

ЖИДКОВ Е. П. и др.

С345е3

Ж-696

1839/76

Б1-9-9662.



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б1-9-9662

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1976

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория вычислительной техники  
и автоматики

Лаборатория высоких энергий

Е.П.Жидков, И.Б.Иссинский, Е.М.Кулакова, Р.В.Полякова

Б1-9-9662

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ СЕПТУМ-МАГНИТА ДЛЯ  
ВЫВОДА ПЕРВИЧНОГО ПУЧКА

30 марта 76

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна, 1975 г.

## А Н Н О Т А Ц И Я

Приведены результаты численного расчета распределения магнитного поля в зазоре выводного септум-магнита. Произведена оценка влияния конфигурации септума на распределение поля.

## I. Введение

При выводе первичных частиц разделение циркулирующего и выведенного пучка осуществляется с помощью так называемых септум-магнитов (рис. I), которые представляют собой С-образные магниты с тонким токонесущим проводником /1,2/. Этот проводник, называемый септумом, отделяет циркулирующий пучок от выводимого. Септум-магнит должен иметь малое рассеянное поле вне зазора, чтобы не вызывать возмущений циркулирующего пучка. В то же время поле внутри зазора септум-магнита должно быть однородным и не иметь нелинейности, чтобы не увеличивать эффективный эмиттанс выводимого пучка.

Чтобы удовлетворить этим требованиям, при создании септум-магнитов производится предварительное моделирование поля или его подробный численный расчет.

В последнее время при расчете магнитов электро-физических установок широко применяются численные методы, в частности метод конечных разностей решения дифференциальных уравнений Пуассона или Лапласа, которым удовлетворяет векторный потенциал двумерного поля. В общем случае поле рассчитывается с учетом трех сред (вакуум, железо, токонесущая часть) при  $\mu = \mu(B)$ .

В настоящей работе выполнены расчеты распределения поля для нескольких конфигураций септума и приводятся сравнительные характеристики рассмотренных вариантов.

Все расчеты проводились с использованием программ LATTICE и POISSON /3,4/.

## 2. Постановка задачи

Указанная выше задача расчета поля септум-магнита сводится к решению нелинейного уравнения Пуассона в области, изображенной на рис. 2.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -0.4 \pi j(x, y), \quad (I)$$

где

$u - z$  - компонента векторного потенциала двумерного магнитного поля;

$x, y, z$  - декартовы координаты (см);

$j(x, y)$  - плотность тока, протекающего в  $z$ -направлении ( $a/cm^2$ );

$\mu (grad u)$  - магнитная проницаемость ферромагнитной среды задана в виде таблицы I.

Уравнение (I) решается при краевых условиях:

1)  $u = 0$  на внешней границе области (рис.2)  $\Gamma$ , что является некоторым допущением.

2)  $\frac{\partial u}{\partial n} = 0$  в медианной плоскости (эта плоскость совпадает с плоскостью  $xz$ ).

На границах  $\Gamma_1, \Gamma_2$  и  $\Gamma_3$  (внутренних границах области) должны выполняться следующие условия сопряжения:

1)  $(\vec{e}, grad(u))$  - непрерывно;

2)  $\frac{1}{\mu} \cdot (\vec{n}, grad(u))$  - непрерывно, где  $\vec{e}$  - вектор

касательной к поверхности железа,

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

Программы *LATTICE* и *POISSON* решают уравнение (I) в конечно-разностном виде на нерегулярной треугольной сетке в заданной области методом верхней релаксации. В качестве исходных данных к программам *LATTICE* и *POISSON*

составляется логическая диаграмма (рис.3). В этой диаграмме выделяются все области тока, железа и воздуха (вакуума) с помощью задания целочисленных координат опорных узлов. Кроме того, этим опорным узлам ставятся в соответствие координаты точек реальной конфигурации (рис.1). В реальной геометрии соседние опорные узлы всегда соединяются отрезками прямых.

В указанных программах имеется возможность рассчитывать также и аксиально-симметричные поля, которые описываются уравнением:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\mu \cdot z} \cdot \frac{\partial (z \cdot u)}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{\mu \cdot z} \cdot \frac{\partial (z \cdot u)}{\partial r} \right) = -0.4 \pi j(z, z) \quad (2)$$

Для разделения случая декартовых координат и цилиндрических в исходных данных задается условное число. Численный расчет распределения поля септум-магнита производился в декартовой системе координат.

### 3. Результаты расчетов

В качестве исходной конфигурации септум-магнита, для которого рассчитывалось магнитное поле, была взята конфигурация, изображенная на рис.1 со следующими размерами в см:

$h$	$= 6.5$	$q$	$= 1.2$
$s'$	$= 0.2$	$v$	$= 0.5$
$a = y = f$	$= 0.2$	$l_0$	$= 24$
$d$	$= 0.2$	$l_1$	$= 28$
$p$	$= 5.5$	$l_2$	$= 4$

Затем были рассчитаны распределения магнитного поля еще для трех конфигураций септума, а именно:

конфигурация II  $p = 6.3$ ,  $d' = 0.4$ , остальные размеры те же, что и в конфигурации I;

конфигурация III  $p = 6.4$ , остальные размеры те же, что в конфигурации II;

конфигурация IV  $p = 6.2$ , остальные размеры те же, что и в конфигурации II.

В качестве величины, характеризующей однородность поля в зазоре септум-магнита, взята  $B/B_{max} (\%)$  в зазоре. Из рис.4 видно, что условием однородности (разброс  $B/B_{max}$  равен  $\sim 0.86 \%$  в зазоре) лучше всего удовлетворяет конфигурация II, однородность поля получена за счет изменения высоты внутренней части обмотки.

Для выбранной конфигурации II были рассчитаны поля при  $I = 6$  кА,  $I = 8$  кА,  $I = 10$  кА и  $I = 12$  кА. На рис.5 приведены кривые зависимости распределения поля от тока для конфигурации II.

На рис.6 приведены результаты магнитных измерений, выполненных в септум-магните, конфигурация которого приведена на рис.1. Магнитные измерения выполнялись с помощью длинной интегральной катушки, которая давала среднюю величину поля по длине магнита с учетом краев /2/.

Сравнение рисунков 4,5,6 показывает, что лучше всего расчетное распределение поля соответствует экспериментальному для конфигурации II.

Из рисунка 6 видно, что падение поля на зазор, полученного экспериментально, меньше, чем расчетное (расчетное  $\approx 0.86\%$ , экспериментальное  $\approx 0.5\%$  для  $I = 10$  кА). Это объясняется, по-видимому, во-первых, методом измерений и во-вторых, отличием реального поля от расчетного, т.к. расчеты проводились для двумерного случая.

Однако разница расчетов и эксперимента не превышает  $0.5\%$ ,

что указывает на возможность использования вышеизложенной методики для расчета требуемого распределения поля. Это может облегчить процесс проектирования магнитов с тонкими септумами.



Таблица I

$B$	$B^2$	$\mu$ (B)	$\frac{1}{\mu}$ (B)
1000	$10^6$	3190	$0.3135 \times 10^{-3}$
4000	$16 \times 10^6$	6380	$0.1567 \times 10^{-3}$
5900	$34.81 \times 10^6$	6270	$0.1595 \times 10^{-3}$
7000	$49 \times 10^6$	5580	$0.1792 \times 10^{-3}$
9300	$86.49 \times 10^6$	3700	$0.2703 \times 10^{-3}$
10600	$112.36 \times 10^6$	2820	$0,3546 \times 10^{-3}$
11300	$127.69 \times 10^6$	2240	$0.4464 \times 10^{-3}$
12000	$144 \times 10^6$	1910	$0.5236 \times 10^{-3}$
13000	$169 \times 10^6$	1300	$0.7692 \times 10^{-3}$
14000	$196 \times 10^6$	700	$0.1429 \times 10^{-2}$
15200	$231.04 \times 10^6$	242	$0.4132 \times 10^{-2}$
17000	$289 \times 10^6$	136	$0.7353 \times 10^{-2}$
18200	$331.24 \times 10^6$	72.5	$0.1379 \times 10^{-1}$
18900	$357.21 \times 10^6$	50.1	$0.1996 \times 10^{-1}$
19700	$388.09 \times 10^6$	39.2	$0.2551 \times 10^{-1}$
19800	$392.04 \times 10^6$	31.6	$0.3165 \times 10^{-1}$

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. H.H.Unstätter. CERN 65-36, Geneva, 1965.
2. Л.П.Зиновьев и др., Сообщение ОИЯИ 9-6537, Дубна, 1972 г.
3. K.Halback, R.Holsinger, S.Maguary. Proc. of the Fifth Intern. Conf. on Magnet Technology. Frascati, 1975.
4. С.Б.Ворожцов и др. Сообщения ОИЯИ Р9-5013, Дубна, 1970 г.

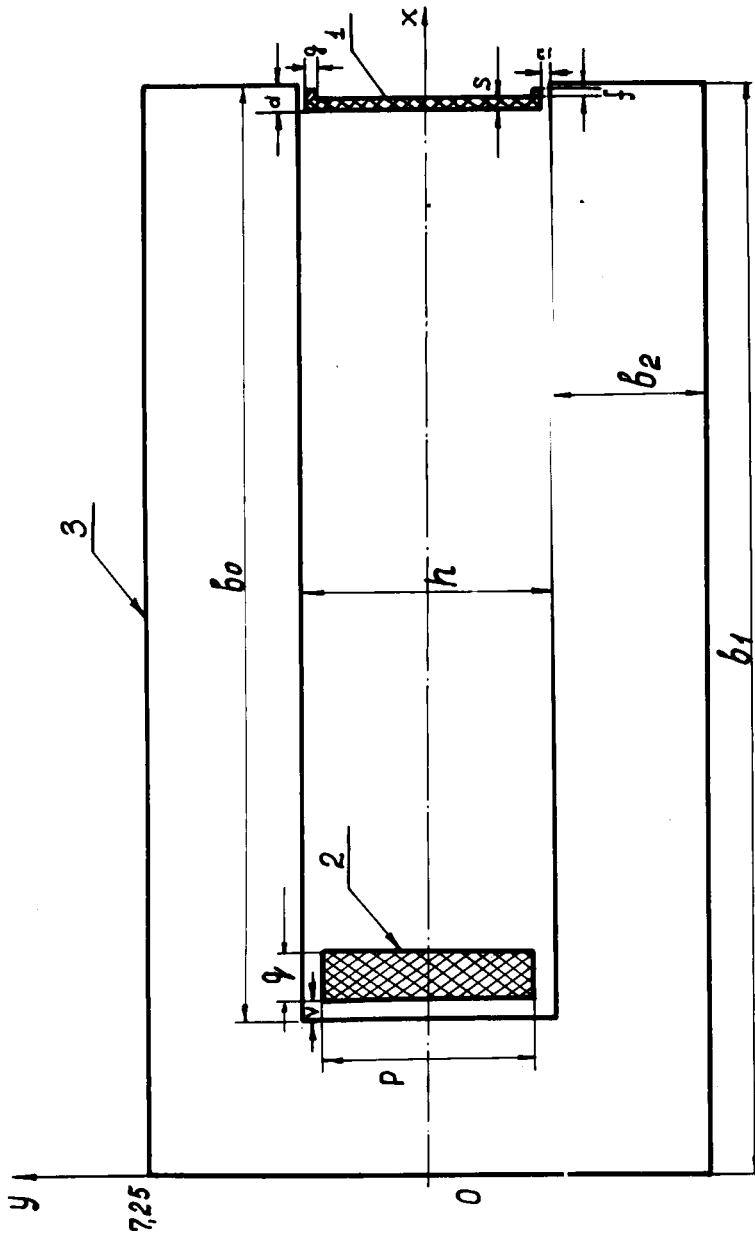


Рис. 1. Сечение септум-магнита. 1 - септум, 2 - внутренняя часть обмотки, 3 - магнитопровод.

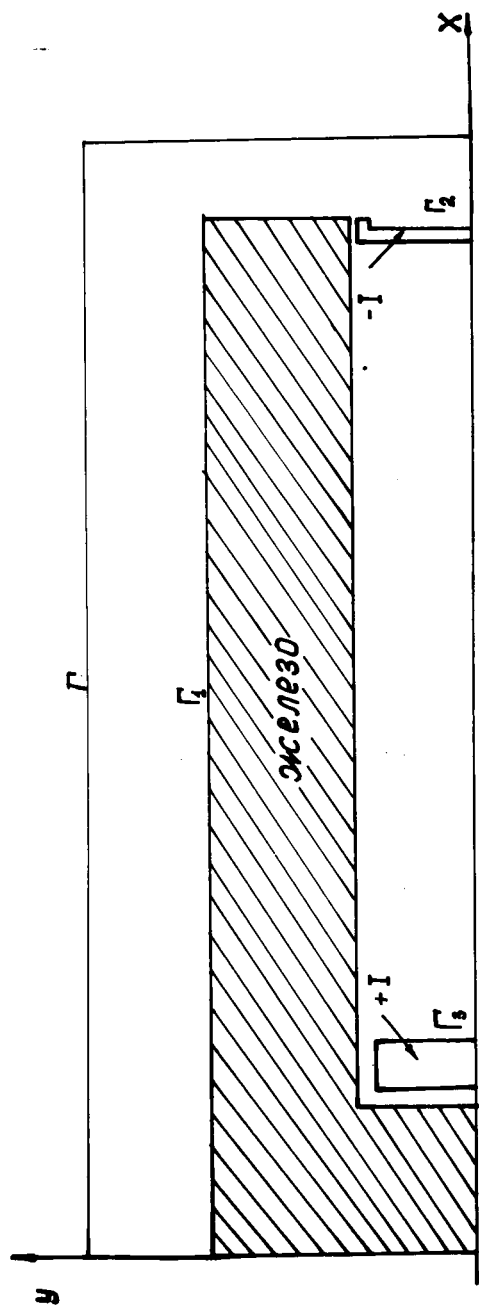


Рис. 3. Область, в которой решается уравнение Пуассона и ее границы:  
 $\Gamma_1$  - внешняя граница области,  $\Gamma_2$  - граница железа,  $\Gamma_3$  - граница сегмента,  $\Gamma_4$  - граница внутренней части обмотки.

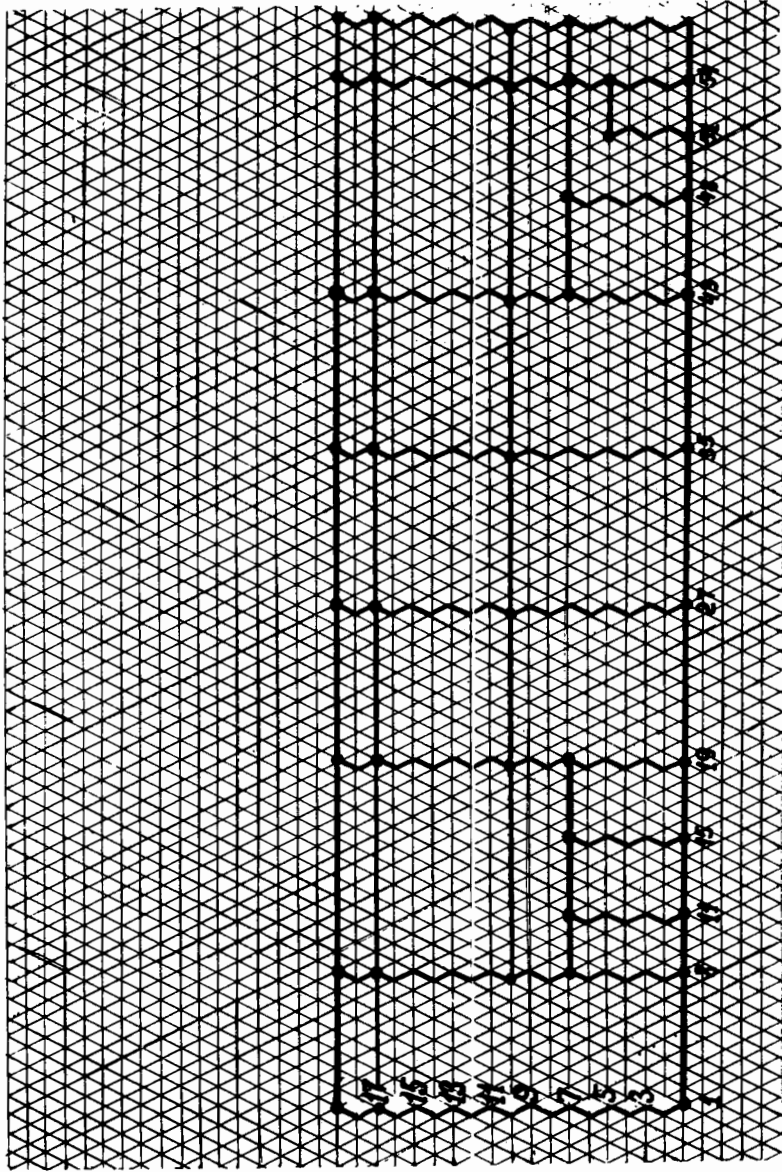


Рис. 3. Логическая диаграмма септум-магнита.

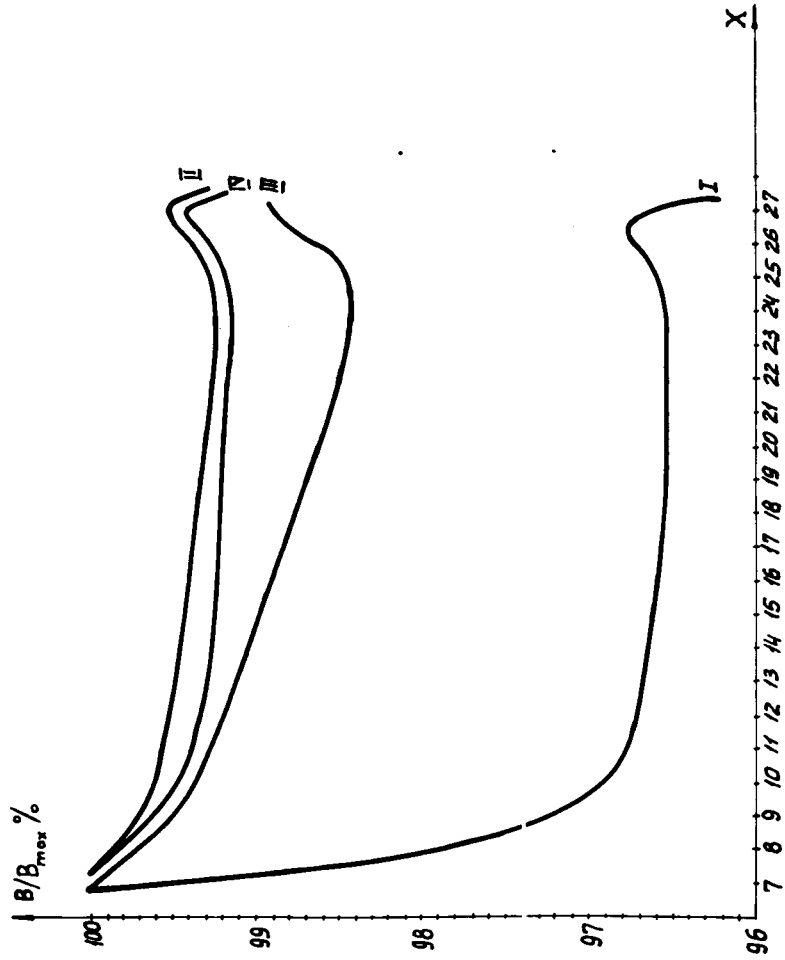


Рис. 4. Расчетное распределение поля в зазоре магнита в зависимости от конфигурации (I - IV) септума и высоты внутренней части обмотки.

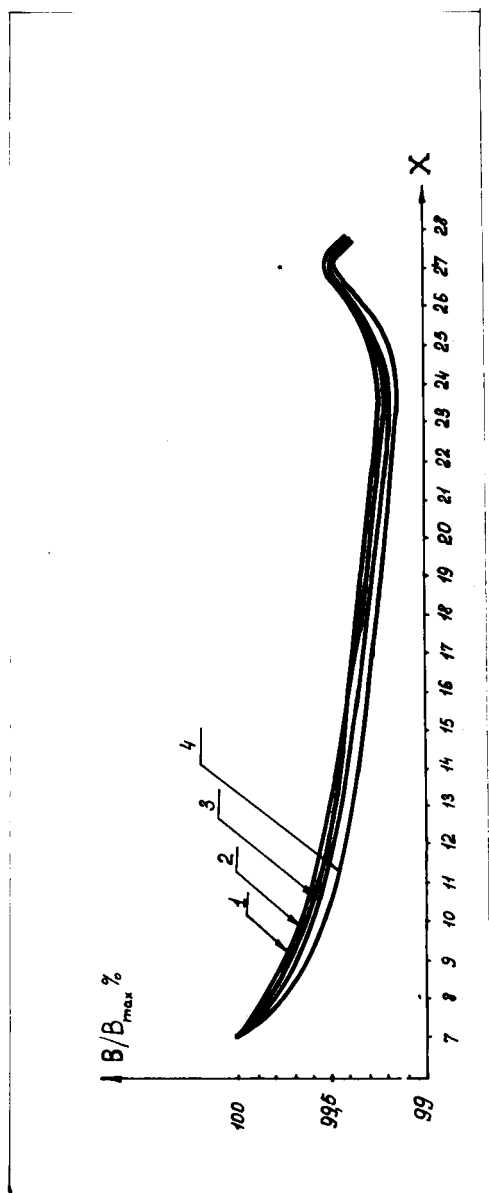


Рис. 5. Расчетное распределение поля в зазоре магнита для токов 6, 8, 10 и 12 кА (кривые 1 - 4) для катушка с размерами = 0,2 см, = = 0,2 см, = 0,4 см и высотой внутренней обмотки 6,3 см (конфигурация 2).

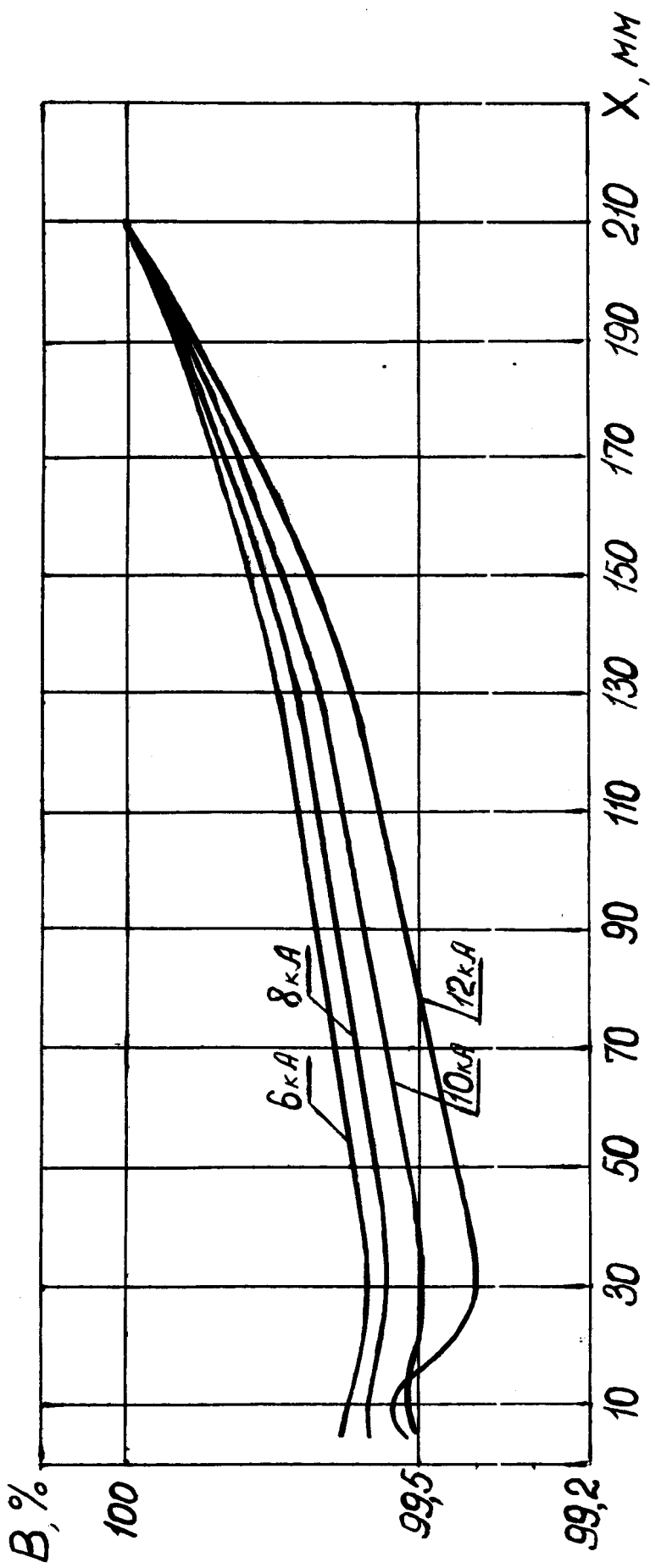


Рис. 6. Измеренное распределение поля в зазоре септум-магнита при разных токах.