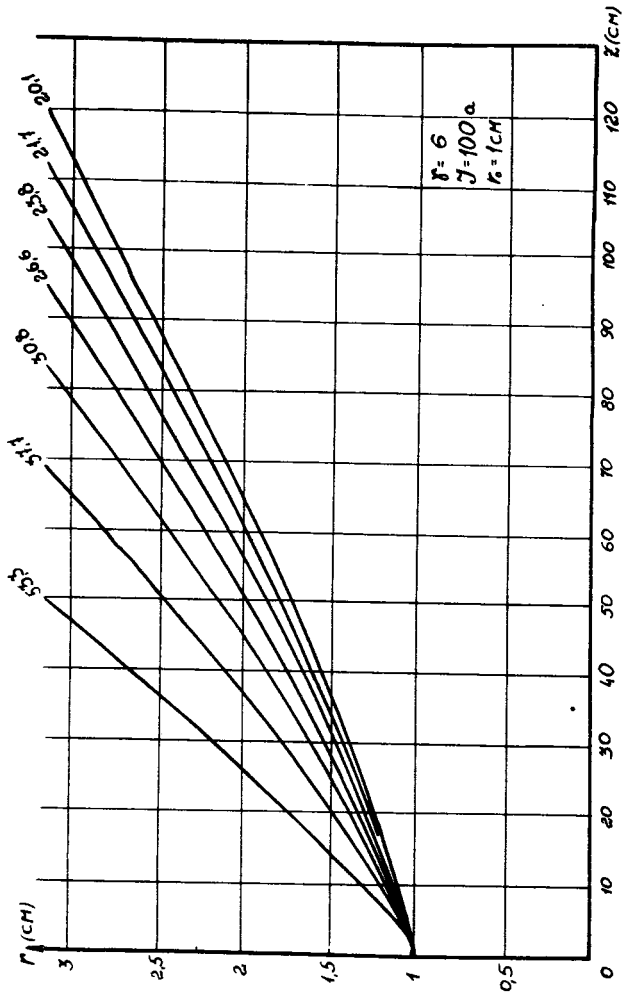


Рис. 4

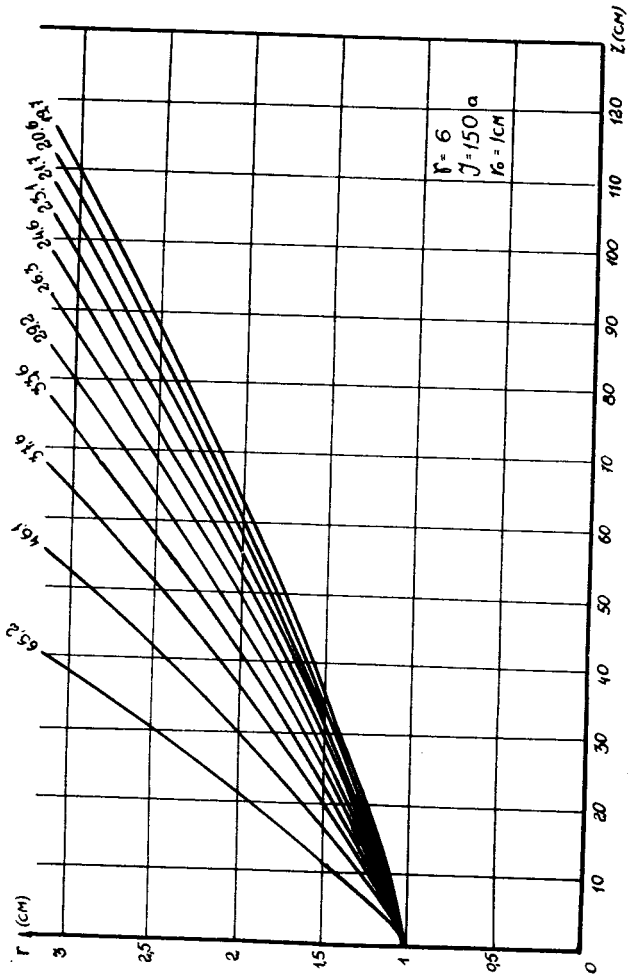


Рис. 5

Расчет фокусирующей системы линз

При расчете будем считать линзы тонкими. Как известно, для того чтобы частицы вышли из линз под тем же углом, под которым вошли, необходимо, чтобы оптическая сила линзы $k = f^{-1}$ (f - фокусное расстояние линзы) подчинялась следующему условию:

$$k = \frac{2r'}{r}, \quad (3)$$

где r - радиус пучка

$$r' = \frac{dr}{dz}.$$

В рассматриваемых случаях характерное расстояние действия поля линзы (ℓ) принималось равным 10 см. При этом в области, где r меняется от 1 до 3 см, $f = k^{-1} = (6+10)\ell/2$. Этим и оправдывалось рассмотрение тонких линз.

Оптическая сила линзы связана с величиной магнитного поля соотношением ^{/4/}:

$$k = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} B^2 dz}{4(B\rho)^2}, \quad (4)$$

где $(B\rho)$ - энергия частиц пучка в гаусс.см.

Из выражения (4) можно найти величину магнитного поля линзы:

$$B = 2(B\rho) \sqrt{\frac{k}{\ell}}, \quad (5)$$

где B - среднее магнитное поле линзы в гауссах; ℓ - характерное расстояние действия поля линзы.

Величины магнитного поля B в зависимости от места установки линзы при определенных значениях тока, эмиттанса и энергии пучка приведены на рис. 6-10. Расстояние z отсчитывается от точки кроссовера.

Расчет фокусирующей системы электропровода удобно вести от точки инжекции. С этой целью необходимо задать энергию, ток и эмиттанс электронного пучка, инжектируемого в адгезатор, поместить кроссовер пучка в точку инжекции и задать радиус поперечного сече-

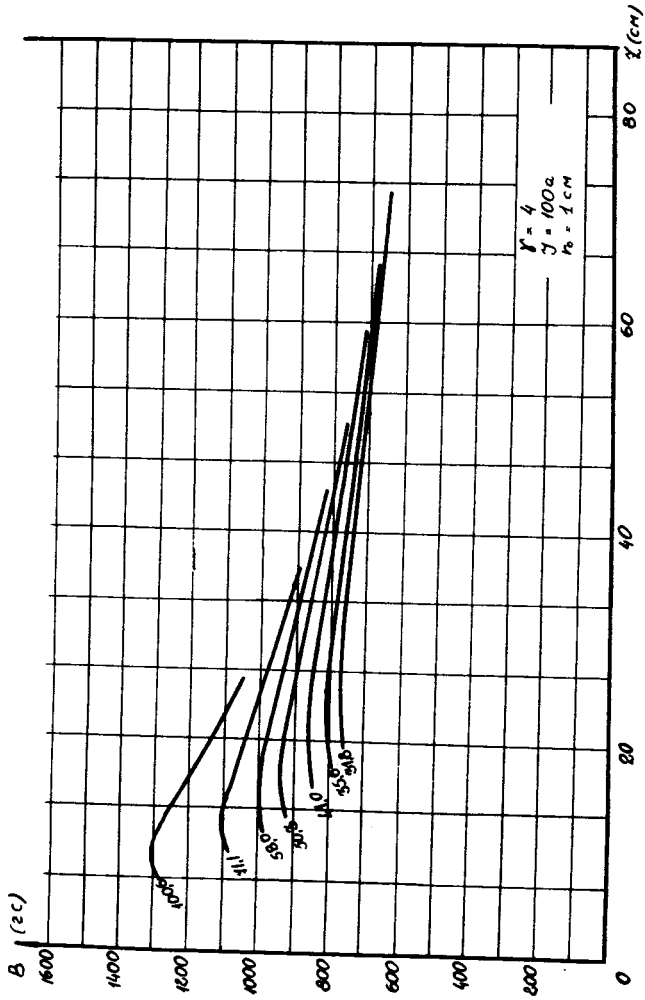


Рис. 8

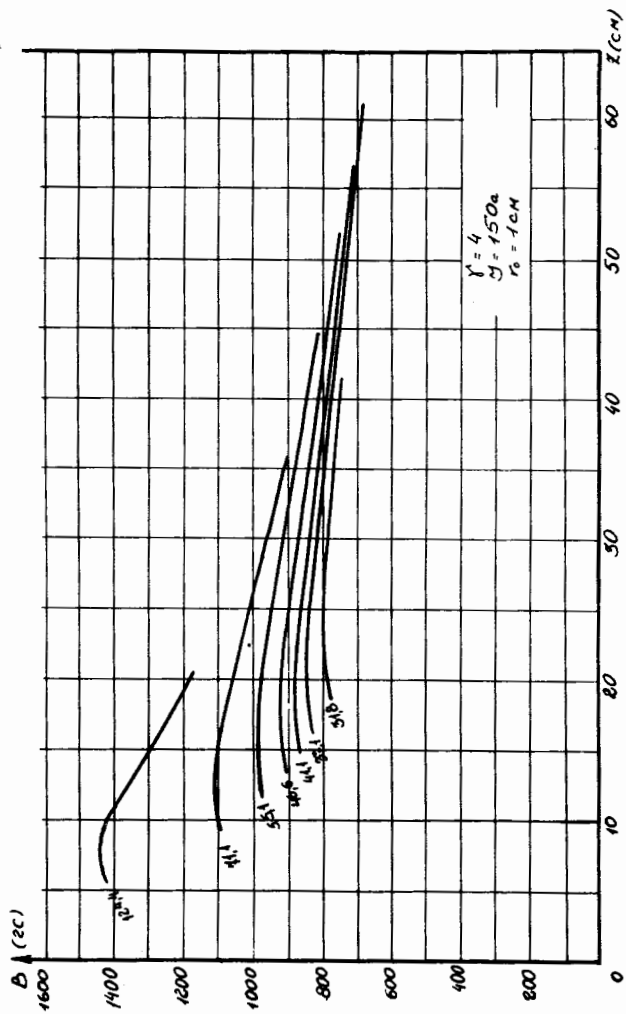


Рис. 7

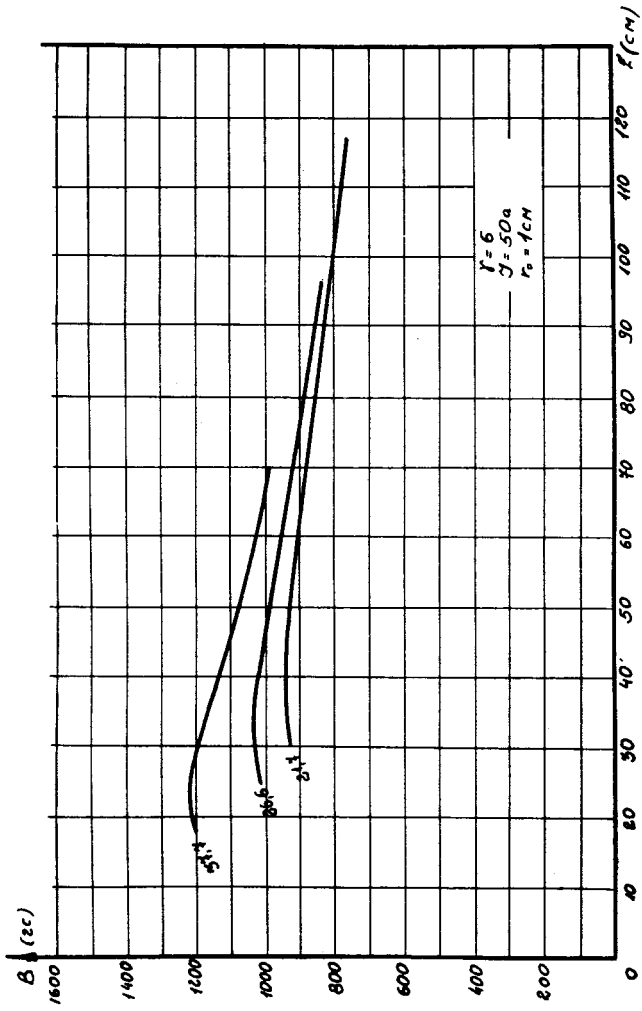


Рис. 8

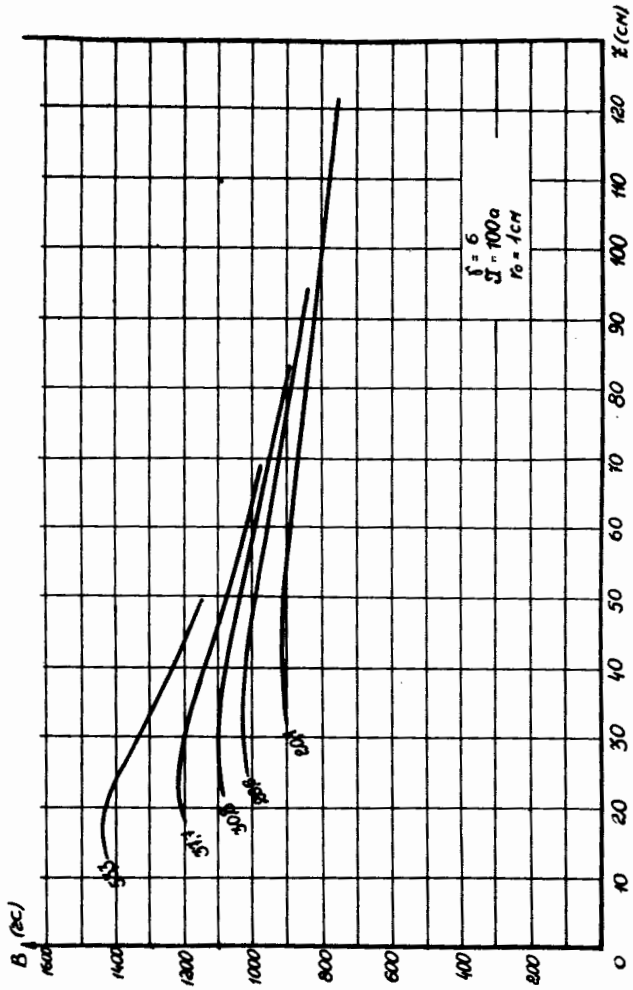


Рис. 9

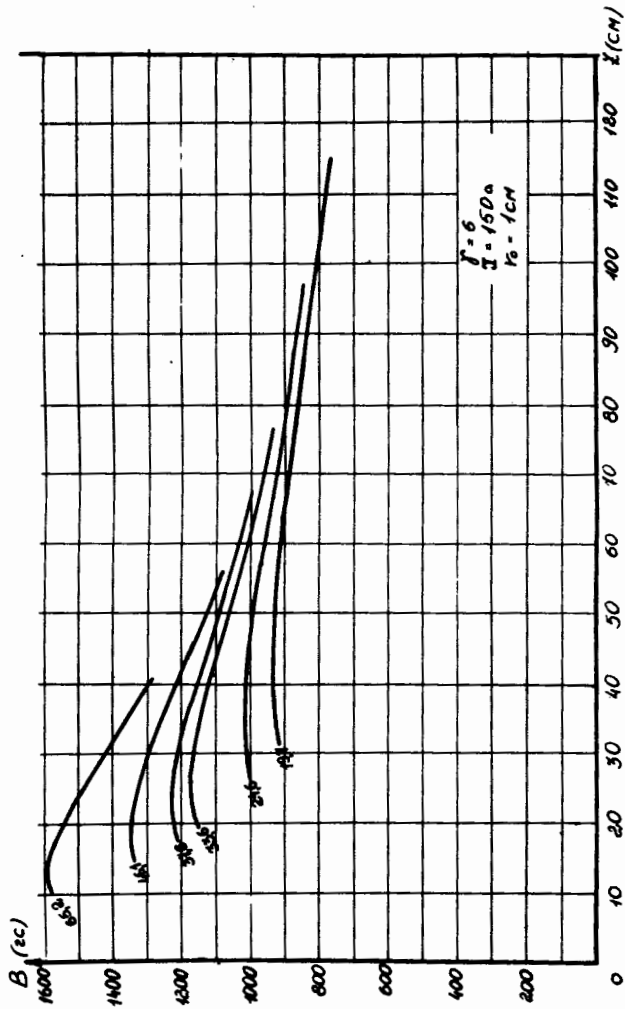


Рис. 10

ния пучка в кроссовере. Ограничивая расхождение пучка определенным радиусом, из рис. 1-5 можно определить расстояние от последней линзы электропровода до точки инъекции (L), а также расстояния между остальными фокусирующими линзами ($2L$).

Величины магнитных полей в зависимости от положения фокусирующих линз и параметров пучка приведены на рис. 5-10.

При определенной конструкции сопла инжектора и заданных энергии и тока пучка можно определить предельное значение эмиттанса, при котором электронный пучок будет инжектироваться без потерь. В случае, когда эмиттанс пучка больше предельного для данной апертуры сопла инжектора, величина тока, инжектируемого в адгезатор, уменьшится в отношении $(r/r_0)^2$, где r_0 - радиус выходного отверстия сопла инжектора, а r - радиус поперечного сечения пучка в точке инъекции. В существующей модели коллективного ускорителя расстояние от точки инъекции до последней фокусирующей линзы составляет 70 см, диаметр выходного отверстия сопла инжектора - 2 см, а энергия и ток пучка равны соответственно 1,5 Мэв ($\gamma = 4$) и 100 а. Из рис. 1 находим, что эмиттанс пучка не должен превышать 31 мрад.см (при изменении радиуса пучка на пути от последней линзы до точки инъекции в адгезатор в 3 раза).

Из рис. 6 видно, что магнитное поле на оси линзы должно быть порядка 650 гаусс. Увеличение эмиттанса или уменьшение амплитуды колебаний радиуса пучка приводит к необходимости более частой расстановки фокусирующих линз (см.рис. 1-5).

В заключение авторы выражают благодарность Н.Б.Рубину, А.Б.Кузнецову и В.А.Прейзендорфу за полезные дискуссии.

Л и т е р а т у р а

1. В.И. Векслер, В.П. Саранцев и др. Препринт ОИЯИ, Р9-3440-2, Дубна, 1967 г.
2. И.М. Капчинский. Радиотехника и электроника. 1963, 8, 6, 985.
3. I.M. Kapchinsky, V.V. Vladimirsky. Intern. Conf. on High-Energy Accelerators and Instrumentation, 274-288, CERN, 1959.
4. В. Косслет. Введение в электронную оптику. Изд.ин.лит., Москва, 1950.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 октября 1971 года.