

M-801

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

УДК 621.384.611.1

9-86-480

**МОРОЗОВ**  
Николай Анатольевич

**МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ФАЗОТРОНА ОИЯИ**

Специальность: 01.04.20 - физика пучков  
заряженных частиц  
и ускорительная техника

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Дубна 1986

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем  
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор технических наук

Н.Д.Заплатин

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

А.А.Арзуманов

кандидат физико-математических наук

Е.Е.Олейник

Ведущая организация: Институт атомной энергии  
им. И.В.Курчатова, Москва.

Защита состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1986г. в \_\_\_\_\_ часов  
на заседании Специализированного совета Д-047.01.03 при лабора-  
тории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследова-  
ний, Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Объединенного института ядерных исследований.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1986г.

Ученый секретарь Специализированного совета  
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работ. В 70-е годы физика элементарных частиц поставила перед ускорительной техникой задачу значительного увеличения интенсивности пучков частиц от ускорителей на энергию до 1 ГэВ - создание мезонных фабрик. На многих из существующих фазотронов проводились и проводятся работы по увеличению интенсивности ускоряемых пучков частиц, а также по расширению диапазона ускоряемых ионов.

В Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований в 1967 г. было предложено провести реконструкцию синхротрона ОИЯИ в фазотрон с пространственной вариацией магнитного поля (фазотрон ОИЯИ, установка "Ф"). Цель реконструкции заключалась в получении внутреннего пучка ускоренных протонов с интенсивностью 10-50 мкА, в повышении его качества, а также в разработке системы вывода пучка с эффективностью 50-70%.

Настоящая диссертационная работа посвящена вопросам формирования магнитного поля фазотрона ОИЯИ. Она является обобщением работ, выполненных по этой проблеме в соответствии с проблемно-тематическим планом Объединенного института ядерных исследований.

Цель работы состояла в проведении комплекса работ по расчету магнитного поля фазотрона, в совершенствовании и разработке методик формирования магнитных полей с пространственной вариацией и получении требуемых характеристик магнитного поля фазотрона ОИЯИ. При этом решаются следующие основные задачи:

1. На основании требований к точности формирования магнитного поля фазотрона определяются требования к системам измерений магнитного поля, разрабатываются программы на ЭМ для анализа результатов измерений и выбора элементов шиммирования поля.

2. Анализируется точность изготовления магнитной системы фазотрона, на основе чего задаются требования к системе элементов шиммирования магнитного поля.

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

3. Осуществляется формирование магнитного поля фазотрона с точностью, необходимой для ускорения протонов до конечного радиуса без потерь. Разрабатываются методы определения положения медианной поверхности среднего магнитного поля.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. На основе сеточной методики расчета разработаны три расчетные модели для магнитной системы установки "Ф", позволяющие проводить оценки возмущений магнитного поля величиной до 100 мТл с точностью 5-10%.

2. Осуществлена практическая реализация двух методов измерения средней радиальной компоненты магнитного поля при точности 0,02 мТл.

3. Разработана методика коррекции положения медианной поверхности магнитного поля фазотрона ОИЯИ.

4. Реализован метод измерения гармоник горизонтальных компонент магнитного поля при помощи датчиков Холла с точностью (0,2-0,3) мТл.

Практическая ценность работы

Проведенные исследования и формирование магнитного поля фазотрона ОИЯИ обеспечили его требуемые характеристики. Физический запуск и наладка систем фазотрона показали, что интенсивность внутреннего ускоренного пучка составляет ~1,6 мкА, отклонение центра ускоренного пучка от средней плоскости ускорительной камеры не более 1,5 см, размер пучка в вертикальном направлении - (1-2) см. Физический пуск ускорителя продемонстрировал правильность основных концепций, реализованных при формировании его магнитного поля.

Расчетные и экспериментально-методические результаты работы могут быть использованы при создании магнитных полей циклотронов и фазотронов с пространственной вариацией, а также в других отраслях науки, применяющих технику формирования магнитных полей.

Апробация и публикации

Основные результаты диссертации опубликованы в 14 работах, приведенных в списке литературы, и докладывались на Всесоюзном совещании по ускорителям ионов низких и средних энергий (Киев, 1981г.), VIII Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц (Протвино, 1982г.), на IX Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 1984г.).

Структура диссертации

Работа состоит из введения, трех глав и заключения; объем - 145 страниц, 84 рисунка, 17 таблиц, список литературы насчитывает 67 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы постановка и актуальность задачи, цель диссертации, отмечены научная новизна и практическая ценность работы.

В главе I сделан обзор особенностей динамики заряженных частиц для фазотрона с пространственной вариацией магнитного поля<sup>ж</sup>, которое приближенно может быть записано в следующем виде:

$$B_z(r, \varphi) = \bar{B}_z(r) + B_z N(r) \cdot \cos(N\varphi - \frac{z}{\lambda}).$$

Для установки "Ф" требуемый закон среднего магнитного поля выбран в виде

$$\bar{B}_z(\xi) = B_0 \exp(0,359 \xi^2 + 0,83 \xi^6 - 2,351 \xi^8 + 1,5 \xi^9 - 0,025 \xi^{10}),$$

где  $B_0 = 1,1902$  Тл,  $\xi = \frac{r}{r_k}$ ,  $r_k = 270$  см,  $N = 4$  - периодичность структуры магнитного поля,  $\lambda = 15$  см - радиальный шаг структуры.

В главе рассмотрены особенности фазового движения частиц в ускорителе. Установлена связь между параметром  $K=1 - \frac{n}{1+n} \frac{1}{\beta^2}$ , где  $n = \frac{z}{B_z} \frac{dB_z}{dz}$ , и допустимыми отклонениями среднего магнитного поля и его градиента от требуемых величин. Сделан обзор теории пространственной устойчивости движения заряженных частиц (линейная теория). Выводы теории использованы для получения допусков на амплитуду вариации магнитного поля  $\Delta B_z$ , производную фазы вариации  $\Delta \varphi_z'$  и градиента среднего поля  $\Delta \frac{dB_z}{dz}$ . Рассмотрение резонансов  $Q_z = 1$ ,  $Q_z = \frac{1}{2}$  определяет допуск на низшие гармоники вертикальной компоненты поля ( $B_{z1}, B_{z2}$ ). Допустимые искажения положения медианной поверхности магнитного поля определяют допуски на величины средней радиальной компоненты  $B_z$  и гармоники радиальной составляющей  $B_{z1} - B_{z2}$  для средней плоскости ускорительной камеры.

Рассмотрены нелинейные резонансные эффекты<sup>жж</sup>. Нелинейный резонанс четвертого порядка в центральной зоне ускорителя  $Q_z = \frac{4}{3}$  определяет допуск на изменение градиента фазы основной гармоники поля  $\Delta \varphi_z'$ .

Расчитаны поля допусков на характеристики магнитного поля для всей области рабочих радиусов ускорителя, при этом выделяются зоны наиболее жестких допусков: допуск на среднее магнитное поле для всей области рабочих радиусов  $\Delta B_z \leq (1-1,5)$  мТл, допуск на градиент среднего поля в зоне конечных радиусов  $\Delta \frac{dB_z}{dz} \leq 0,002$  Тл/м, допуск на ампли-

<sup>ж</sup> А.А.Глазов и др. Атомная энергия, 27, вып. I, 1969г., с.16.

В.Н.Аносов и др. ОИЯИ, 9-8496, Дубна, 1974.

<sup>жж</sup> В.П.Дмитриевский и др. Труды международной конференции по ускорителям. ОИЯИ, Дубна, 1963 г., с.833.



туду первой гармоники поля  $B_{z1} \leq (0,2-1)$  мТл, допуск на среднюю радиальную компоненту поля  $B_r \leq (0,3-0,6)$  мТл. Эти допуски явились определяющими при выработке требований к системе и точности измерений различных компонент магнитного поля фазотрона, к системе программ для анализа результатов измерений и к выбору элементов шиммирования поля.

Во второй главе диссертации проведен анализ точности изготовления магнитной системы фазотрона ОИЯИ, сформулированы требования к системе измерения топографии магнитного поля и описана система программ на ЭВМ для анализа результатов измерений магнитного поля и выбора конфигурации шиммирующих элементов.

Магнитное поле ускорителя создается в зазоре электромагнита Е1-Б с Ш-образным магнитопроводом, диаметр полюсов которого составляет 600 см. В зазор электромагнита помещается ускорительная камера, схема которой показана на рис.1. Для шиммирования магнитного поля в системе предусмотрены элементы 5,7,8,9,10,11.

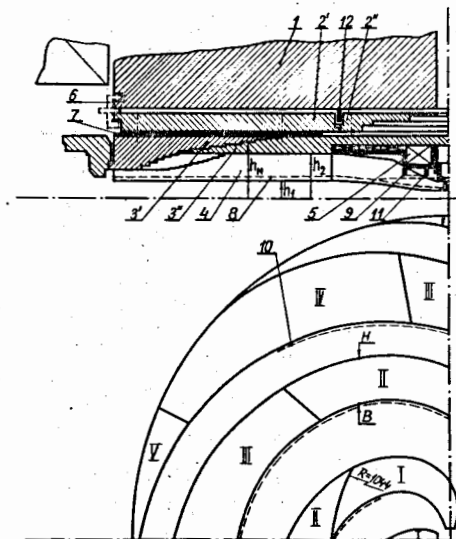


Рис.1. Схема магнитной системы установки "Ф". 1- полюс, 2- внешний диск, 3- внутренний диск, 4- спиральные шиммы, 5- концентрические обмотки, 6- клинья и зацепы, 7- секторные шиммы, 8- корректирующие прутки, 9- обмотки коррекции первой гармоники, 10- боковые накладки, 11- центральные секторные шиммы, 12- расклинивающее устройство.

Анализ точности изготовления магнитной системы ускорителя проводился путем расчета возмущений магнитного поля при помощи двух методов: метода равномерного намагничивания и метода сеток. Первый метод использовался для оценки возмущений магнитного поля от локальных искажений геометрии магнитной системы. Для получения величины возмущений магнитного поля от достаточно протяженных и сложных искажений геометрии магнитной системы установки "Ф", а также для учета разброса магнитных характеристик материалов автором была использована сеточная методика

расчетов на основе системы программ *POISSON*\*. Из-за ограниченного количества узлов сетки ( $\leq 1200$ ) были созданы три расчетные модели, каждая из которых позволяла получать результаты в выделенной области расчета [1,4]. В диссертации приведено сравнение расчетов с экспериментальными результатами. Точность расчета возмущений магнитного поля до уровня 100 мТл при помощи этих моделей составила 5-10%.

Расчетные модели на основе метода сеток были также использованы на этапе шиммирования магнитного поля для получения информации о необходимых изменениях в магнитной системе ускорителя.

При расчете возможных возмущений магнитного поля фазотрона [2] были проанализированы следующие их источники:

1. Неточность изготовления и монтажа ферромагнитных элементов системы. Приводится информация по этой точности. Наибольшую трудность вызвали изготовление и монтаж системы спиральных шимм. На рис.2 приведена часть данных по точности монтажа спиральных шимм. Видно, что она составила  $\sim (0,5-1)$  мм.

2. Технологические изменения, внесенные в конструкцию магнитной системы установки "Ф" при переходе от модели этой системы (М1:5,22).

3. Влияние различных магнитных свойств материала элементов магнитной системы. На основании данных по химическому составу заготовок для магнитной системы ускорителя, полученных с завода-изготовителя, при расчете вводились изменения для кривой намагничивания  $B(H)$  для стали: при индукции  $B = 1$  Тл - 10%,  $B = 1,5$  Тл - 3%,  $B = 2$  Тл - 1%.

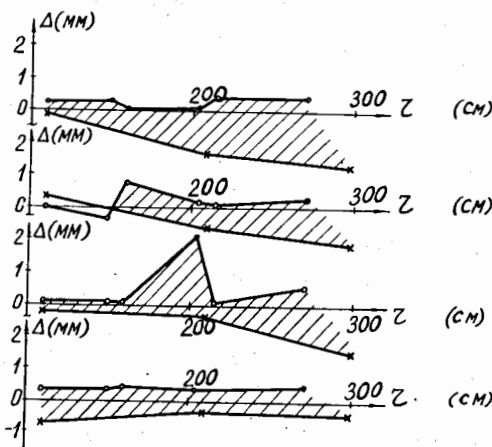


Рис.2. Отклонение проекции контура верхних шимм от контура нижних. о-о — внутренний контур, х-х — наружный контур.

Суммирование всех возможных возмущений магнитного поля фазотрона показало, что отклонение средней вертикальной компоненты поля от требуемой величины может достигать  $\Delta B_z \sim 30$  мТл, первая гармоника -  $B_{z1} \sim 3$  мТл,

средняя радиальная компонента поля  $B_r \sim 10$  мТл. Первоначальные измерения магнитного поля фазотрона практически подтвердили эти расчеты.

\* С.Б.Ворожцов и др. ОИЯИ, Б1-11-12070, Дубна, 1978.

На основе расчета возмущений магнитного поля магнитная система ускорителя была снабжена дополнительными токовыми и ферромагнитными шиммирующими элементами.

Далее во второй главе диссертации рассматриваются требования к системе измерения топографии магнитного поля. На основе данных по допускам на параметры магнитного поля установки "Ф" определены требования к точности измерения каждого параметра. Это позволило установить следующие требования к точности системы измерения поля: точность установки датчика поля по  $z, \varphi, Z$  соответственно 0,2 мм,  $0,005^\circ$ , 1 мм, перекос датчика в плоскости  $z, \varphi$  не более  $1^\circ$ , перекос измерительной штанги -  $2 \cdot 10^{-4}$ . Установлен минимально необходимый шаг измерения топографии поля по радиусу - 2,5 см.

При формировании магнитного поля фазотрона для измерения каждой топографии поля съем информации проводился в среднем в 3000 точках. Для переработки этого объема информации, расчета характеристик магнитного поля и выбора параметров элементов шиммирования была разработана система, состоящая из II программ <sup>10/</sup> на ЭВМ. Все программы, за исключением программы *CYCLOPS*, разработаны автором. Измерения поля проводились в режиме он-лайн или оф-лайн. В диссертации приводится краткое описание функций и возможностей каждой программы.

В третьей главе диссертации рассмотрено шиммирование вертикальной и радиальной компонент магнитного поля фазотрона ОИЯИ, анализируются методы измерений горизонтальных компонент поля и приводятся характеристики пучка ускоренных протонов.

Первоначальные измерения магнитного поля ускорителя <sup>15/</sup> дали следующие результаты:

1. Отклонение среднего магнитного поля от требуемого составило 30 мТл (рис.3, кривая 1).

2. Амплитуды и фазы четвертой, восьмой и двенадцатой гармоник таковы, что для требуемой зависимости среднего поля обеспечивают фокусировку частиц во всем диапазоне рабочих радиусов (рис.4).

3. Амплитуды первой и второй гармоник поля превышают допуск в 2-3 раза, достигая в зоне конечных радиусов величины  $\sim 3$  мТл.

Для формирования магнитного поля в требуемых допусках были использованы все виды шиммирующих элементов. В результате шиммирования вертикальной компоненты магнитного поля <sup>16,7,11/</sup> установки "Ф" среднее поле было сформировано с точностью  $\pm 1,5$  мТл во всем диапазоне рабочих радиусов (рис.3, кривая 6). Амплитуды низших гармоник скорректированы до величины, не превышающей 1 мТл во всем диапазоне рабочих радиусов ускорителя. В области радиусов  $\Delta z = (0-30)$  см амплитуда пер-

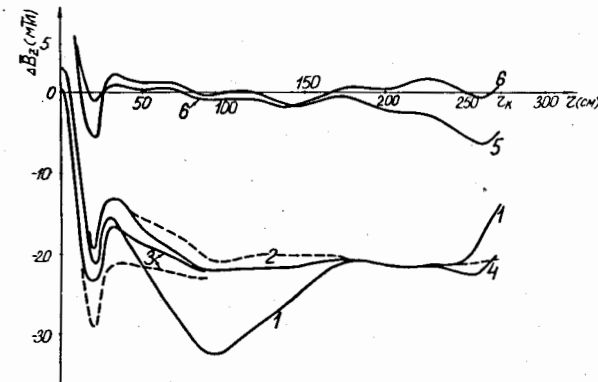


Рис.3. Отклонение среднего поля от требуемого на различных этапах шиммирования поля:  
— эксперимент,  
--- расчет.

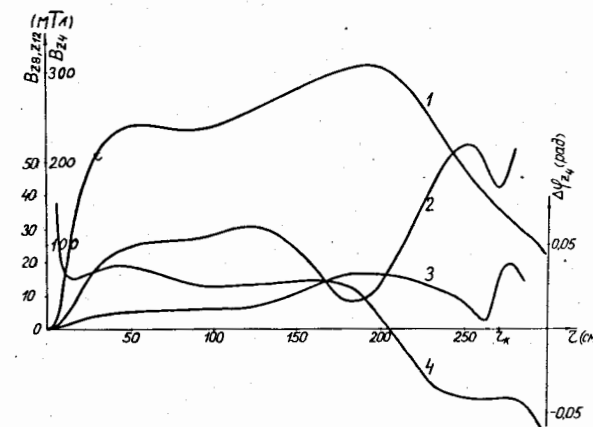


Рис.4. Характеристики магнитного поля:  
1,2,3 - амплитуды четвертой, восьмой и двенадцатой гармоник,  
4 - отклонение фазы четвертой гармоники от осевой линии спиральной шиммы.

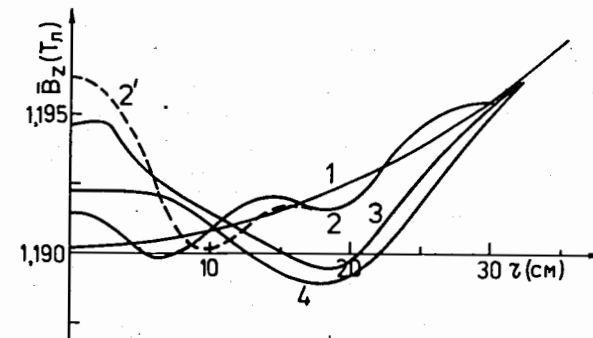


Рис.5. Характеристики средней составляющей вертикальной компоненты магнитного поля фазотрона в центральной области на различных этапах шиммирования поля.

вой гармоники отшиммирована до величины (0,2-0,4) мТл. В диссертации приводятся параметры установленных шиммирующих элементов.

В центральной области фазотрона магнитное поле сформировано в виде двух вариантов поля с бампом при возможности изменения его ам-

плитуды (рис.5, кривая 3)<sup>12,14/</sup>. Подобрана геометрия центра ускорителя, позволяющая использовать вертикальный ионный источник при сохранении всех параметров магнитного поля. Сформированный бамповый вариант среднего магнитного поля обеспечивает вертикальную устойчивость движения частиц ( $Q_z > 0$ ), начиная с первого оборота ускоряемого пучка (рис.6,7).

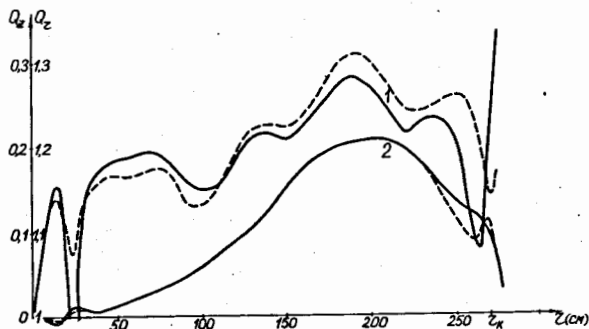


Рис.6. Частоты свободных бетатронных колебаний. 1-  $Q_z$ , 2-  $Q_r$ . — первоначальная конфигурация магнитной системы, - - - после установки шиммирующих элементов.

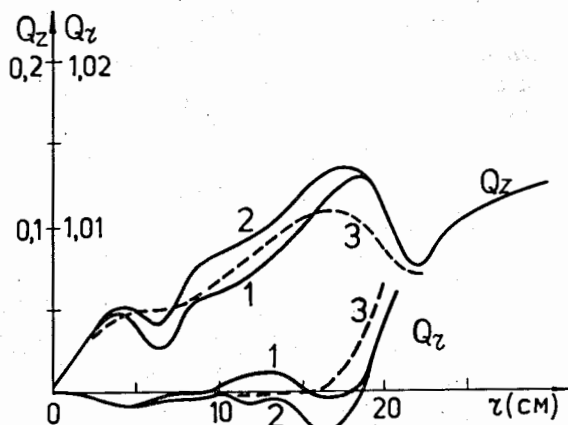


Рис.7. Частоты свободных вертикальных и радиальных колебаний в центральной области фазотрона для бампового варианта среднего магнитного поля.

Были рассчитаны и измерены дополнительные характеристики поля ускорителя, необходимые для определения условий работы ионного источника, решения конструктивных вопросов, связанных с определением усилий, действующих на элементы ускорительной камеры, и размещением оборудования системы транспортировки выведенного пучка. Для предварительного выбора параметров тракта аксиальной инъекции пучка было рассчитано<sup>14/</sup> и измерено магнитное поле вдоль оси вертикального отверстия в магнитной системе фазотрона.

В диссертации проведен анализ точности измерений и осуществлена практическая реализация двух методов измерения<sup>13,9/</sup> средней составляющей радиальной компоненты поля ( $\bar{B}_z$ ). Для первого метода с использованием индукционной катушки производится измерение разности между

значениями средней составляющей вертикальной компоненты поля ( $\Delta \bar{B}_z$ ) для двух плоскостей, отстоящих от средней плоскости ускорительной камеры на расстояние  $\pm \alpha$ . Тогда  $\bar{B}_z$  рассчитывается по формуле

$$\bar{B}_z(R) = -\frac{1}{2\alpha R} \int_0^R \Delta \bar{B}_z(r) \cdot r \cdot dr.$$

Для этого способа измерения  $\bar{B}_z$  проанализировано влияние на точность измерения дрейфа нуля электронного интегратора точности установки датчика и координатного устройства. Систематическая ошибка измерений связана с градиентом среднего магнитного поля ( $\frac{d\bar{B}_z}{dz}$ ) и наклоном датчика в радиальном направлении  $\delta_r$ :

$$\delta_c(\Delta \bar{B}_z) = 2\alpha \frac{d\bar{B}_z}{dz} \delta_r.$$

Суммарная точность измерения по этому методу в центральной области ускорителя ( $\Delta z = (0-50)$  см) составляет  $\pm 0,05$  мТл, в остальной области рабочих радиусов -  $\pm (0,2-0,3)$  мТл.

Второй метод измерения  $\bar{B}_z$  заключается в измерении среднего радиального потока индукции магнитного поля при помощи катушки радиуса  $R$ . Анализ ошибок измерений для этого метода показывает более высокую точность измерения  $\bar{B}_z$ , которая лежит в пределах  $\pm 0,02$  мТл.

Оба метода измерения  $\bar{B}_z$  были использованы при коррекции средней радиальной компоненты магнитного поля в центральной области фазотрона ОИЯИ<sup>18,14/</sup>. Первоначальное значение  $\bar{B}_z \leq 1,5$  мТл было отшиммировано до величины  $(0,2-0,3)$  мТл (рис.8). Для шиммирования  $\bar{B}_z$

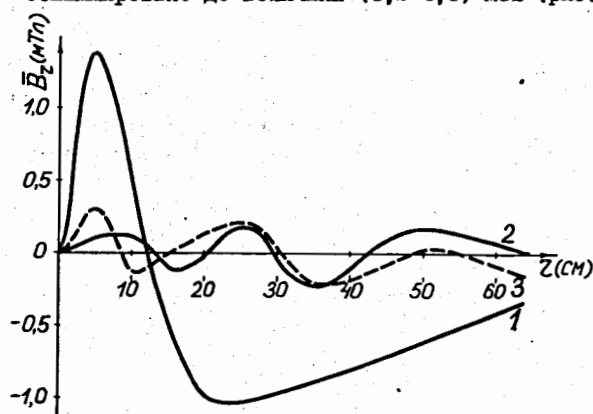


Рис.8. Радиальная компонента магнитного поля в центральной области ускорителя. 1- первоначальные измерения, 2- измерения скорректированного распределения  $\bar{B}_z$ , 3- расчетное распределение  $\bar{B}_z$ .

была выделена средняя радиальная компонента поля для различных корректирующих элементов с точностью не хуже  $0,02$  мТл (рис.9). Шиммирование осуществлялось путем перераспределения уже установленных элементов и установки дополнительных.

Проведено исследование и использован метод измерения гармоник горизонтальных компонент магнитного поля при помощи датчиков

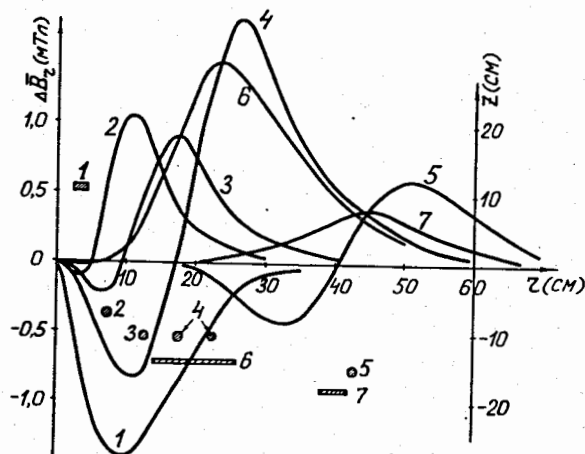


Рис.9. Радиальная компонента магнитного поля шиммирующих ферромагнитных элементов. 1- кольцевая шимма, 2-5 секторные прутки, 6, 7- секторные шиммы.

Холла, жестко сориентированных в радиальном или азимутальном направлениях на измерительной штанге. Анализ ошибок измерений, связанных а) с неточностью ориентации датчика, б) с планарным эффектом, показал, что точность измерения для этого метода составляет (0,2-0,3) мТл.

Проведены измерения гармоник радиальной и азимутальной компонент магнитного поля фазотрона. Величина гармоник горизонтальных компонент поля не превышает 1,5 мТл. Расчеты показали, что максимальный вклад в гармоники вынужденных вертикальных колебаний орбит заряженных частиц дает первая гармоника радиальной компоненты поля в зоне конечных радиусов, и он составляет не более 1,5 мм.

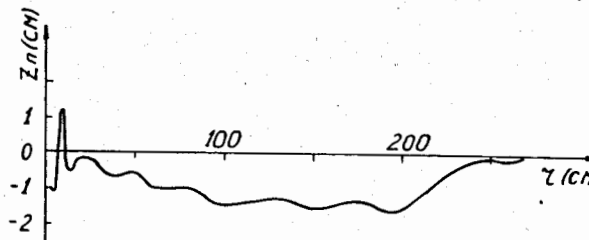


Рис.10. Отклонение центра ускоренного пучка от средней плоскости ускорительной камеры.

Исследование параметров ускоренного пучка при физическом пуске и наладке систем фазотрона ОИЯИ показало необходимое соответствие характеристик сформированного магнитного поля ускорителя установленным для него требованиям. В 1985г. были получены следующие параметры фазотрона: при величине ускоряющего напряжения на дуанте  $V_g = (30-35)$  кВ и частоте повторения импульсов  $f_m = 200$  Гц интенсивность внутреннего пучка составила  $\sim 1,6$  мкА, отклонение центра ускоренного пучка от средней плоскости ускорительной камеры не более 1,5 см (рис.10), размер пучка в вертикальном направлении - (1-2) см.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты, полученные в работе:

1. Создано и опробовано магнитное поле с пространственной вариацией для фазотрона на энергию 680 МэВ, имеющее уникальные параметры для ускорителей такого типа.

2. Сформулированы допуски на точность формирования различных характеристик магнитного поля. Определены минимальные значения допусков в центральной области и в зоне радиусов вывода пучка ускорителя.

3. Использована сеточная методика расчета магнитных полей для получения данных по возмущениям магнитного поля из-за ошибок в изготовлении элементов магнитной системы фазотрона и для расчета полей шиммирующих элементов.

4. Получены данные о точности изготовления магнитной системы ускорителя и проведен их анализ, позволивший определить возможные возмущения магнитного поля. Результаты анализа возмущений позволили задать набор шиммирующих элементов, необходимых для получения с нужной степенью точности характеристик магнитного поля фазотрона.

5. Разработан комплекс программ на ЭВМ, обеспечивающих проведение магнитных измерений в различных режимах, анализ результатов измерений и выбор параметров шиммирующих элементов.

6. Осуществлена разработка методик измерений средней радиальной компоненты магнитного поля ускорителя. Проведены измерения гармоник горизонтальных компонент поля. Проанализирована точность методов измерений горизонтальных компонент магнитного поля.

7. Реализовано формирование вертикальной компоненты магнитного поля фазотрона и проведена коррекция положения медианной поверхности поля. При этом характеристики магнитного поля получены в границах допусков.

8. Измерение характеристик ускоренного пучка при физическом пуске фазотрона ОИЯИ на энергию 680 МэВ показало, что полученное магнитное поле обеспечивает необходимое качество пучка ускоренных протонов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Н.Л.Заплатин, Н.А.Морозов. ОИЯИ, Р9-12587, Дубна, 1979.
2. Ю.Г.Аленицкий, Н.Л.Заплатин, Н.А.Морозов. ОИЯИ, 9-80-792, Дубна, 1980.
3. Н.А.Морозов, П.Т.Шильяников. ОИЯИ, Р9-80-889, Дубна, 1980.
4. Н.Л.Заплатин, Н.А.Морозов. ОИЯИ, Р9-81-476, Дубна, 1981.

5. Ю.Г.Аленицкий, Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич, Н.А.Морозов и др. ОИЯИ, Р9-81-664, Дубна, 1981.
6. Ю.Г.Аленицкий, Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич, Н.А.Морозов и др. Труды Всесоюзного совещания по ускорителям ионов низких и средних энергий. Киев, "Наукова думка", 1982, с.160-163.
7. Ю.Г.Аленицкий, Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич, Н.А.Морозов и др. Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1983, т.2, с.83-86.
8. Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич, Н.А.Морозов и др. ОИЯИ, Р9-82-925, Дубна, 1982.
9. Н.А.Морозов, П.Т.Шишлянников. ОИЯИ, Р9-82-926, Дубна, 1982.
10. Н.Л.Заплатин, Н.А.Морозов. ОИЯИ, Р9-83-122, Дубна, 1983.
11. Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич, Н.А.Морозов и др. ОИЯИ, Р9-83-123, Дубна, 1983.
12. Ю.Г.Аленицкий, Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич, Н.А.Морозов и др. ОИЯИ, Р9-84-152, Дубна, 1984.
13. Ю.Г.Аленицкий, Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич, Н.А.Морозов и др. Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1985, т.1, с.313-315.
14. Ю.Г.Аленицкий, Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич, Н.А.Морозов и др. ОИЯИ, Р9-85-199, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 июля 1986 года.