

С 345с + С 345е3

Б-907

Булаковский

4326/82

В. Н. и др.



Б 2-9-82-523.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-9-82-523

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1982

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

Лаборатория вычислительной техники и автоматизации

В.Н.Булдаковский, Е.П.Жидков, И.Б.Иссинский, Е.М.Кулакова,  
С.А.Новиков, Е.А.Матюшевский, Р.В.Полякова, О.Н.Цисляк

52-9-82-523

КВАДРУПОЛЬНАЯ ЛИНЗА КАНАЛА БЫСТРОГО  
РЕЗОНАНСНОГО ВЫВОДА ЛУЧКА ИЗ СИНХРО-  
ФАЗОТРОНА

Булдаковский, В.Н.  
И.Б.Иссинский  
.. 06. 07. 82

Дубна, 1982г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

## А Н Н О Т А Ц И Я

Для увеличения интенсивности пучка быстрого вывода из Синхрофазотрона перед септум-магнитом требуется установка горизонтально-фокусирующей квадрупольной линзы. Приведен расчет конфигурации обмоток линзы и определены требования к ее конструкции.

Особенности работы пузырьковых камер, связанные с низкой интенсивностью поступающего на них пучка, определили проектные параметры второго направления резонансного вывода пучка из Синхрофазотрона /1/. Внутренняя система транспортировки пучка этого канала имеет одну неподвижную ступень (рис. 1). Снижение интенсивности производится за несколько этапов, главным из которых является дефокусировка пучка в септум-магните с сильным радиально-дефокусирующим градиентом.

Некоторые задачи потребовали, однако, значительного повышения интенсивности пучка быстрого вывода для экспериментов, проводимых на пузырьковых камерах. Кроме того, увеличение интенсивности пучка этого направления позволит проводить новые эксперименты на средних энергиях при медленном выводе.

Для выполнения данного требования были произведены расчеты, показавшие возможность получения в канале интенсивного пучка высоких энергий при его фокусировке в горизонтальной плоскости на участке расположения септум-магнита, где может быть установлена фокусирующая линза.

Численные расчеты траекторий, выполненные по программе DEFORM /2/, показали, что можно при поле ускорителя 1,0 Т подобрать такой режим линзы, когда пучок с импульсным разбросом  $\Delta p/p = \pm 2 \cdot 10^{-4}$ , попадающий при возбуждении резонанса в отклоняюще-фокусирующую систему, имеет горизонтальный размер на азимуте оси окна № 10-4 см, а оси окна № 12-15 см. С учетом возможности работы при максимальных полях ускорителя градиент в линзе, длиной 0,5 м должен составлять 7,4 Т/м. Полоса линзы приняты плоскими. Такая конструкция значительно упрощает технологию изготовления.

На рис. 2 приводится схематическое изображение линзы быстрого вывода (ЛБВ), форма которой выбрана таким образом, чтобы свести к минимуму потери пучка на ее магнитопроводе и обмотке. Конструктивные особенности линзы приводят к тому, что поле в ней не будет в действительности линейным. Поэтому в настоящей работе проводится численный анализ магнитного поля ЛБВ различных конфигураций магнитопровода и токонесущих частей с целью выбора оптимального распределения градиента  $G_y(x)$  и расширению ее рабочей области.

Численный анализ проводился на основании метода конечных разностей /3/ численного решения нелинейной краевой задачи для уравнения Пуассона, которым /4/ описывается магнитное поле двумерных нелинейных магнитостатических систем. Конечно-разностный метод численного анализа магнитостатических нелинейных систем реализован в комплексе программ LATTICE-POISSON, математические аспекты которых описаны в работах /5/.

Уравнение Пуассона в декартовой системе координат для плоского случая имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -4\pi j(x, y), \quad (I)$$

где  $\mu$  ( $|\text{grad } A|$ ) - магнитная проницаемость ферромагнитной среды. Расчетная область приведена на рис. 3. Зависимость  $\mu$  ( $|\text{grad } A|$ ) задавалась таблично, график этой зависимости приводится на рис. 4. В качестве граничных условий для потенциала  $A$  были выбраны следующие условия:

$A = 0$  на внешней границе  $\Gamma$

$$\frac{\partial A}{\partial n} = 0 \text{ на медианной плоскости } \Gamma$$

На внутренних границах раздела областей выполнялось условие сопряжения:

$\vec{t} \cdot \text{grad}(A)$  и  $\frac{1}{\mu} (\vec{n} \cdot \text{grad}(A))$  - непрерывны;

$\vec{t}$  - вектор касательной к поверхности железа;

$\vec{n}$  - вектор нормали к медианной плоскости.

Разностный аналог уравнения (I) вычисляется на нерегулярной треугольной сетке, которая строится программой LATTICE на основании логической диаграммы заданной геометрии магнита. Построенная нерегулярно треугольная сетка изображалась на экране терминала, что позволяло выбрать наиболее оптимальную сетку для заданной конфигурации магнита. На рис. 5 приводится один из рабочих вариантов логической диаграммы рабочей области магнита.

Потенциал и поле ЛБВ рассчитывались с использованием системы программ POISSON. Численные расчеты показали, что наилучшее распределение  $G_y(x)$  получается в том случае, если в конфигурации ЛБВ отсутствуют зазоры между токонесущими частями и магнитопроводом (кривая 1, рис. 6). Однако такая конструкция практически нереальна, так как необходимо место для электрической изоляции. В связи с этим были рассчитаны варианты конфигураций, когда существует зазор только между токонесущими частями и между магнитопроводом и токонесущими частями. Оптимальное распределение  $G_y(x)$  для каждого из этих случаев представлено кривыми 2 и 3, соответственно. Расчетные распределения  $G_y(x)$  разлагались в степенные ряды:

$$G_y(x) = G_0 + G_1 x^2 + G_2 x^4 + G_3 x^6 + \dots \quad (2)$$

и в таком виде использовались в дальнейшем для расчета траекторий по программе DEFORM. Эти расчеты показали, что влияние нелинейностей распределения поля в линзе на размер пучка незначительно: для принятого импульсного разброса горизонтальный размер пучка на

выходе из ускорителя увеличивается на  $\sim 10\%$ .

На рис. 7 приведен график измеренного магнитного поля в зазоре и на краю линзы.

Оценки, сделанные в соответствии с полученными результатами, показывают, что интенсивность пучка в канале быстрого вывода должна возрасти на несколько порядков.

Расчет сечения проводников обмотки ЛБВ

1. Расчет рабочего тока (в импульсе):

$$NI = Ga^2/2 \mu_0 = 7,4 \cdot 0,045^2 / 2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} = 5,83 \text{ кА} \approx 6 \text{ кА}$$

Учитывая возможность в дальнейшем изменения и отработки новых режимов, следует взять коэффициент запаса равным 2, таким образом, при  $N = 1$ ,  $I = 12 \text{ кА}$ .

2. Среднее значение тока (для полуволны синусоиды длительностью  $t_n = 6 \text{ мс}$ ):

$$I_{\text{ср.}} = \frac{I}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{t_n}{t_n}} = \frac{12 \cdot 10^3}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{6 \cdot 10^{-3}}{9}} = 200 \text{ А}$$

Сечение обмотки при  $j = 1 \text{ А/мм}^2$  (медь, без принудительного охлаждения):

$$S = 200 \text{ мм}^2 \approx 14 \times 14 \text{ мм}^2.$$

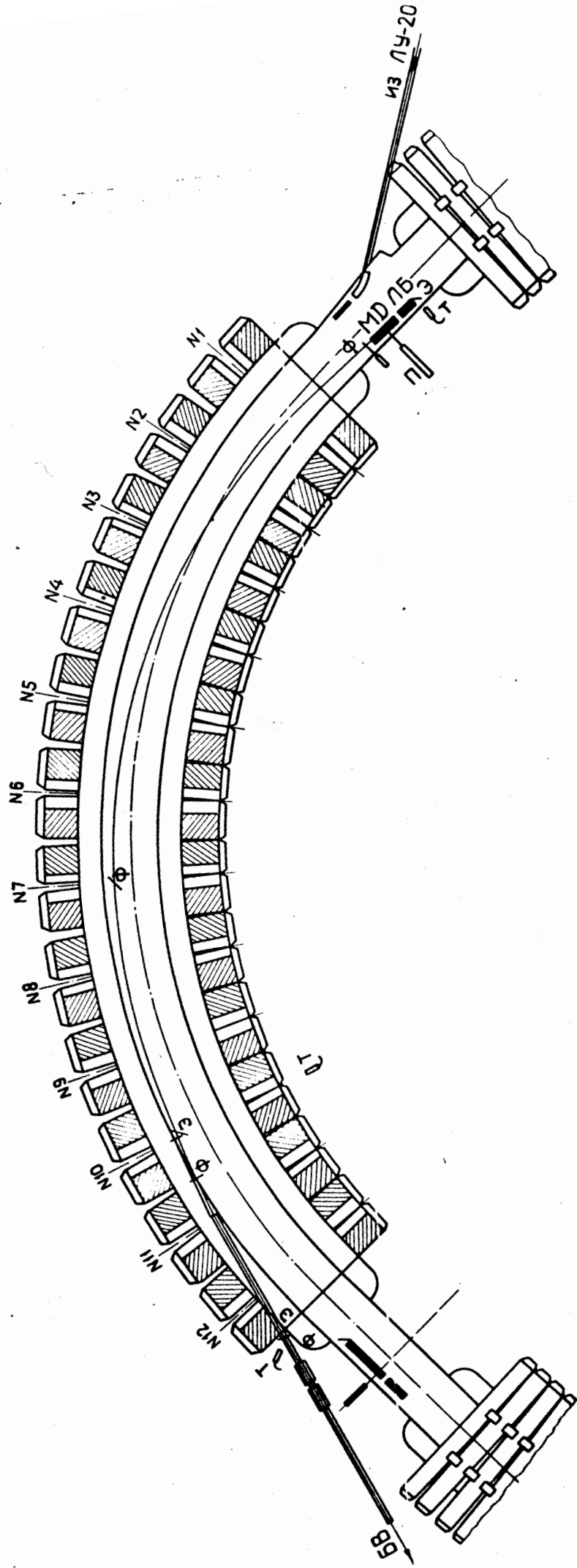
3. Магнитопровод и, соответственно, габариты (по конструкторским соображениям):

$$h \times b \approx 240 \times 140 \text{ мм}^2.$$



Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г.А.Боков и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-10399, Дубна, 1977.
2. Б.В.Василишин, Е.М.Кулакова, В.А.Михайлов. Сообщение ОИЯИ, 9-7670, Дубна, 1974.
3. В.Вазов, Дж.Форсайт. Разностные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных. И.Л., М., 1963.
4. Г.Брехна. Сверхпроводящие магнитные системы. "Мир", М., 1976.
5. POISSON Group Programs. Use's Guide, CERN, 1975.



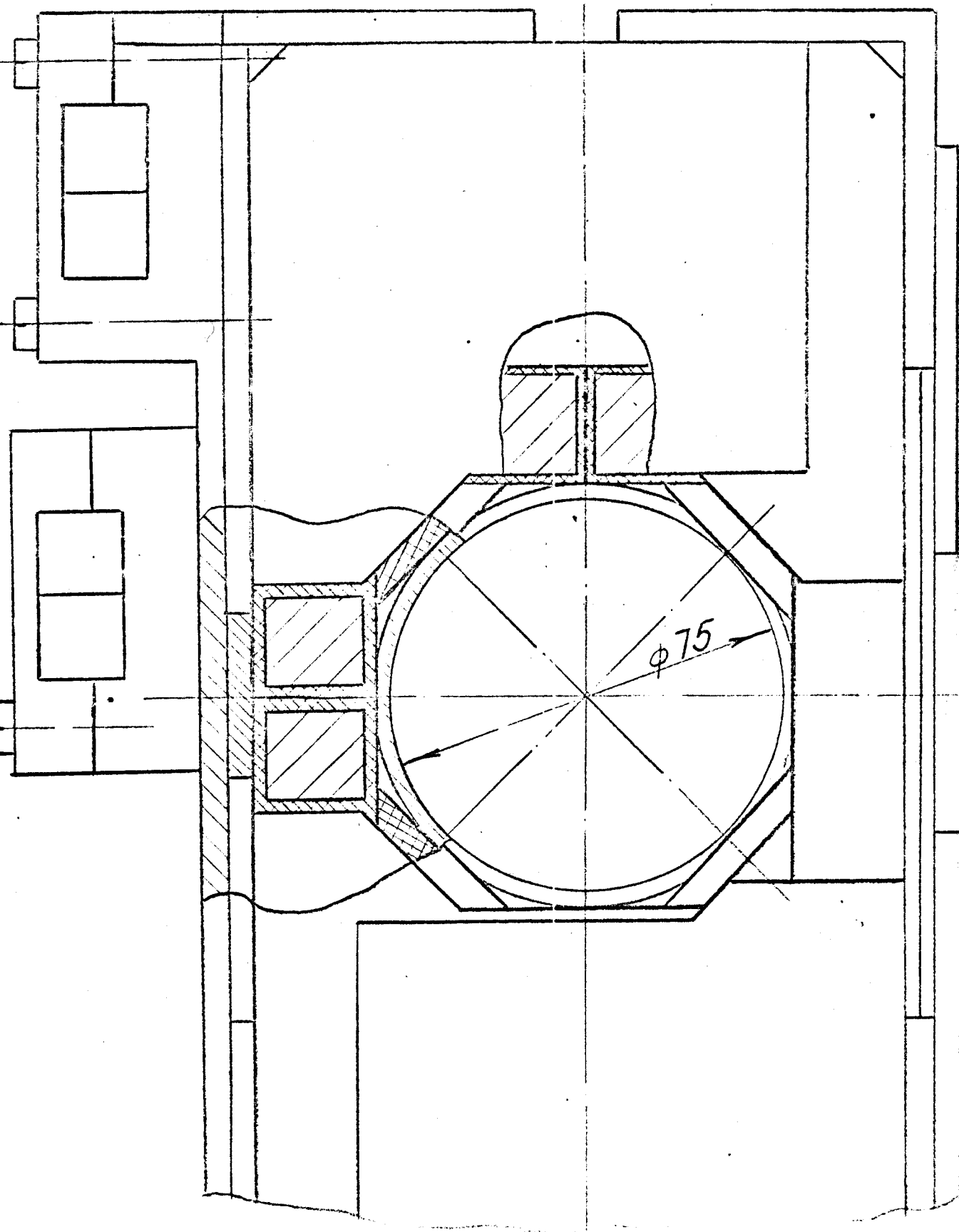


Рис. 2. Поперечный разрез квадрупольной линзы ЛВЗ.

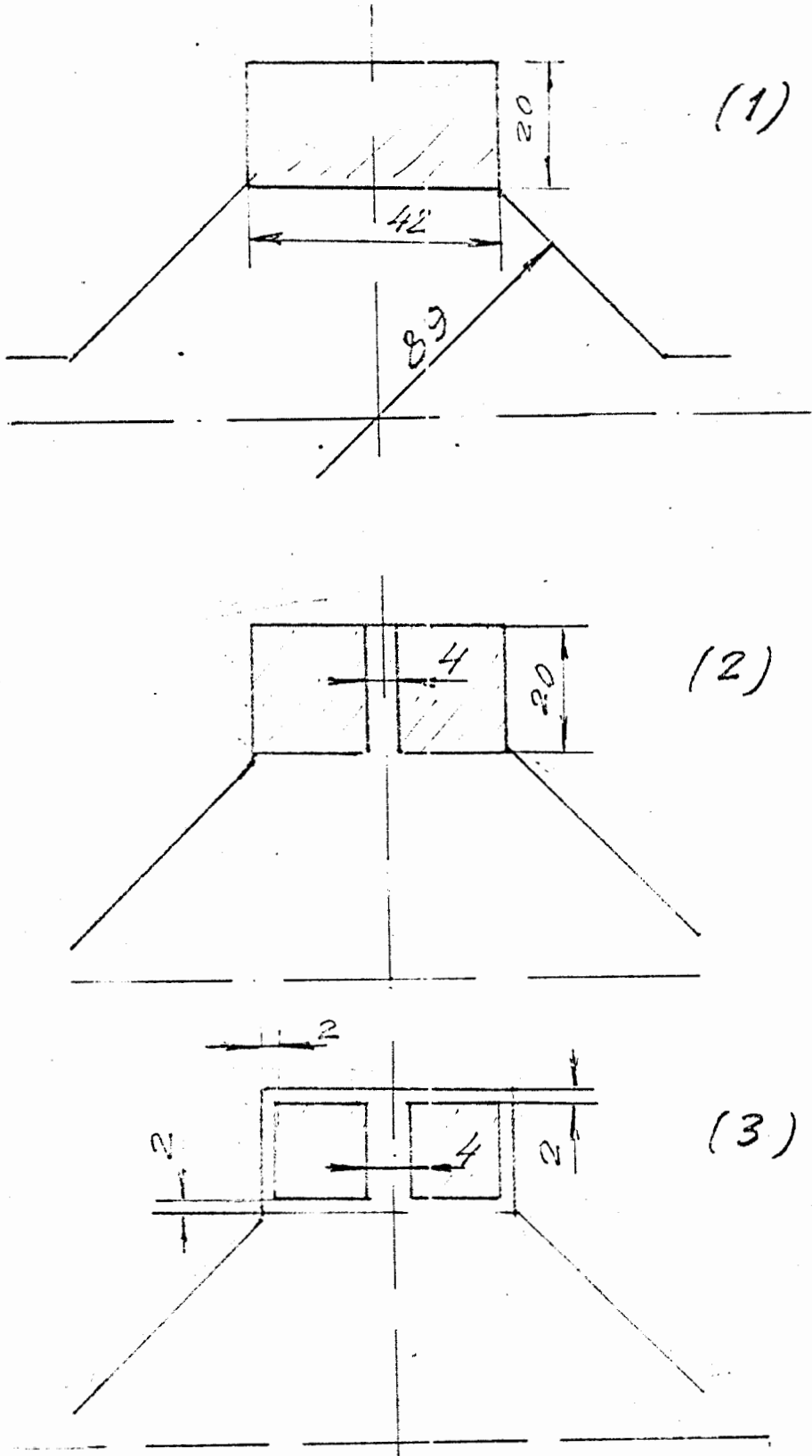


Рис. 3. Варианты расположения проводников обмотки в зазоре линзы.

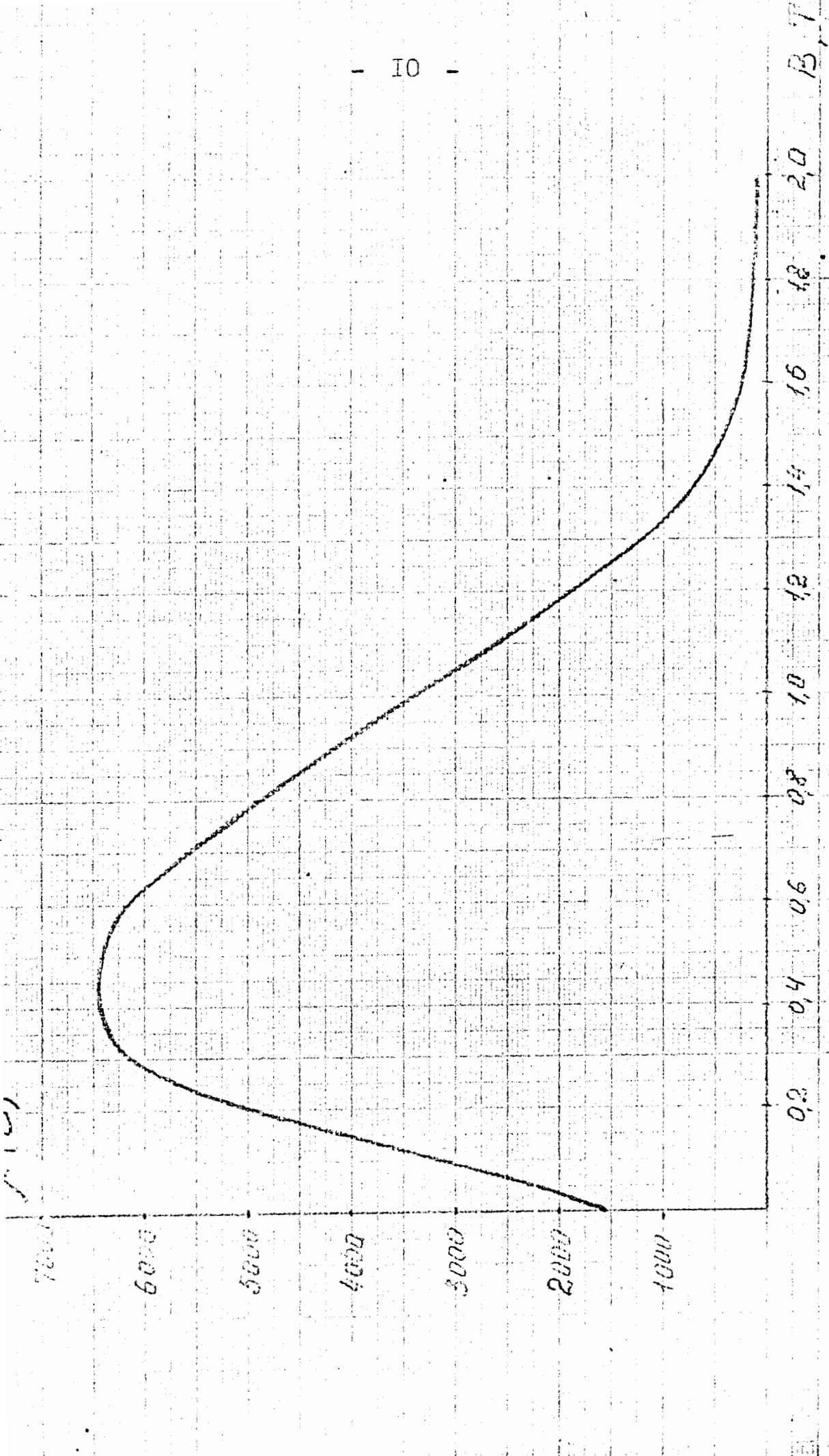


Рис. 4. Магнитная проницаемость  $\mu(B)$  для электротехнической стали.

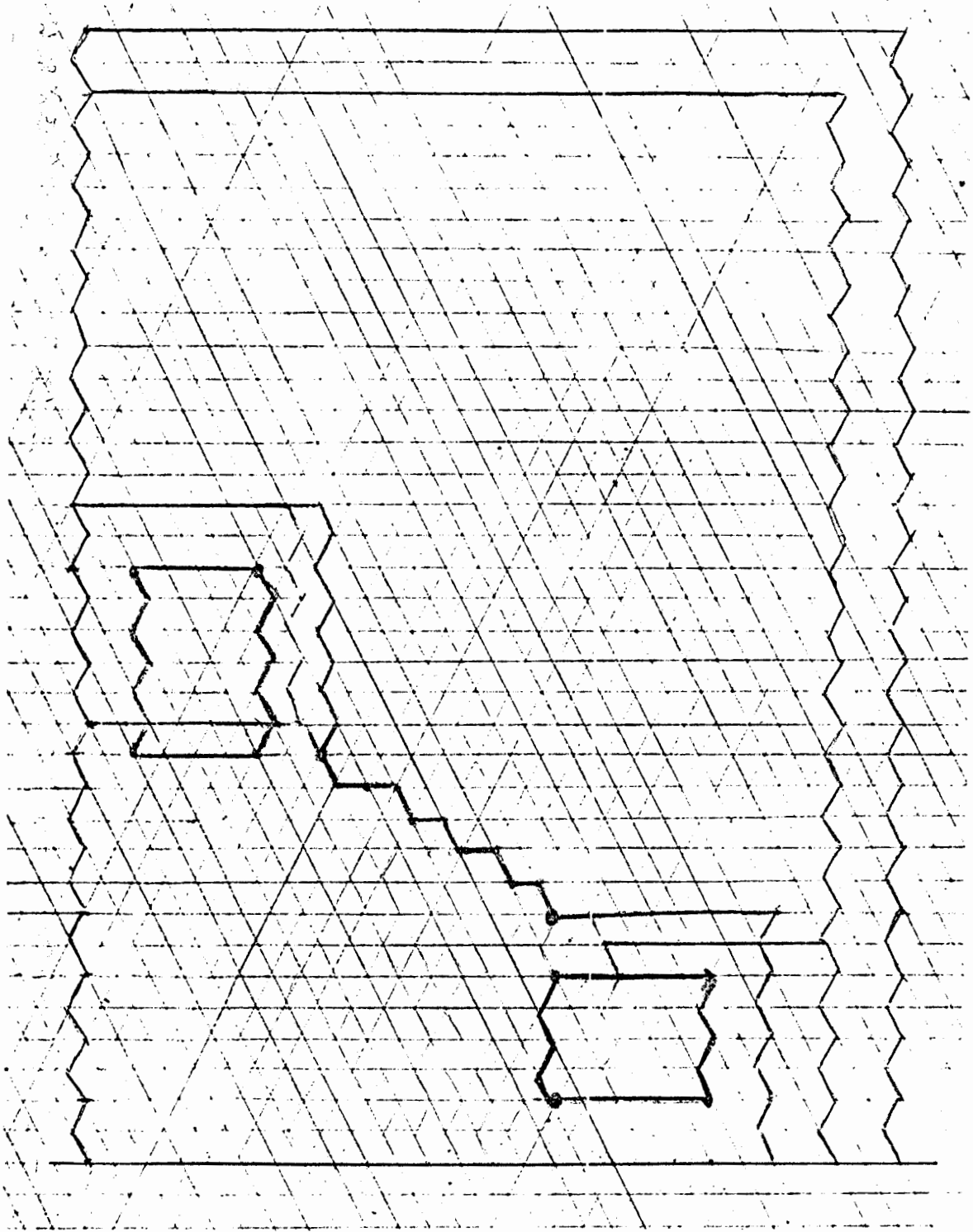


Рис. 5. Логическая диаграмма расчетной области линзы.

$G, T/m$

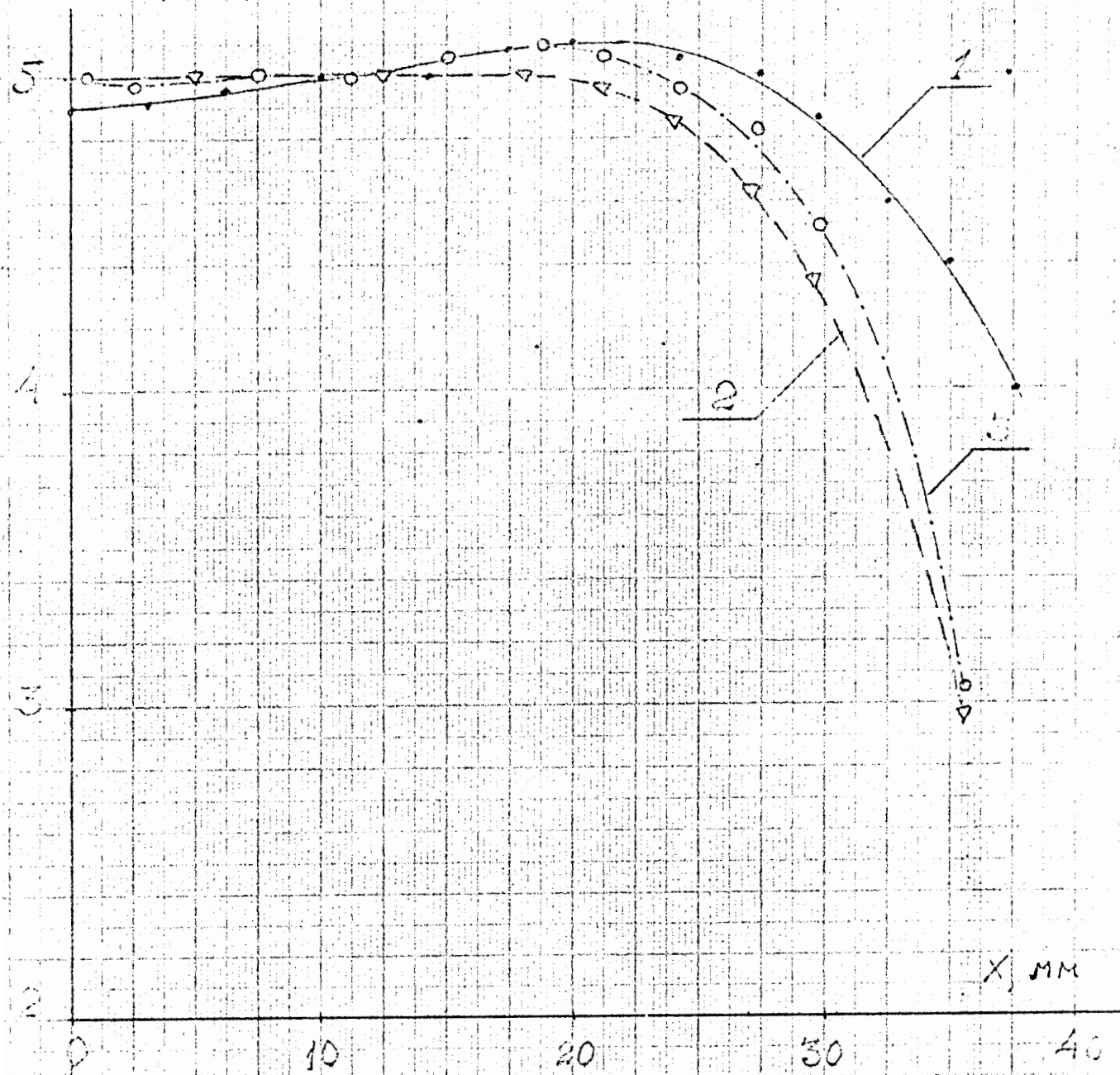


Рис. 6. Расчетный градиент  $G_y(X)$  для различного расположения проводников обмотки линзы. Обозначения кривых - в соответствии с рис. 3.

$I = 6 \text{ кА}$   
Поле в зазоре

Рассеянное поле

Сентим

13

мм

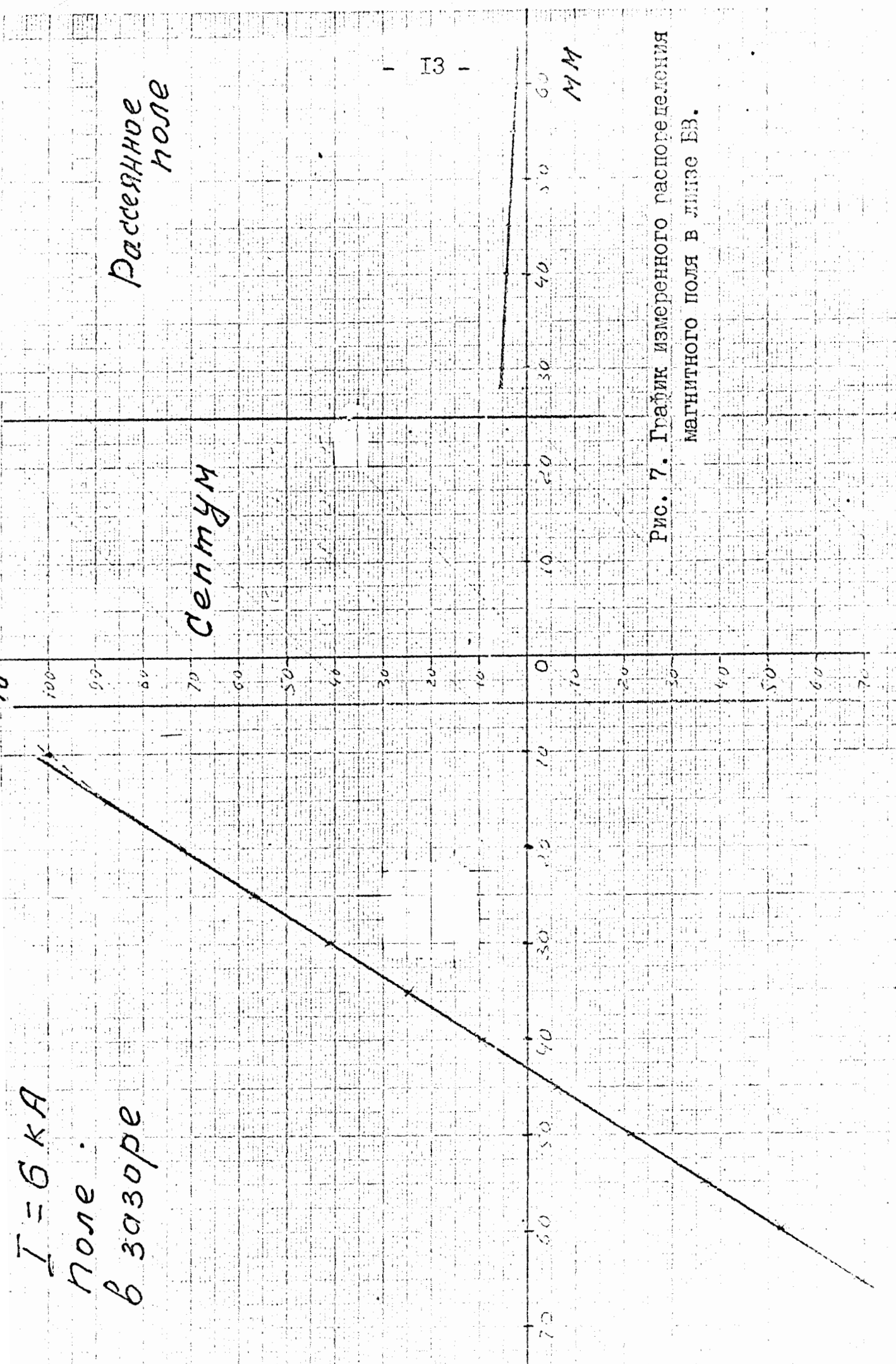


Рис. 7. График измеренного распределения магнитного поля в линзе БВ.