



ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ
ԵՐԵՎԱՆՍԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ

ԵՓԻ-ՍՓԴ-1(70)

*Տ.Կ.Եսին, Գ.Վ.Բաճվալյան, Ա.Ր.Դումանյան,
Վ.Ջ.Կրոլ, Լ.Ա.Բելոջերով, Ս.Տ.Օսկանյան*

ՄԱԳՆԻՏՆԻ ԻՅՄԵՐԵՆԻԱ ԴԵՓԼԵԿՏՈՐԱ ՎՎՈՒԹ
ԵՐԵՎԱՆՍԿՈՂՍԻ ՏԻՆԽՐՈՒՐՈՒՆԱ

ԱՐՍՍ



I. Постановка вопроса

В системе инжекции Ереванского электронного ускорителя важным звеном является электромагнитный дефлектор, осуществляющий введение пучка в кольцевую камеру [1]. Дефлектор (рис.1) состоит из железного сердечника и 2-х плоских параллельных шин, в совокупности представляющих собой виток, замкнутый на источник питания. Токи в шинах равны по величине и протекают в противоположных направлениях. Длина дефлектора равна 300 мм. Высота и ширина поля соответственно 25 мм и 60 мм. Поворот пучка на заданный угол (0,1 рад) осуществляется в пространстве, ограниченном в горизонтальном направлении шинами, а в вертикальном - плоско-параллельными поверхностями сердечника. Дефлектор располагается в прямолинейном промежутке (48-1) ускорителя снаружи таким образом, что внешняя (на рис.1 - левая) шина находится на расстоянии 60мм от равновесной орбиты и примыкает к зоне, занимаемой в процессе ускорения. Края внешней шины, прижимаемые к сердечнику через изоляцию, имеют вертикальные разрезы, так что токоведущей является только центральная часть шины. Железный сердечник обеспечи-

зает равномерность поля внутри дефлектора и почти полное его отсутствие слева от внешней шины. Дефлектор охлаждается циркулирующей водой. Приведем некоторые параметры и основные требования, предъявляемые к дефлектору:

Напряженность магнитного поля в рабочем режиме 513 гс при токе 1020а. Однородность поля в рабочей области поля при отсутствии специального шиммирования (см. ниже) должна быть не хуже 0,5%.

Величина рассеянного поля дефлектора на равновесной орбите кольца должна быть не более 0,5% от основного поля дефлектора, чтобы не возмущать движение электронов в кольце. Так как инжекция частиц в ускоритель производится под малым углом, частицы до попадания в магнитный дефлектор проходят значительный путь в рассеянном поле 48-го магнитного блока ускорителя, что приводит к радиальной дефокусировке частиц относительно осевой траектории пучка и ухудшению захвата в режим ускорения. Эту дефокусировку намечено компенсировать созданием градиента поля в дефлекторе. Последнее осуществляется укреплением на поверхностях верхнего и нижнего полюсов двух симметрично расположенных железных шиммов таким образом, чтобы поле увеличилось от внутренней шины к внешней.

Всего предусмотрено 5 комплектов шимм, причем шиммы в поперечном сечении представляют трапеции высотой 60мм и основаниями соответственно: 5ммх5,5мм; 5ммх6мм; 5ммх6,5мм; 5ммх7мм и 5ммх7,5мм.

Задачей настоящих магнитных измерений является снятие топографии магнитного поля дефлектора как внутри, так и снаружи при разных комплектах шиммов на полюсах, проверка выполнения допусков, и в результате выбор той пары шиммов, поле при которой наилучшим образом устраняет упомянутую выше дефокусировку.

2. Методика магнитных измерений дефлектора

В качестве метода измерения магнитных полей дефлектора был выбран метод баллистического гальванометра, так как он наряду с простотой, имеет довольно высокую точность.

Дефлектор запитывался постоянным током 940а от мотор-генератора, (постоянство тока не хуже 0,2%) и измерялся сигнал, наводимый в измерительной катушке при отключении питания дефлектора.

Согласно вышеуказанным целям измерений на основании условия точности [2]

$$\frac{L^2}{9}(R^3 - r^3) = \frac{1}{5}(R^5 - r^5),$$

где L - длина катушки, r - внутренний, а R - наружный радиус катушки были рассчитаны и изготовлены 2 измерительные катушки: одна - с $SW \sim 600 \text{ см}^2$, $L = 3,5 \text{ мм}$, $R - r = 1,5 \text{ мм}$ для измерения полей в дефлекторе, другая - с $SW \sim 6600 \text{ см}^2$,

$L = 9,5 \text{ мм}$, $R - r = 6 \text{ мм}$ для измерения рассеянных полей;
 $r = 1 \text{ мм}$.

Измерительная схема изображена на рис.2.

Эта схема позволяла:

I. Производить градуировку гальванометра (т.е. определение чувствительности гальванометра по магнитному потоку C_{μ}) - переключатель Π_4 .

$$C_{\mu} = \frac{M_{12} [2\pi] \cdot J [a] \cdot 10^8}{d_{\text{ген.}}} \text{ максв./дел.} \quad (1)$$

Чувствительность для данной схемы определялась при 3-х разных токах J и для сигналов обеих полярностей (переключатель Π_2) и была равна 670 максв./дел.

2. Контролировать внешнее сопротивление цепи, на которое замкнут гальванометр с помощью моста постоянного тока - переключатель Π_1 . С помощью $R_{\text{доб}}$ компенсируются тепловые уходы измерительных катушек и $R_{\text{внешн}}$ поддерживается постоянным и равным 5500 ом.

3. При необходимости шунтировать сигнал с измерительной катушки с помощью универсального шунта, образуемого сопротивлениями R_1, R_2, R_3 или измерять сигнал полностью (переключатель Π_2).

Сопротивления R_1, R_2, R_3 рассчитываются по формулам (2):

$$R_1 = \frac{n(R_{\text{внешн}} + R_g)}{n^2 - 1};$$

$$R_2 = \frac{n R_{\text{внешн}} - R_g}{n + 1};$$

$$R_3 = \frac{n R_g - R_{\text{внешн}}}{n + 1}; \quad (2)$$

где n - коэффициент шунтировки.

R_g - сопротивление гальванометра.

$R_{\text{внешн}}$ - внешнее сопротивление.

При измерениях магнитного поля дефлектора была принята следующая система отсчета координат (рис.1).

Край дефлектора принят за "0" при отсчете азимута Θ , причем положительное направление соответствует движению внутрь дефлектора. Середина зазора дефлектора в медианной плоскости принята за "0" радиуса " γ " и высоты " Z " при измерениях по радиусу и высоте, причем положительное направление соответствует движению в сторону более узкого зазора дефлектора при отсчете " γ " и движению вверх при отсчете " Z ".

Для каждой половины дефлектора (со стороны входа пучка и со стороны выхода пучка) и для каждого типа шиммов были произведены следующие измерения магнитного поля H :

1. $H = f(\Theta)$ для радиусов $\gamma = 0, \pm 20$ мм в медианной плоскости и $H = f(\Theta)$ для $\gamma = 0; Z = +6$ мм. Азимут Θ менялся от $+120$ мм до -80 мм.

2. Измерена $H = f(\gamma)$ на азимутах $\Theta = +120$ мм, $+30$ мм, $+20$ мм, $+10$ мм, 0 , -10 мм, -20 мм, -30 мм, -50 мм в медианной плоскости.

Катушкой с большим SW измерены рассеянные поля:

1. $H = f(\Theta)$ - на радиусе, соответствующем радиусу орбиты пучка ($\gamma = +95$ мм) и в непосредственной близости вдоль токоведущей шины.

2. $H = f(\gamma)$ для $\Theta = +120$ мм - от токоведущей шины ($\gamma = +45$ мм) в сторону равновесной орбиты (до $\gamma = +110$ мм).

Среднеквадратичная ошибка, вычисленная по нескольким однотипным измерениям, составляет 0,14% для точек внутри дефлектора и 0,05% для точек вне дефлектора.

3. Результаты магнитных измерений

Все результаты магнитных измерений приведены на рисунках 3-27 в виде графиков.

На рис.3 приведены кривые намагничивания дефлектора для различных шиммов. Видно, что во всем рабочем диапазоне до 1200 а зависимость поля от тока линейная.

На рис. 4-7 даны кривые азимутального распределения магнитного поля дефлектора при разных шиммах как в центре дефлектора ($\gamma = Z = 0$), так и при разных отклонениях от него по оси абсцисс отложены азимуты в см, согласно выбранной координатной

системе отсчета, по оси ординат отложены отношения поля в данной точке к полю в центре в %.

Видно, что наличие различных шимм не меняет форму азимутального распределения поля при измерениях как по центру (отклонения в пределах $\sim 1\%$), так и при вертикальных смещениях (отклонения в пределах $\sim 1-2\%$ при $z = +6$ мм).

В случае же радиальных смещений азимутальное распределение поля меняется заметно при различных шиммах. Например, при

$y = +20$ мм значения поля увеличиваются до $6-6,5\%$; а при

$y = -20$ мм соответственно уменьшаются на столько же.

Некоторое отличие азимутальных распределений поля внутри дефлектора, снятых с правого и с левого концов дефлектора обусловлено неточностью юстировки измерительного станка в этих позициях.

На рис.8-16 приведены радиальные распределения поля дефлектора на разных положительных азимутах "0" и при разных шиммах на полюсах, причем кривые на рис.8-12 относятся к азимутам, отсчитанными со стороны входа пучка в дефлектор, а кривые на рис 13-16 - со стороны выхода пучка из дефлектора. По-прежнему значения полей отнесены к значению поля в центре дефлектора.

Как видно из кривых, шиммы создают неоднородные поля в дефлекторе, причем области линейности ограничены в пределах $\pm 15-20$ мм по радиусу, что составляет $50-70\%$ ширины зазора. Слабее всех выражена линейность поля в случае шиммы $5 \times 5,5$ мм. Значения полей определены, но на много уменьшаются с приближением к торцам дефлектора, а при нулевых азимутах ослабление достигает до 20% , что касается кривых, снятых на азимутах, отсчитанных от

входного или выходного торцов дефлектора, то вблизи выходного торца величины полей около 1% больше полей вблизи входного торца дефлектора, что объясняется неоднородностью лобовых частей дефлектора.

По результатам кривых радиального распределения можно выбрать ту марку шимм, которая обеспечивает нужный градиент для убирания радиальной дефокусировки пучка в рассеянных полях магнитного блока. Требуемый расчетный градиент составляет $\sim 5,1$ эрст/см (см. I) и соответственно нетрудно получить из представленных кривых (рис.9 и 14), что наилучшим вариантом шимм является тип 5×6 мм.

На рис.17-24 изображены радиальные распределения рассеянного магнитного поля дефлектора на разных отрицательных азимутах, для разных шиммов, и как аналогично выше, отнесенные соответственно к входному и выходному торцам дефлектора.

Видно, что при удалении от торцов дефлектора одновременно с ослаблением поля искажается сам вид распределения, они становятся более симметричными и равномерными.

На рис.25 показано радиальное распределение рассеянных полей дефлектора вне дефлектора на положительном азимуте $\Theta = 120$ мм и при $z = 0$.

Как видно из кривой, на равновесной орбите ускорителя (на расстоянии 60 мм от наружной шимы дефлектора) рассеянное магнитное поле составляет всего $0,13 - 0,15\%$ от величины поля в центре дефлектора, т.е. заведомо меньше допустимой величины $0,5$. Если даже дефлектор приблизить к равновесной орбите на 10 мм, рассеянное поле увеличится всего до $0,2\%$, т.е. опять в пределах допуска.

Наконец, на рис.26-27 изображены азимутальные распределения рассеянных полей дефлектора для разных шимм на разных радиусах.

Видно, что вблизи равновесной орбиты ускорителя (рис.27) - это распределение почти однородно.

4. Заключение

Результаты магнитных измерений показывают, что характеристикам дефлектора вполне удовлетворяют предъявляемым к нему требованиям. Впоследствии, в процессе настройки ускорителя, дефлектор был установлен на расстоянии 50 мм от наружной шины до равновесной орбиты ускорителя, что дало лучшие результаты при инъекции пучка. Подробные расчеты по проводке измеренных эмиттансов инжектируемого пучка через всю систему ввода показали, что выбранный на основе магнитных измерений, градиент магнитного поля в дефлекторе удовлетворительно компенсирует влияние рассеянных магнитных полей на участке ввода.

Выражаем благодарность Г.А.Денизлину, К.А.Садояну, Э.В.Всисно Д.Сегинной за помощь при настройке измерительного станка, проведении измерений и обработке результатов.

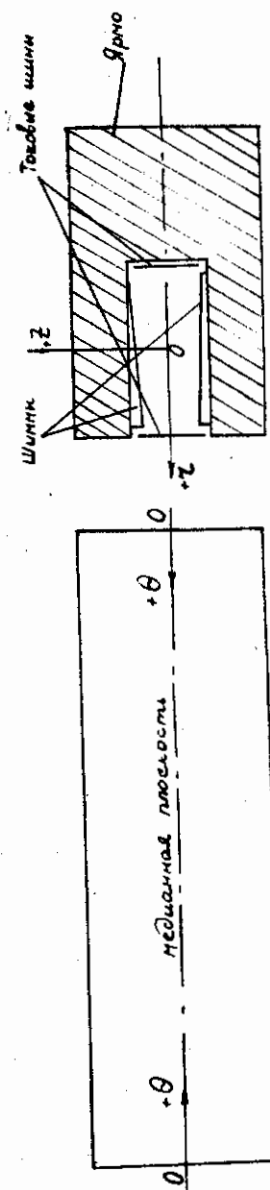


Рис. 1.

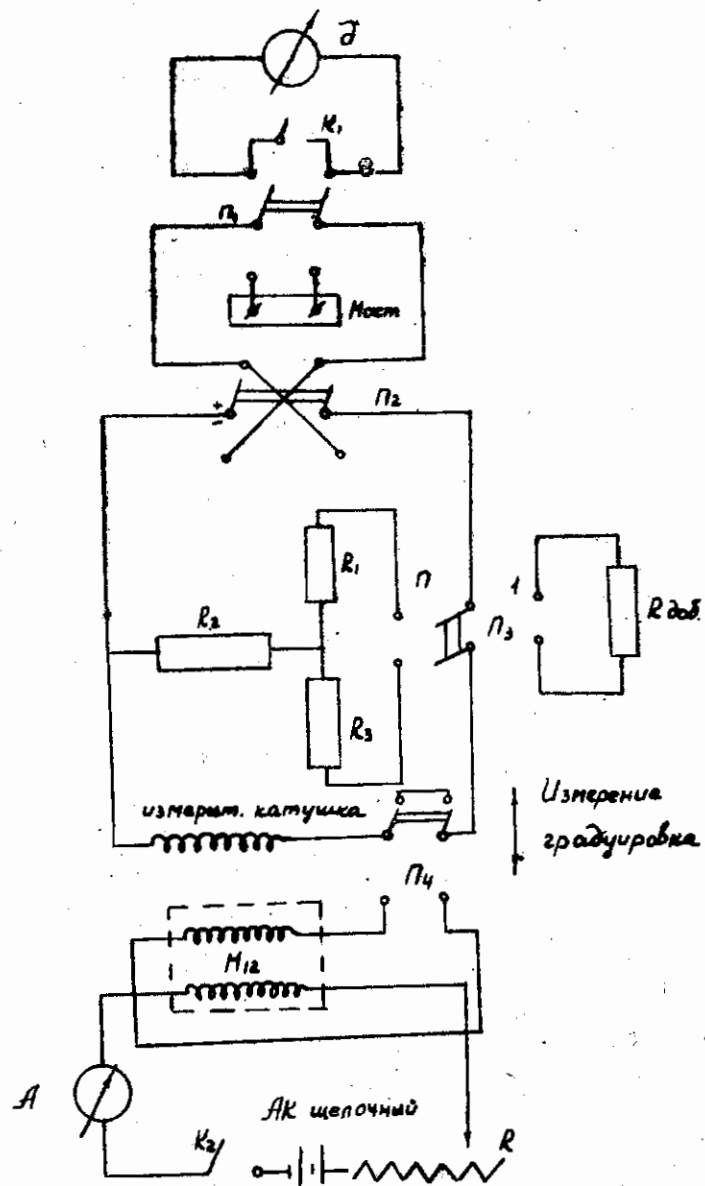


Рис 2

Кривые намагничения для разных шин
при $z=Z=0$

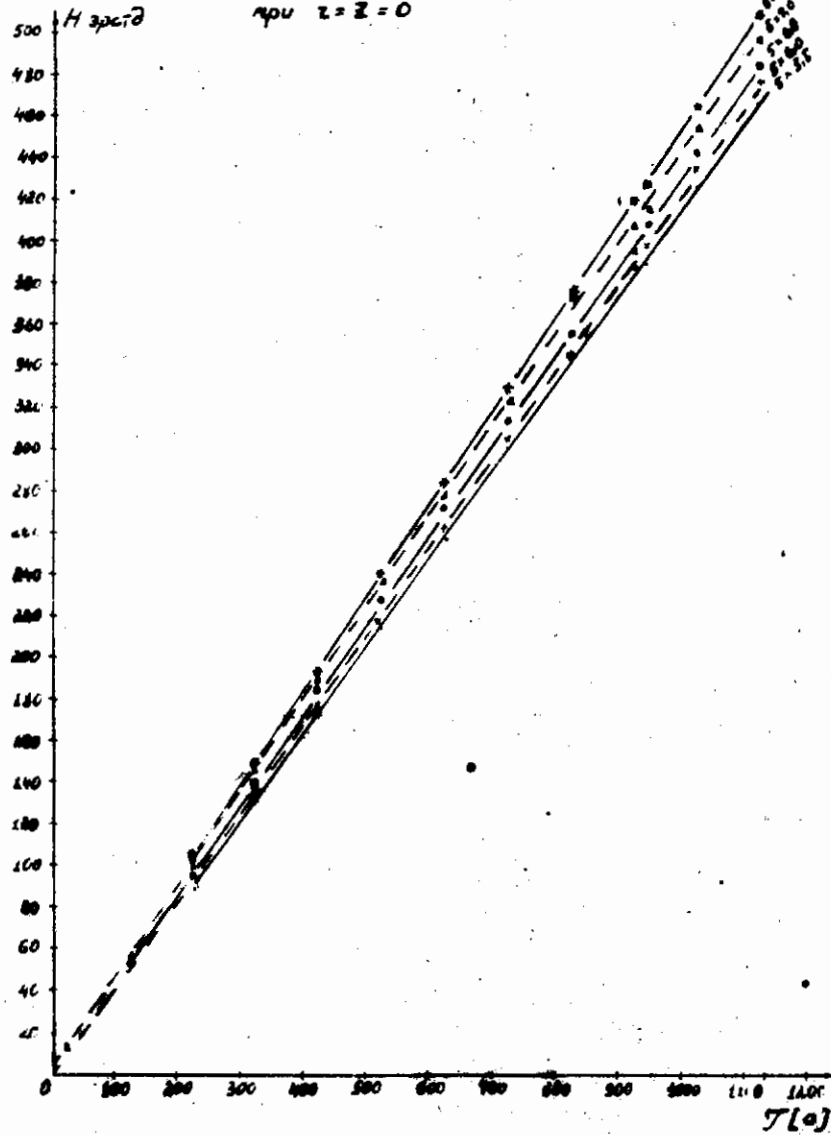
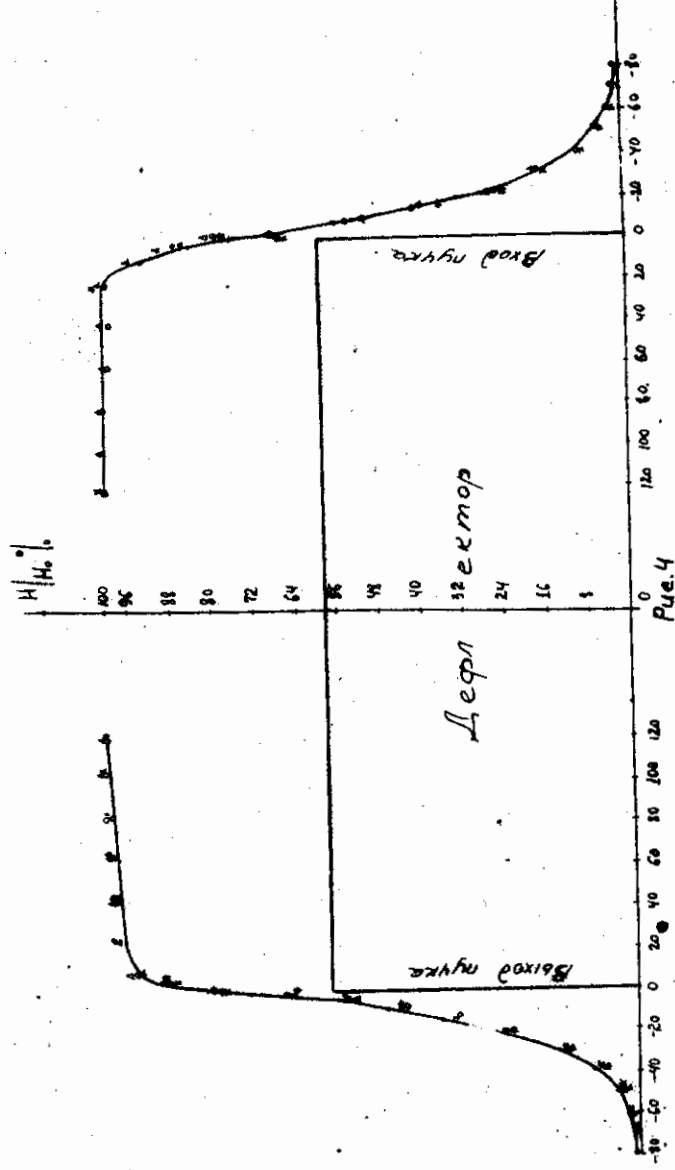


Рис 3

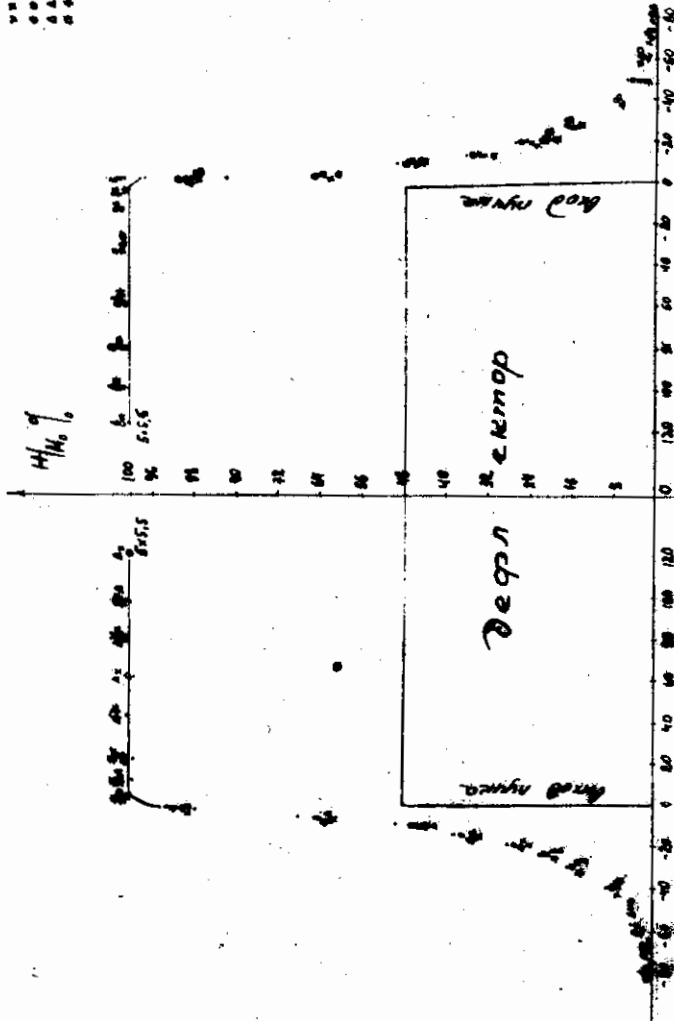
Азимутальное распределение поля H_z дефлектора на $z = z = 0$

Шкала:
 5 × 5,5
 5 × 6,0
 5 × 6,5
 5 × 7,0
 5 × 7,5

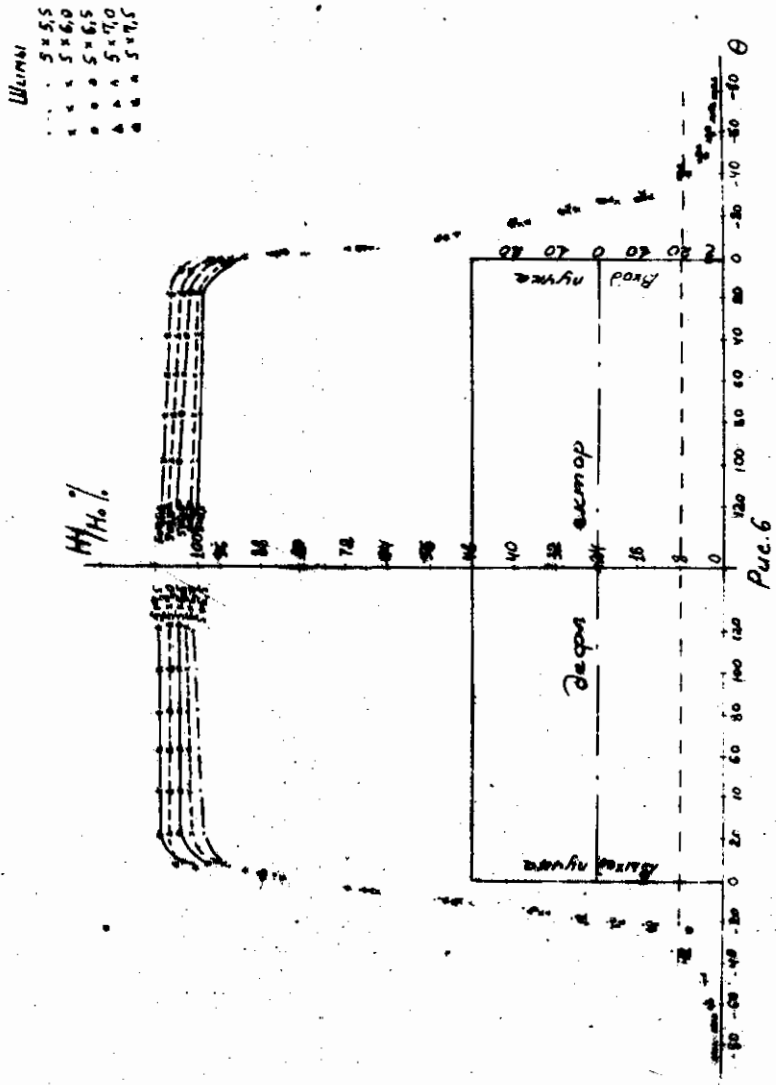


Азимутальное распределение поля (H_z) дефлектора на $z=0$ $z = r$ бм

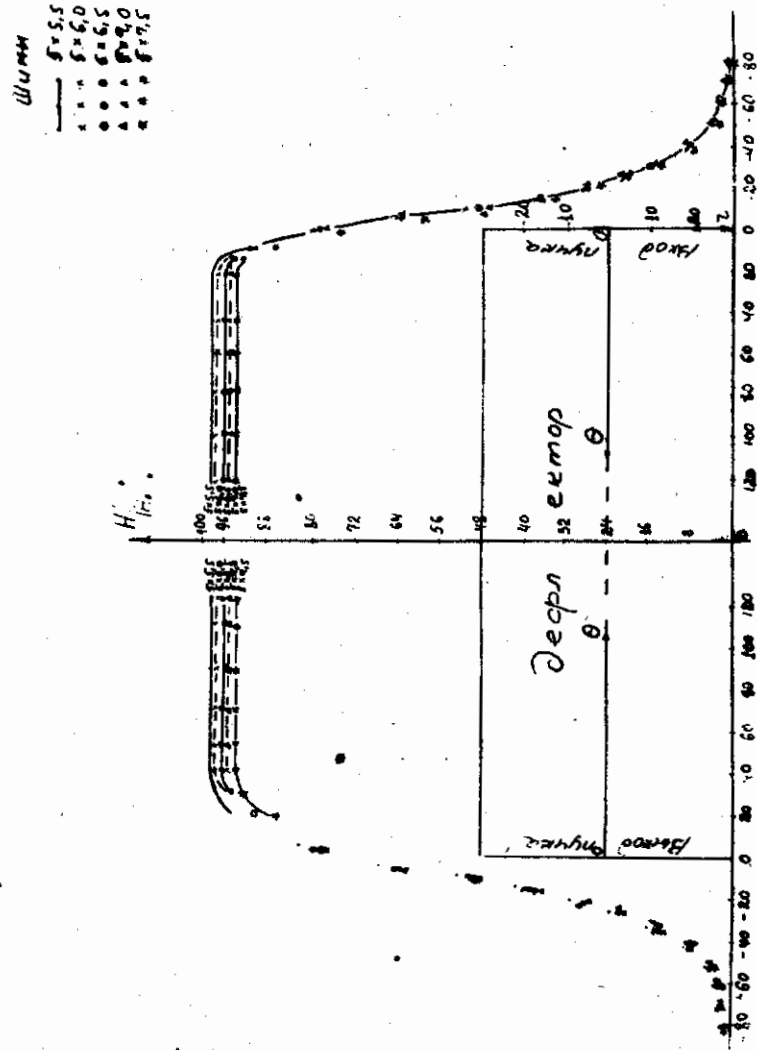
Шкала:
 5 × 5,5
 5 × 6,0
 5 × 6,5
 5 × 7,0
 5 × 7,5



Азимутальное распределение поля НЗ дефлектора на $z=20\text{мм}$ $z=0$



Азимутальное распределение поля НЗ дефлектора на $z=-20\text{мм}$ $z=0$



Радиальное распределение поля дифрактора
(со стороны входа пучка)

Рис. 8

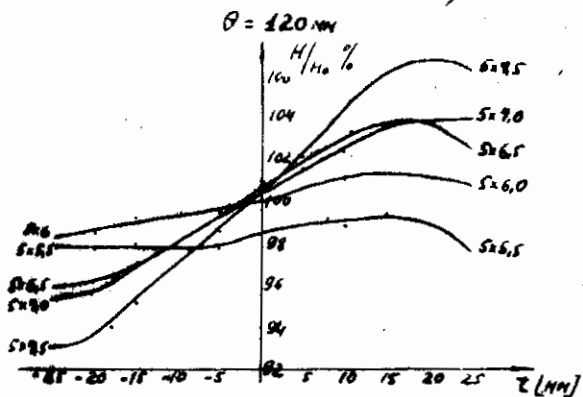


Рис. 9

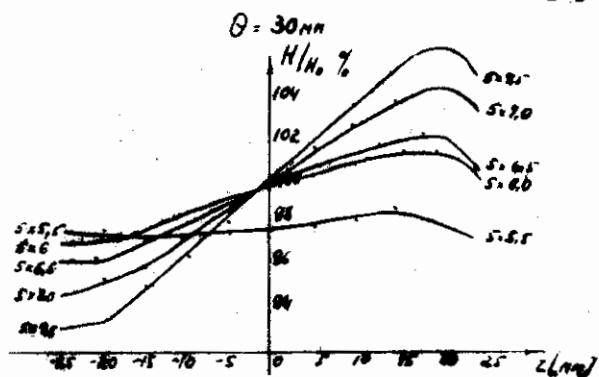
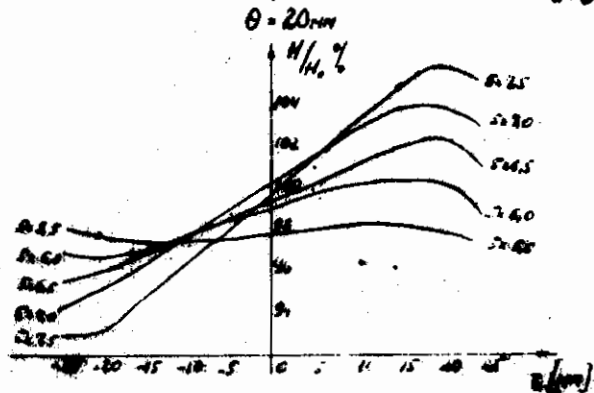


Рис. 10



Радиальное распределение поля дифрактора
(со стороны входа пучка)

Рис. 11

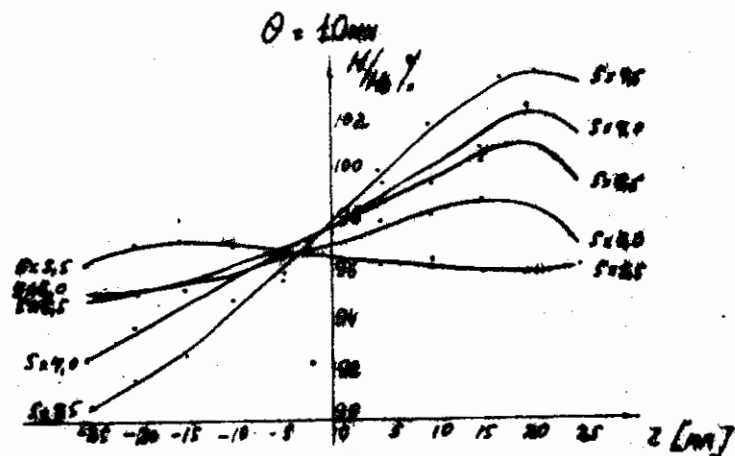
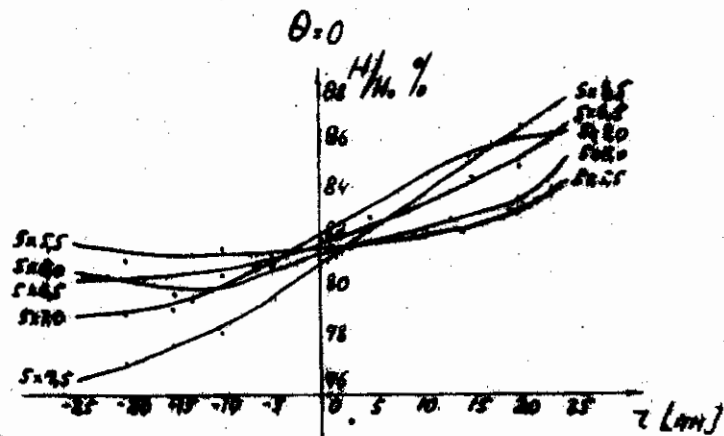


Рис. 12



Радиальное распределение поля дефлектора (со стороны входа пучка)

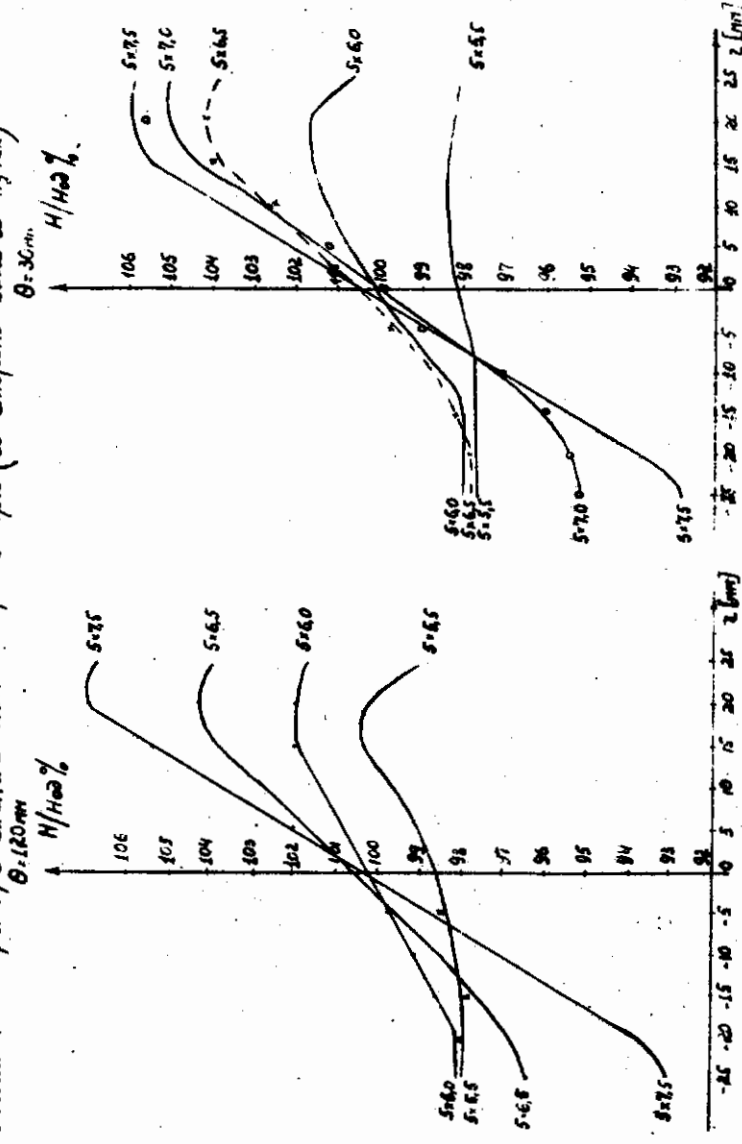


Рис 13

Рис 14

Радиальное распределение поля дефлектора (со стороны выхода пучка)

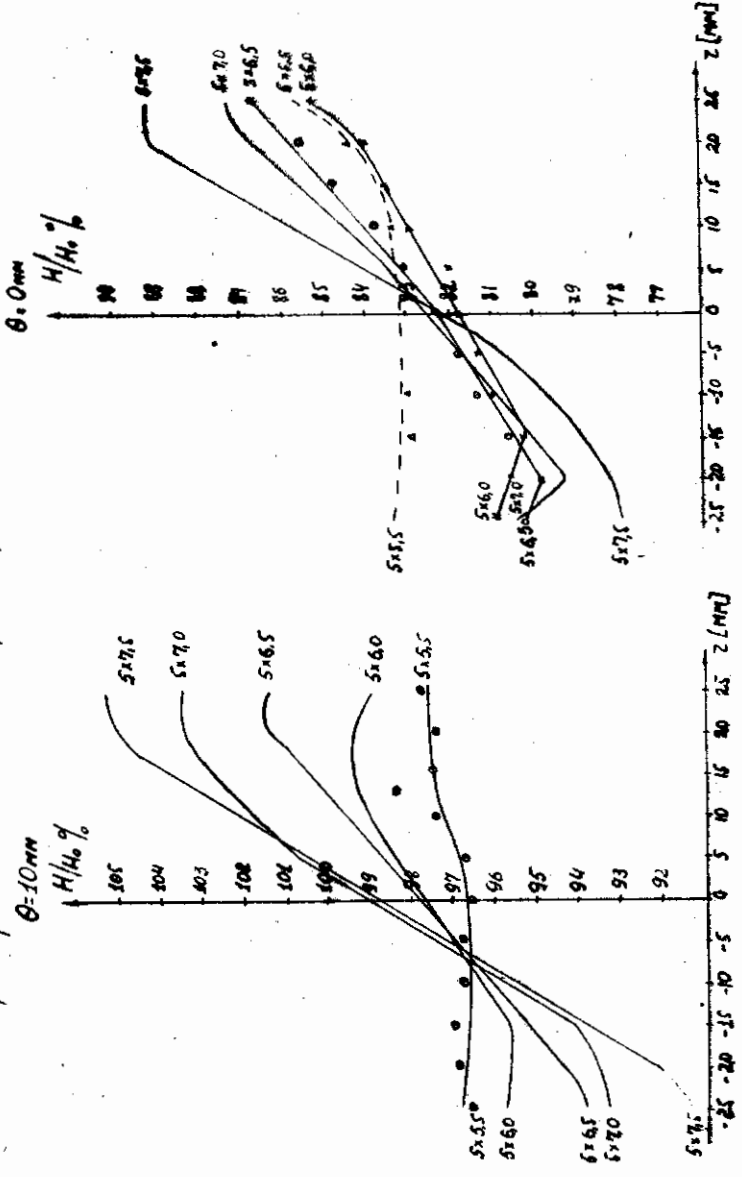


Рис 15

Рис 16

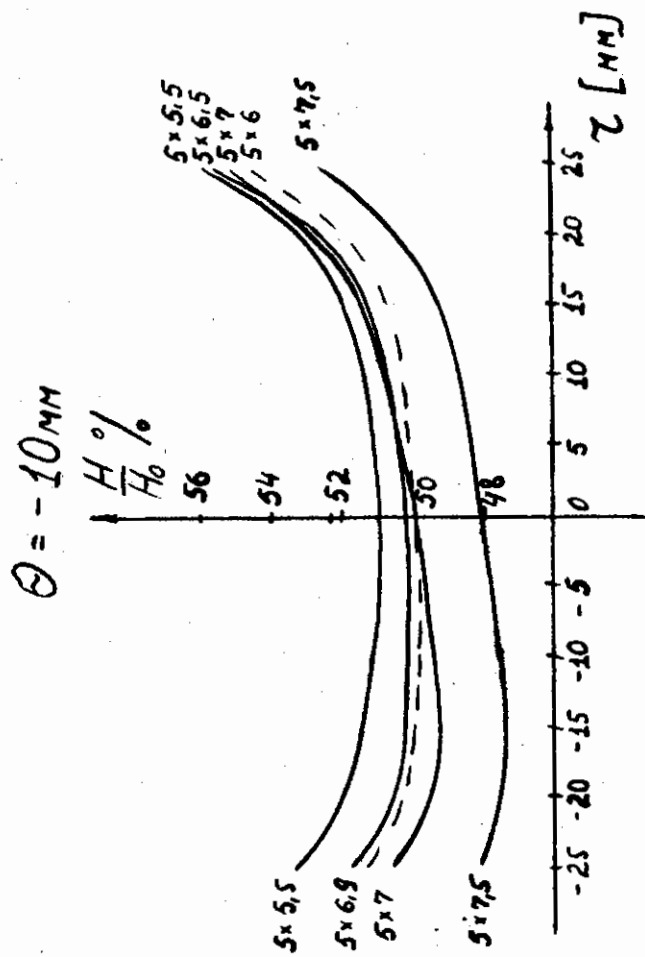


Рис. 17

Радиальное распределение поля дефлектора
(со стороны выхода пучка)

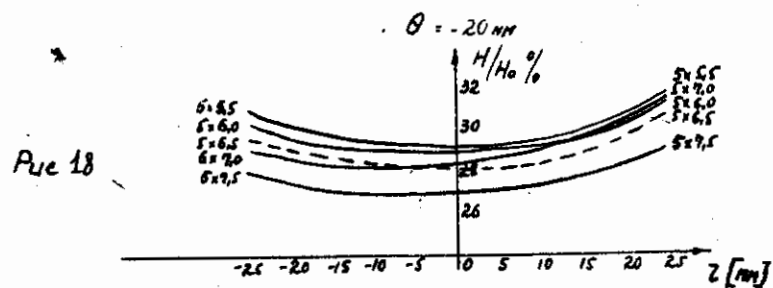


Рис 18

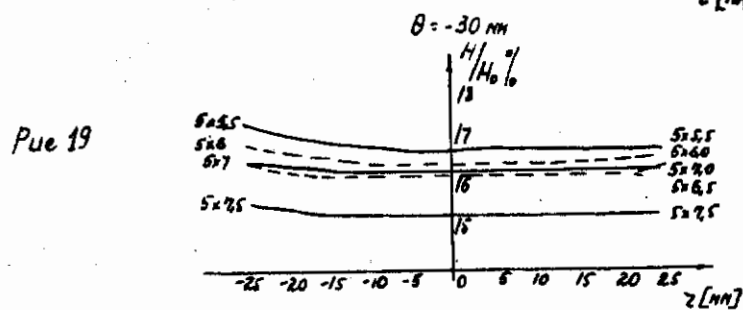


Рис 19

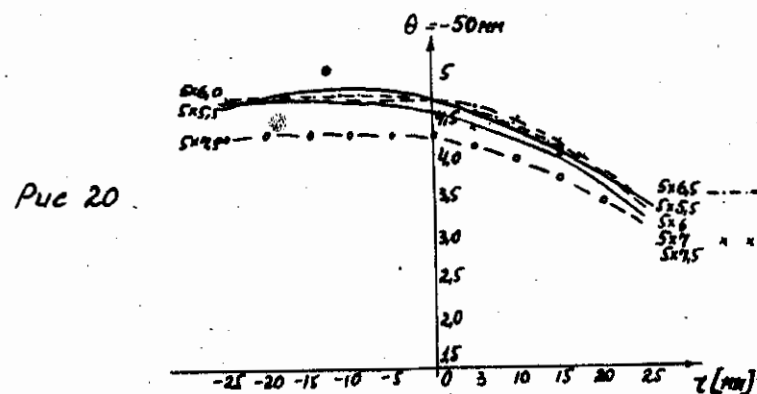


Рис 20

Радиальное распределение полз дефлектора (со стороны выхода пучка)

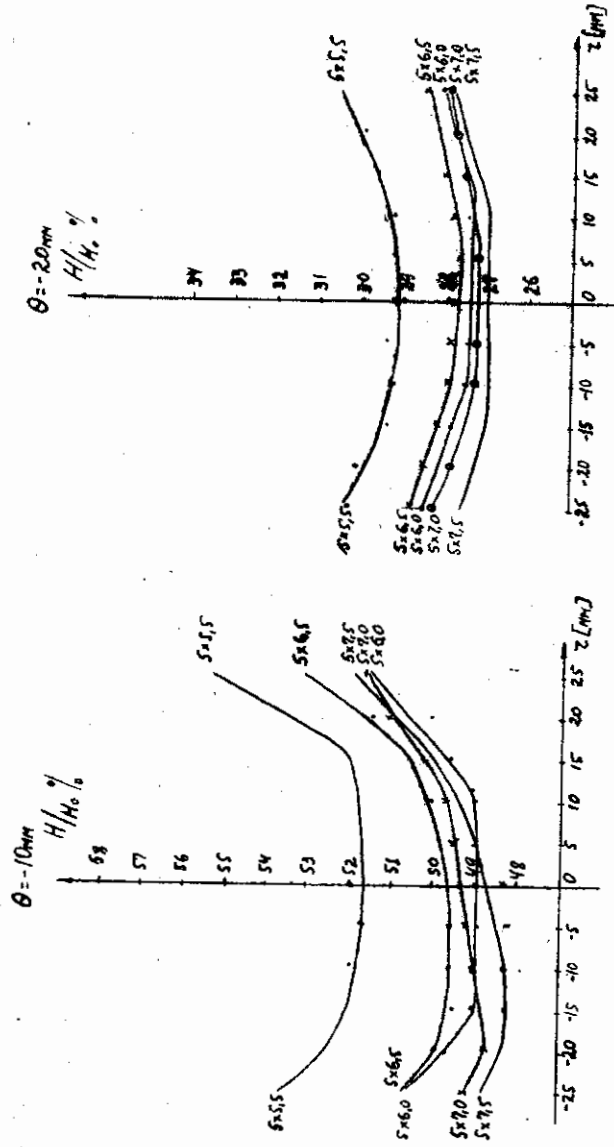


Рис. 21

Рис. 22

Радиальное распределение полз дефлектора (со стороны выхода пучка)

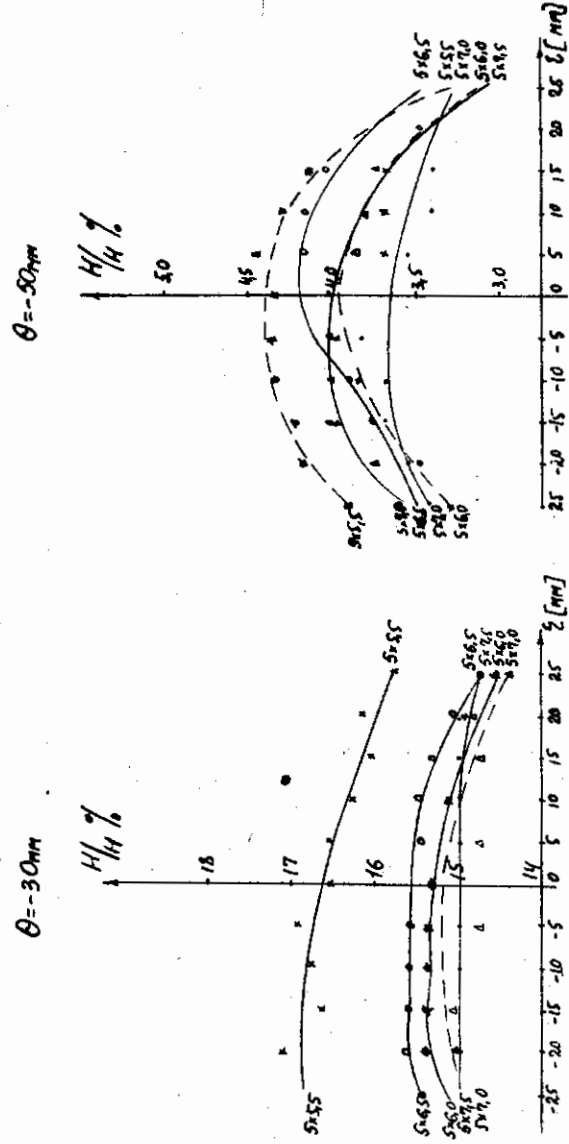


Рис. 23

Рис. 24

Радиальное распределение рассеянных полей дефлектора на $\theta = 120^\circ$ $z = 0$

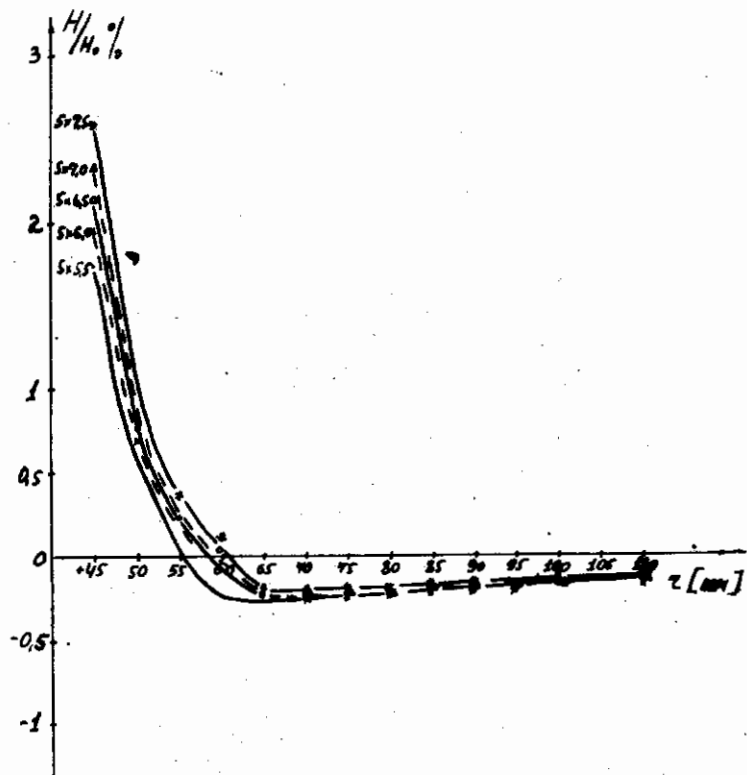


Рис. 25

Азимутальное распределение рассеянных полей для разных шум на $z = +45$ мм $z = 0$

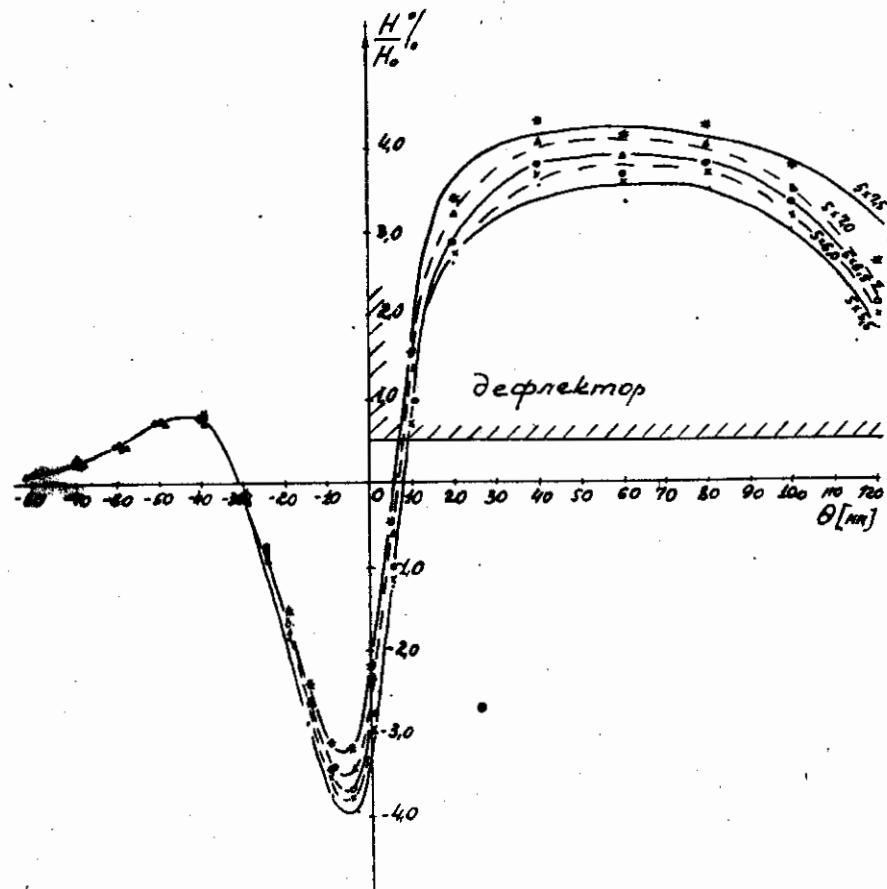


Рис. 26

Азимутальное распределение рассеянных полей на $z = +95$ мм от середины
дефлектора

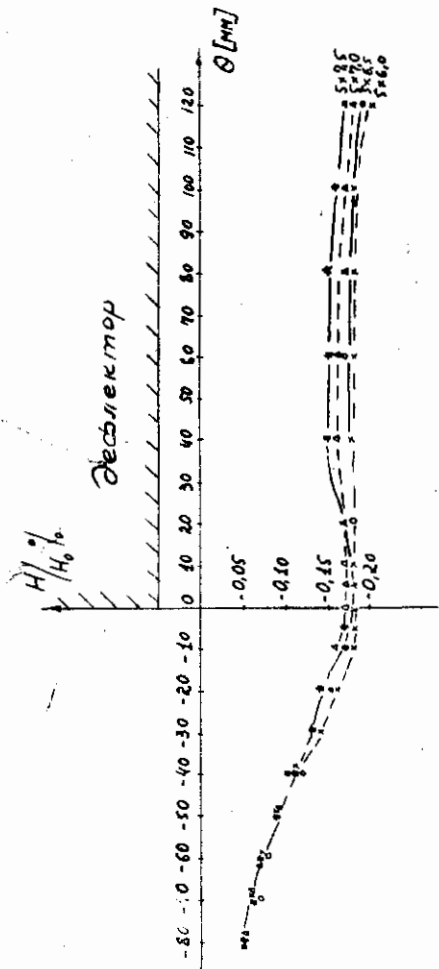


Рис. 27

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Ц.Аматуни, Г.В.Бадяжи, С.К.Есми, Б.В.Каликов, В.К.Кроль, Р.В.Тевикян, Электроно-оптическая система ввода Ереванского синхротрона. Препринт ЭФН-УФТ-4(69).
2. Л.Л.Гольдин, С.В.Сквечков, К.Н. Шорин, Магнитные измерения в ускорителях заряженных частиц, 1961, Атомиздат.

Рукопись поступила 17-го декабря 1970г.