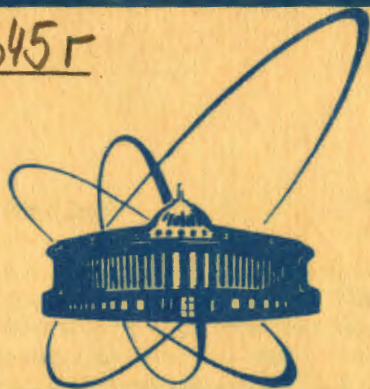


83-289

345Г

С345Г



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

4089/83

9-83-289

Н.Л.Заплатин, Е.В.Самсонов, А.Ф.Чеснов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕКТОРНЫХ МАГНИТОВ  
СУПЕРЦИКЛОТРОНА (М 1:5)

1983

## ВВЕДЕНИЕ

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ разрабатывается протонный ускоритель на энергию 800 МэВ с интенсивностью пучка 10-100 мА<sup>/1,2/</sup>. Он состоит из линейного ускорителя-инжектора на энергию протонов 50 МэВ и кольцевого изохронного циклотрона с жесткой фокусировкой  $/1,3 < Q_z < 1,5/$ . Магнитная система циклотрона содержит 8 секторных С-образных электромагнитов со спиральными полюсными наконечниками. Высокие требования, предъявляемые к качеству формирования магнитного поля такого циклотрона, и, наряду с этим, отсутствие программ, позволяющих рассчитывать на ЭВМ с требуемой точностью распределения магнитных полей узкозазорных секторных магнитов трехмерной конфигурации, вызывают в настоящее время необходимость последовательного моделирования подобных магнитных систем.

Первый этап моделирования магнита циклотрона был выполнен на модели в масштабе 1:15<sup>/3/</sup>. Эти исследования позволили определить форму магнитопровода, выбрать размеры, положение, ток обмотки возбуждения, а также сделать следующие выводы:

1. Формирование требуемого магнитного поля может быть выполнено при описании границ полюса дугами окружностей и при плоском межполюсном зазоре.
2. Коррекция в процессе моделирования среднего магнитного поля в пределах  $\Delta \bar{B} < 1500$  Гс может проводиться с помощью кольцевых пазов, располагаемых между полюсом и полюсным наконечником магнита.
3. Шиммирование поля в пределах  $0 < \Delta \bar{B} < 100$  Гс может быть выполнено с помощью ферромагнитных накладок на боковых поверхностях полюсного наконечника.

Очевидно, что первый вывод позволяет значительно повысить технологичность изготовления полюсов магнитов, а второй - существенно ослабить допуски на точность изготовления пазов по сравнению с возможными допусками на величину межполюсного зазора, если предположить формирование поля за счет его изменения. Третий вывод позволяет ограничить мощность обмоток тонкой коррекции максимальным их вкладом в магнитное поле  $\Delta \bar{B} = 20$  Гс.

Настоящая работа посвящена второму этапу моделирования магнита циклотрона и содержит описание двух секторных магнитов в масштабе 1:5, штанги для измерения магнитного поля, системы магнитных измерений на линии с ЭВМ ЕС-1010 и полученных результатов.

Основные задачи, которые решены в результате исследований на этой модели, можно сформулировать следующим образом:

1. Определение величины неаддитивной суперпозиции полей соседних секторов.
2. Окончательное определение формы полюса и корректирующих пазов.
3. Выбор параметров обмоток тонкой коррекции поля.

## 1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ И ШТАНГИ ДЛЯ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На рис. 1 показан внешний вид измерительного стенда, состоящего из двух секторных магнитов, штанги для магнитных измерений и стойки управления.

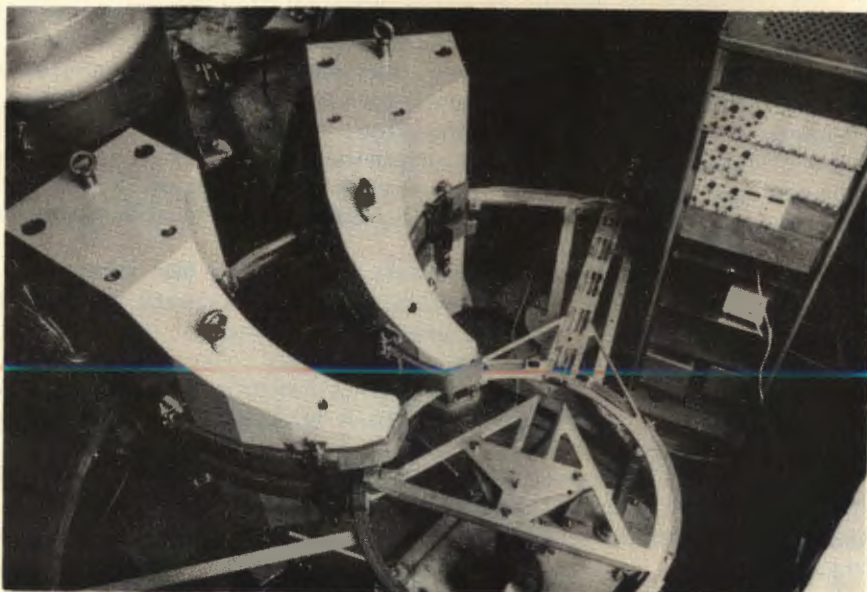
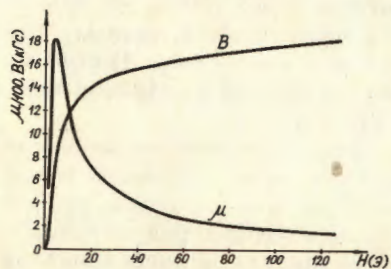


Рис. 1. Общий вид секторных магнитов и системы измерений магнитного поля.



Секторные магниты изготовлены из стали, магнитные характеристики которой приведены на рис. 2. Для исключения возможных изменений межполюсного зазора /  $\delta = 1,8$  см / за счет деформации ярма под дей-

Рис. 2. Магнитные характеристики материала секторных магнитов (Ст.08).

ствием сил электромагнитного притяжения  $\sim 30$  т, в области начального радиуса предусмотрены распорные устройства, выполненные из немагнитной стали. Необходимая точность сборки магнитов  $\pm 0,1$  мм / обеспечивается штифтами, располагаемыми на границах: полюс - полюсной наконечник, полюс - ярмо, ярмо - стойка, распорка - полюсной наконечник.

Каждая из двух полюсных обмоток возбуждения содержит 30 витков медной трубки квадратного сечения со стороной 8,5 мм с отверстием для охлаждения  $\phi$  5 мм. Конструкция крепления обмоток и разводки выводов обеспечивает возможность вертикального перемещения обмоток на  $\pm 10$  мм от среднего положения.

Юстировка взаимного положения двух магнитов проводилась с помощью нивелира в вертикальной плоскости и с помощью контрольной плиты и штифтовых отверстий на полюсах магнитов в горизонтальной плоскости. Точность юстировки составляла  $\pm 0,2$  мм. Вес одного магнита - 5 т.

Измерения магнитного поля проводились датчиком Холла /точность  $2 \cdot 10^{-4}$  /, укрепленного на штанге. Конструкция штанги обеспечивала измерение в медианной плоскости в интервале радиусов 440-1450 мм и азимутов  $0-120^\circ$  /при периоде системы  $45^\circ$ /. Перемещение датчика Холла в азимутальном и радиальном направлениях осуществлялось с помощью электромеханических приводов на базе шаговых двигателей.

Азимутальный привод обеспечивал установку азимутального положения штанги в диапазоне  $0-120^\circ$  и реверс штанги в исходное положение с точностью  $\pm 0,025^\circ$ . Радиальный привод обеспечивал точность установки датчика по радиусу  $\pm 0,1$  мм.

## 2. УПРАВЛЕНИЕ ШТАНГОЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЛИНИИ С ЭВМ ЕС-1010

Система магнитных измерений на линии с ЭВМ кроме штанги и укрепленного на ней датчика Холла включает в себя:

а/ электронные устройства, обеспечивающие связь между ЭВМ с одной стороны, и цифровым вольтметром, шаговыми двигателями, муфтой сцепления - с другой;

б/ системные программы, обеспечивающие ввод информации с цифрового вольтметра в ЭВМ; элементарное перемещение датчика в азимутальном и радиальном направлениях; включение и выключение муфты сцепления и вольтметра;

в/ пакет подпрограмм, управляющих всей системой в целом, обрабатывающих поступающую информацию, с помощью которого ведется диалог между оператором и ЭВМ.

Подробному описанию пунктов а/ и б/ посвящено сообщение /4/. Ниже приведено краткое описание содержания в/, которое дает представление о возможностях созданной системы магнитных измерений.

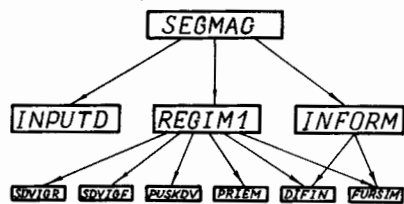


Рис. 3. Блок-схема программы управления системой магнитных измерений.

На рис. 3 приведена блок-схема программы управления измерительным стендом. Пакет подпрограмм включает в себя: SECMAG, INPUTD, REGIM1, INFORM.

SECMAG - головная программа, содержащая закрепление файлов за метками внешних устройств и последовательный вызов трех других подпрограмм.

INPUTD - подпрограмма ввода исходной информации. Данные, определяющие режим измерений, вводятся двумя способами:

- с дисплея в режиме диалога /дата, ток возбуждения магнитов, радиальные и азимутальные шаги и границы перемещения штанги, а также другая информация, часто изменяемая в процессе моделирования/;

- с внешнего носителя, например с перфокарт /градуировочная таблица датчика Холла, геометрия магнитов и другая информация, постоянная в процессе моделирования или редко изменяемая/.

REGIM1 - подпрограмма, в которой выполняются следующие действия:

- перемещение датчика Холла на заданное расстояние в радиальном и азимутальном направлениях при вызове SDVIGR и SDVIGF, соответственно;

- включение цифрового вольтметра TR-6515 при вызове подпрограммы PUSKDV и следующий затем прием информации с вольтметра при помощи подпрограммы PRIEM;

- интерполирование по таблице датчика Холла при вызове подпрограммы DIFIN для получения индукции магнитного поля в измеренных точках;

- реверс штанги в азимутальном направлении из конечной точки в начальную при вызове SDVIGF;

- фурье-анализ измеренного поля в результате вызова подпрограммы FURSIM и отображение всей информации на экране дисплея.

INFORM - подпрограмма, вызов которой производится после измерения всей карты с целью получения дополнительных сведений о качестве сформированного магнитного поля. Здесь рассчитываются и выводятся на печать: показатель среднего магнитного поля  $\bar{d} = R/\bar{B} \cdot d\bar{B}/dR$ ; угол спиральности магнитного поля  $\tau(R)$ ; частоты свободных колебаний  $Q_r$ ,  $Q_z$ , рассчитанные по приближенным формулам; флаттер магнитного поля  $F(R)$  и др.

Система измерений практически не накладывает ограничений на радиальный и азимутальный шаги перемещения датчика Холла, и их выбор полностью определяется формой магнитного поля секторных магнитов, характеризующейся высокими градиентами /до 5 кГс/см/ и требуемой на данном этапе моделирования точностью измерения среднего поля / $10^{-3}$ /. Основной объем измерений был проведен с азимутальным шагом  $0,5^\circ$  в интервале  $0-120^\circ$ , при этом радиальный шаг изменялся от 1,0 см на краях магнитов до 2,5 см в средней части.

Вся поступающая с датчика Холла информация могла выводиться на печать, перфоленду или перфокарты. Полное время измерений одной карты поля в 6500 точках составляло 3 ч.

### 3. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

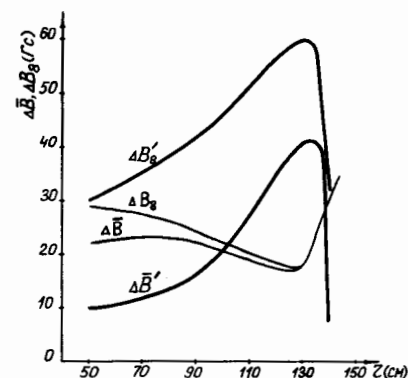
#### 3.1. Неаддитивная суперпозиция полей соседних секторов

Поскольку в зоне распространения магнитного поля каждого сектора реальной магнитной системы ускорителя находятся другие секторы, то это может приводить к изменению состояния железа этих секторов и, следовательно, к некоторому перераспределению магнитных потоков, по сравнению с гипотетической системой, в которой нет взаимного влияния и поля секторов складываются аддитивно. Зная величину взаимного влияния магнитов, можно отказаться от моделирования всей системы магнитов и ограничиться в дальнейшем исследованием одного сектора.

В описываемой установке, состоящей из двух секторов, для выделения эффекта взаимного влияния было проведено три измерения:

- 1 - возбужден первый сектор;
- 2 - возбужден второй сектор;
- 3 - возбуждены оба сектора.

Разность между результатом третьего измерения и суммой результатов первого и второго представляет собой величину взаимного влияния двух соседних магнитов. На рис. 4 приведены результаты



таких экспериментов. Видно, что взаимное влияние приводит к уменьшению результирующих полей на /20+5/ Гс как для средней составляющей, так и для основной / $N=8$ / гармоники. Следует заме-

Рис. 4. Изменение среднего поля и амплитуды основной гармоники за счет взаимного влияния двух соседних магнитов / $\Delta \bar{B}$ ,  $\Delta B_g$ / и при увеличении тока возбуждения на 300 А /сектор ( $\Delta \bar{B}'$ ,  $\Delta B'_g$ ).

тить, что в этих измерениях магниты испытывали одностороннее влияние. В реальной системе, состоящей из восьми секторов, взаимное влияние увеличится примерно в 2,5 раза, при сохранении формы кривых. Это было показано при формировании магнитного поля восьмисекторного циклотрона SIN<sup>5/</sup>.

Так как величина эффекта взаимного влияния составляет ~1% от величины среднего поля, можно было предположить, что в процессе моделирования ею можно пренебречь, а в магнитной системе в натуральную величину - скомпенсировать взаимное влияние путем увеличения тока возбуждения секторов, как это было сделано в SIN<sup>5/</sup>. Однако в нашем случае такой вывод оказалось сделать нельзя.

На рис. 4 показано, как отличаются результаты измерений магнитных полей при увеличении тока возбуждения на 300 А /сектор. Так как форма кривых на рис. 4 резко отличается, увеличение тока возбуждения не может привести к компенсации взаимного влияния одновременно на всех радиусах и, следовательно, для моделирования магнитной системы на одном секторе необходимо внести коррекцию в форму кривой требуемого среднего поля. Величина коррекции, как ясно из предыдущего, представляет собой увеличенное в 2,5 раза значение  $\Delta \bar{B}(R)$ , приведенное на рис. 4.

### 3.2. Формирование среднего магнитного поля

При моделировании магнитов циклотрона в масштабе 1:15<sup>/3/</sup> был проведен предварительный выбор геометрии пазов между полюсом и полюсным наконечником и показана принципиальная возможность формирования требуемых параметров магнитного поля таким способом.

Так как достигнутая в<sup>/3/</sup> точность формирования среднего поля составляла +100 Гс и между конструкциями моделей в масштабах 1:15 и 1:5 нет полного подобия, было признано целесообразным повторить цикл экспериментов по формированию среднего поля с помощью пазов, с тем, чтобы получить отклонение поля от изохронного не более чем на +50 Гс. Предполагается, что с помощью шимм, укрепленных на боковых поверхностях полюсных наконечников, это отклонение будет уменьшено до +10 Гс. Тонкое шиммирование отклонений будет проводиться системой обмоток, укрепленных на обращенных к медианной плоскости поверхностях полюсных наконечников.

На рис. 5 приведены результаты измерений магнитного поля на модели 1:5 при отсутствии пазов /начальная геометрия/. Изображенные на этом графике флаттер  $F$ , частоты свободных колебаний  $Q_r, Q_z$ , изохронное магнитное поле  $\bar{B}_{из}$ , угол спиральности  $\tau$  - вычислялись по формулам:

$$F = \frac{1}{2\bar{B}_{из}^2} \sum_{i=1}^{15} B_{Ni}^2, \quad /1/$$

$$Q_r^2 \approx 1 + n, \quad /2/$$

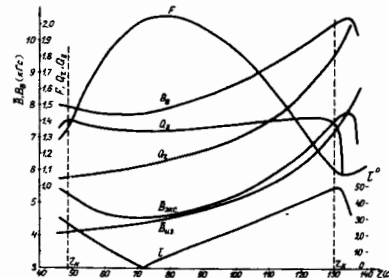


Рис. 5. Характеристики магнитного поля начального варианта полюсных наконечников.  $F$  - флаттер,  $\bar{B}_{из}$ ,  $\bar{B}_{эксп}$  - изохронное и экспериментальное средние поля,  $Q_r, Q_z$  - частоты свободных колебаний,  $B_8$  - амплитуда восьмой гармоники магнитного поля,  $\tau$  - угол спиральности магнитного поля,  $r_n, r_k$  - начальный и конечный радиусы ускорения.

$$Q_z^2 = -n + \frac{N^2}{N^2 - 1} F(1 + 2tg^2\tau), \quad /3/$$

$$\bar{B}_{из} = \frac{B_0 \sigma}{\Lambda \sqrt{1 - \left(\frac{R\sigma}{R_\infty}\right)^2}}, \quad /4/$$

$$\tau = \phi_8 - \arctg\left(\frac{\sin\phi_8 + R \frac{d\phi_8}{dR} \cos\phi_8}{\cos\phi_8 - R \frac{d\phi_8}{dR} \sin\phi_8}\right), \quad /5/$$

$$n = \frac{R}{\bar{B}_{из}} \cdot \frac{d\bar{B}_{из}}{dR}, \quad /6/$$

где  $B_0 = 4019,2$  Гс,  $\Lambda = 1,0425$ ,  $\sigma = 1,0085$ ,  $R_\infty = 155,8$  см,  $N = 8$ ,  $\phi_8$  - фаза основной гармоники магнитного поля,  $B_{Ni}$  - амплитуды гармоник, кратных основной.

Из рисунка видно, что отклонение среднего поля от изохронного достигает 1500 Гс на начальных радиусах и 400 Гс в зоне конечных радиусов. Из рис. 5 следует также, что экспериментально полученные флаттер и угол спиральности в случае изохронного среднего поля обеспечивают значения частот аксиальных колебаний в пределах  $1,35 < Q_z < 1,42$  во всем диапазоне радиусов ускорения. Как показали эксперименты на модели 1:15, изменения флаттера в процессе моделирования не приводят к существенному изменению аксиальной фокусировки и можно получить значение  $Q_z$  в пределах  $1,3 < Q_z < 1,45$ .

Для формирования среднего магнитного поля было проведено 30 экспериментов. В серии этих экспериментов обработке подвергалась плоскость полюсного наконечника, обращенная к яру магнита. Так как исходная кривая среднего магнитного поля /рис. 5/ в об-

ласти радиусов 80-105 см достаточно близка к кривой изохронного поля, полюсной наконечник обрабатывался только в диапазонах радиусов /43,5-78/ см и /100-130/ см.

На первом этапе формирования магнитного поля вплоть до точности  $\pm 100$  Гс в качестве требуемого изохронного поля использовались значения, полученные по приближенной формуле /4/. При этом взаимное влияние магнитов не учитывалось.

При формировании среднего поля с точностью лучше  $\pm 100$  Гс, магнитные измерения сопровождались динамическими расчетами движения частиц в полученных полях, на основании которых было проведено уточнение требуемого изохронного поля. Значение изохронного поля, полученное из динамических расчетов, отличалось на /10-40/ Гс /в зависимости от радиуса/ от значений, получаемых по формуле /4/. На этом же этапе формирования было учтено взаимное влияние магнитов. Конечные результаты по формированию требуемых параметров магнитного поля с помощью пазов приведены на рис. 6, 7.

На рис. 6 показана геометрия полюсного наконечника и отклонение полученного среднего поля от изохронного. Видно, что отклонение не превышает  $\pm 25$  Гс во всем диапазоне радиусов ускорения, что оказалось в два раза лучше предварительно заданной точности формирования.

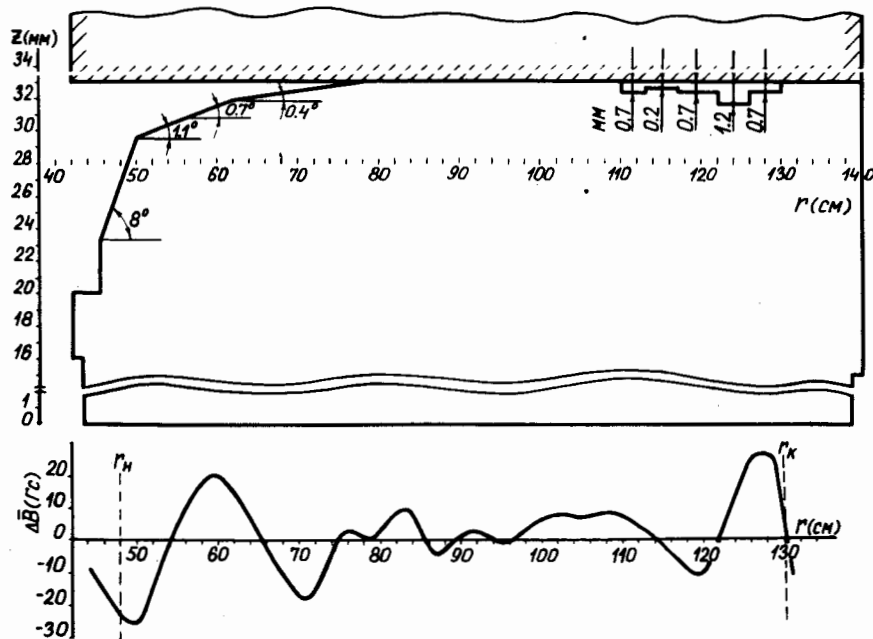


Рис. 6. Конечная геометрия полюсного наконечника и полученные отклонения среднего поля от изохронного.

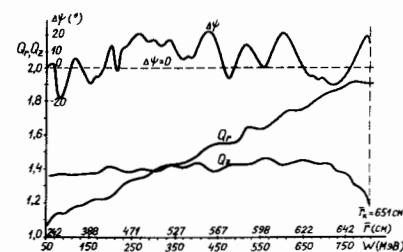


Рис. 7. Результаты расчета динамики движения пучка в сформированном магнитном поле.  $Q_r$ ,  $Q_z$  - частоты радиальных и аксиальных колебаний,  $\Delta\Psi$  - смещение фазы пучка относительно ВЧ-напряжения.

На рис. 7 приведены результаты расчета динамики движения частиц во всей области ускорения от 50 до 800 МэВ. В этом расчете, который проводился с помощью программы MOTION, были использованы экспериментально полученные гармонические составляющие магнитного поля и предварительно определенное численным способом изохронное поле, отличающееся, как было отмечено выше, на  $\pm 25$  Гс от сформированного.

Результаты, приведенные на рис. 7, показывают, что сформированное магнитное поле обеспечивает частоту аксиальных колебаний  $Q_z$  в пределах 1,35-1,45 на всех радиусах, кроме зоны вывода пучка, где частота уменьшается до значения 1,20. Такое уменьшение частоты не представляет опасности, поскольку предполагаемая на данном ускорителе система вывода пучка на основе эффекта расширения орбит приведет к существенному увеличению  $Q_z$  в этой зоне /7/. Из рис. 7 следует также, что фазовое смещение пучка не превышает  $\pm 20^\circ$  во всем диапазоне радиусов ускорения.

### 3.3. Моделирование обмоток тонкой коррекции поля

Для моделирования токовой системы тонкой коррекции поля были изготовлены и укреплены на поверхности полюсного наконечника, обращенной к медианной плоскости, 4 обмотки. Параметры обмоток приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Параметры обмоток тонкой коррекции поля |      |      |      |       |      |
|---|------|------|------|-------|------|
| Номер обмотки                           |      | 1    | 2    | 3     | 4    |
| Минимальный радиус                      | /см/ | 60   | 100  | 129,5 | 102  |
| Максимальный радиус                     | /см/ | 64   | 104  | 133,5 | 138  |
| Радиальная протяженность                | /см/ | 4    | 4    | 4     | 36   |
| Угловая протяженность                   | /°/  | 11   | 12   | 17    | 15   |
| Расстояние до медианной плоскости       | /см/ | 0,85 | 0,85 | 0,85  | 0,85 |

Основное назначение этих обмоток - коррекция среднего поля в пределах  $\pm 10$  Гс и подавление низших гармоник, не превышающих нескольких гаусс.

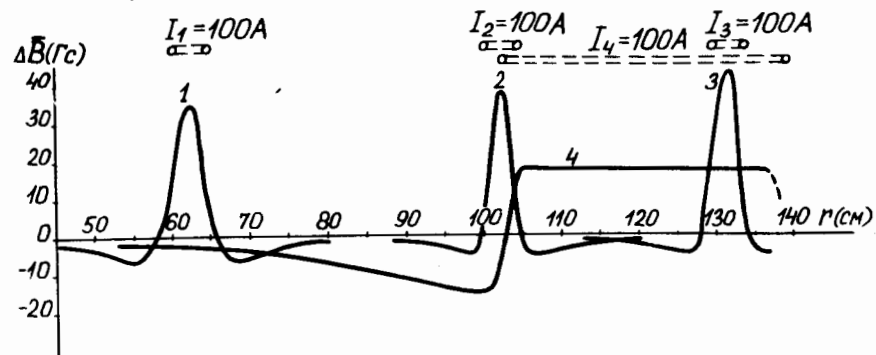


Рис. 8. Среднее магнитное поле обмоток тонкой коррекции при токе возбуждения 100 А. 1-4 - номера обмоток и соответствующих кривых среднего поля.

На рис. 8 показаны результаты выделения среднего магнитного поля, создаваемого обмотками коррекции при токе 100 А. Эти результаты позволили оценить примерное количество обмоток, требуемое для коррекции поля во всем диапазоне радиусов, а также количество ампер-витков.

Оценки, проведенные с помощью ЭВМ, показали, что для формирования среднего поля с точностью, лучшей  $\pm 1$  Гс, система тонкой коррекции поля должна состоять из 25-30 обмоток, с максимальным током 250-300 А /в масштабе 1:1/.

Радиальная протяженность обмоток может быть различной. На начальных и конечных радиусах магнитов, где предъявляются повышенные требования к точности компенсации низших гармоник, целесообразно применение обмоток радиальной протяженностью 20-100 см, вложенных одна в другую <sup>1/6</sup>, а в области средних радиусов достаточным будет применение обмоток с протяженностью, не превышающей 20 см.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты моделирования секторных магнитов циклотрона можно сформулировать следующим образом:

1. С помощью пазов, расположенных между полюсным наконечником и полюсом, достигнута точность формирования изохронного поля  $\pm 25$  Гс.

2. Ранее, на модели в масштабе 1:15, было показано, что с помощью шимм, установленных на боковых поверхностях полюса, указанные отклонения могут быть уменьшены до величины  $\pm 10$  Гс.

3. Моделирование обмоток тонкой коррекции поля позволило оценить их параметры, обеспечивающие компенсацию отклонений среднего поля от значения  $\pm 10$  Гс до значений, при которых происходит ускорение частиц без фазовых потерь.

4. С помощью расчетов динамики движения пучка была показана пространственная и фазовая устойчивость движения частиц в сформированном магнитном поле.

Основные параметры секторных магнитов в масштабах 1:5 и 1:1 приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Основные параметры секторных магнитов

| Параметры сектора                                   | М1:5                    | М1:1  |
|---|-------------------------|-------|
| Диаметр магнита по яруму                            | /см/ 382                | 1910  |
| Высота магнита                                      | /см/ 171                | 855   |
| Вес магнита   | /т/ 5                   | 625   |
| Начальный радиус полюса                             | /см/ 42                 | 210   |
| Конечный радиус полюса                              | /см/ 140                | 700   |
| Межполюсной зазор                                   | /см/ 1,8                | 9     |
| Расстояние от центра обмотки до медианной плоскости | /см/ 9,2                | 46    |
| Размеры поперечного сечения обмотки                 | /см/ 3x10               | 15x50 |
| Ток возбуждения одного полюса                       | /кА/ 19,5               | 97,5  |
| Плотность тока по меди                              | /А/мм <sup>2</sup> / 12 | 2,4   |
| Мощность питания                                    | /кВт/ 40                | 200   |

Авторы выражают благодарность В.Н.Аносову и Е.Д.Городничеву за обеспечение безотказной работы системы измерения магнитного поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Желепов В.П., Дмитриевский В.П., Кольга В.В. ОИЯИ, Р9-9066, Дубна, 1975.
2. Желепов В.П., Дмитриевский В.П. ОИЯИ, 9-10534, Дубна, 1977.
3. Заплатин Н.Л., Самсонов Е.В., Чеснов А.Ф. ОИЯИ, 9-11533, Дубна, 1978.
4. Аносов В.Н. и др. ОИЯИ, Р9-81-537, Дубна, 1981.
5. SIN, Tatigkeitsbericht, 1972, p. 11.
6. SIN, Tatigkeitsbericht, 1971, p. 20.
7. Дмитриевский В.П., Кольга В.В., Полумордвинова Н.И. ОИЯИ, Д9-81-280, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 мая 1983 года.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

|               |   |            |
|---------------|---|------------|
| ДЗ-11787      | Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.   | 3 р. 00 к. |
| Д13-11807     | Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.  | 6 р. 00 к. |
|               | Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/   | 7 р. 40 к. |
| Д1,2-12036    | Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978  | 5 р. 00 к. |
| Д1,2-12450    | Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.   | 3 р. 00 к. |
|               | Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/  | 8 р. 00 к. |
| Д11-80-13     | Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979            | 3 р. 50 к. |
| Д4-80-271     | Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.  | 3 р. 00 к. |
| Д4-80-385     | Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.  | 5 р. 00 к. |
| Д2-81-543     | Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981  | 2 р. 50 к. |
| Д10,11-81-622 | Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980                      | 2 р. 50 к. |
| Д1,2-81-728   | Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.  | 3 р. 60 к. |
| Д17-81-758    | Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.   | 5 р. 40 к. |
| Д1,2-82-27    | Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.  | 3 р. 20 к. |
| Р18-82-117    | Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981. | 3 р. 80 к. |
| Д2-82-568     | Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.  | 1 р. 75 к. |
| Д9-82-664     | Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.   | 3 р. 30 к. |
| ДЗ,4-82-704   | Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.   | 5 р. 00 к. |

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Заплатин Н.Л., Самсонов Е.В., Чеснов А.Ф. 9-83-289  
Моделирование секторных магнитов суперциклотрона /М1:5/

Приводятся результаты экспериментов по моделированию секторных магнитов протонного циклотрона на энергию 800 МэВ. Показано, что с помощью пазов, расположенных между полюсом и полюсным наконечником, отклонения среднего магнитного поля от изохронного уменьшены до  $\pm 25 \cdot 10^{-4}$  Тл. Приводятся результаты моделирования токовых обмоток тонкой коррекции поля. Показано, что для обеспечения условия ускорения пучка без фазовых потерь необходимо использовать /25-30/ обмоток с максимальным током /250-300/ А. Обсуждаются результаты численных расчетов динамики движения частиц в сформированном поле. Показано, что во всем диапазоне радиусов ускорения обеспечена пространственная устойчивость пучка.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Zaplatin N.L., Samsonov E.V., Chesnov A.F. 9-83-289  
Modelling of Sector Magnets of Supercyclotron (Scale 1:5)

The experimental results obtained from the model of sector magnets of proton cyclotron with 800 MeV energy are described. It is shown that due to splits placed between the pole and the pole tip the divergence between average magnetic field and isochronous one decreases up to  $25 \cdot 10^{-4}$  T. The results of modelling the current trim coils are considered. It is shown that in order to accelerate a beam without phase losses (25-30) coils should be used with maximum current (250-300) A. The results of particle dynamic numerical calculations in a formed magnetic field are discussed. It is shown that the beam space stability is provided all over the acceleration range.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.