

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

2524/83

16/5-83

P9-83-123

Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич, Н.А.Морозов,  
П.Т.Шишлянников

ФОРМИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
ФАЗОТРОНА ОИЯИ ( II этап)

1983



В работе /1/ приведены описание магнитной системы фазотрона ОИЯИ /установка "Ф"/, данные по точности сборки и монтажа ее элементов и результаты первого этапа шиммирования среднего магнитного поля и низших гармоник. В настоящем сообщении представлены результаты второго этапа формирования вертикальной компоненты магнитного поля установки "Ф".

## 1. Формирование магнитного поля

в зоне конечных рабочих радиусов ускорителя

В зоне конечных радиусов ускорителя для снижения частоты свободных радиальных колебаний было проведено шиммирование градиента среднего магнитного поля. Шиммирование было осуществлено при помощи секторных прутков  $\phi 10$  мм, установленных на радиусах  $r = 252,5; 257,5; 262,5$  см. Их расположение по высоте и количество приведены на рис.1. На этом же рисунке показаны отклонения среднего магнитного поля от требуемого закона до и после установки корректирующих прутков /кривые 1 и 2 соответственно/, а также частоты радиальных колебаний /кривые 3 и 4/. Видно снижение частоты  $Q_r$  до величины 1,09 на радиусе  $r_k = 270$  см. Дальнейшее формирование магнитного поля в зоне конечных радиусов было решено проводить после установки элементов системы вывода пучка из камеры ускорителя.

## 2. Центральная область ускорителя

В центральной области установки "Ф" первоначальное отклонение среднего магнитного поля от требуемого закона достигало 20 мТ для  $r = 0$  /рис.2, кривая 1/. На первом этапе шиммирование было осуществлено при помощи следующих операций: доработка центральной втулки /I/; установка на прижиме центральной втулки шпилек М8,  $\Delta h = 20$  мм,  $r = 6$  см /II/; изготовление в спиральных шиммах полостей,  $\phi 16$  мм,  $\Delta h = 10$  мм,  $r = 10$  см /III/, и установка корректирующих секторных прутков,  $\phi 10$  мм,  $r = 17,5$  см /2 шт./ и  $r = 22,5$  см /1 шт./ /IV/.

Результаты этого этапа формирования магнитного поля представлены кривой 2 на рис.2. Видно, что отклонение от требуемого поля не превышает 2 мТ, при снижении уровня поля на 1,5 мТ отклонение от требуемого закона составило  $\pm 0,5$  мТ.

Формирование магнитного поля установки "Ф" с целью экономии времени осуществлялось без вакуумного расклинивания ускорительной камеры. Влияние вакуумного расклинивания на магнитное поле в центральной области представлено кривой 3 на рис.2.

Следующим этапом работы по формированию магнитного поля в центральной области ускорителя была коррекция положения ме-



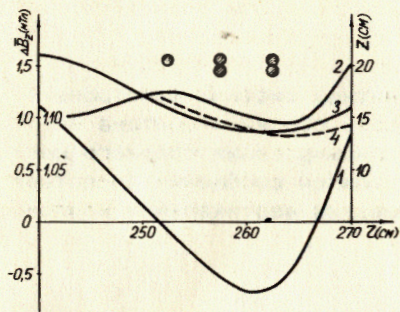


Рис.1. Характеристики магнитного поля в области конечных радиусов. 1 - отклонение от требуемого поля до установки прутков; 2 - то же после установки прутков; 3,4 -  $Q_r$  до и после установки прутков.

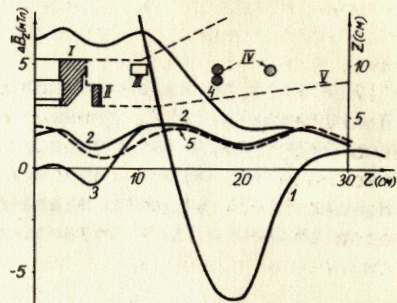


Рис.2. Геометрия и магнитное поле для центральной области установки "Ф". I - центральная втулка; II - шпилька М8; III - полость в спиральной шимме  $\phi 16$ ; IV - корректирующие прутки; V - контур спиральной шиммы; 1 - исходное отклонение среднего магнитного поля от требуемого закона; 2 - после первого этапа шиммирования; 3 - после расклинивания камеры ускорителя под вакуумом; 4 - после шиммирования радиальной компоненты поля; 5 - окончательный результат.

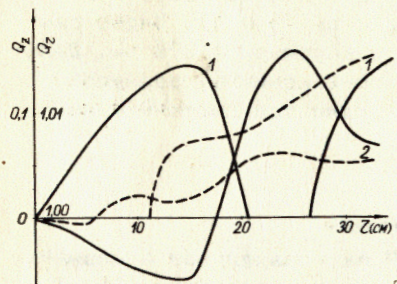


Рис.3. Частоты свободных колебаний частиц. 1 -  $Q_z$ ; 2 -  $Q_r$ ; — - начальное распределение; --- - окончательное распределение.

дианной поверхности поля. В сообщении [2] доложены результаты этой работы и рассмотрены использованные элементы шиммирования. Коррекцию медианной поверхности поля не удалось провести путем использования перераспределения уже установленных ферромагнитных элементов, что привело к увеличению отклонения среднего магнитного поля от требуемого до 6 мТ /рис.2, кривая 4/.

На окончательном этапе шиммирования поля путем снятия со спиральных шимм одной из заглушек М16,  $\Delta h = 30$  мм,  $r = 10$  см, и уменьшения угловой протяженности секторных прутков на  $r = 17,5$  см магнитное поле было сформировано с точностью не хуже, чем на первом этапе /кривая 5/. Эти результаты соответствуют уже вакуумному расклиниванию ускорительной камеры. На рис.3 представлены распределения частот свободных колебаний  $Q_r$  и  $Q_z$  для центральной области до и после окончательного шиммирования магнитного поля.

Для получения более эффективного вывода ускоряемых частиц в центральной области фазотрона была проведена коррекция первой

гармоники поля. Эта коррекция была выполнена без возмущения сформированного среднего магнитного поля путем перераспределения по азимуту уже установленных корректирующих прутков на радиусах  $r = 12,5$  и  $22,5$  см. Результаты коррекции представлены на рис.4.

Для оперативной настройки ускорителя по качеству пучка в центральной области магнитной системы установки "Ф" предусмотрены четыре пары concentрических обмоток и две гармонические катушки.

На рис.5 приведены экспериментальные результаты по выделению вкладов в среднее магнитное поле concentрических обмоток при максимальном токе в них. Для сравнения для одной из катушек дан

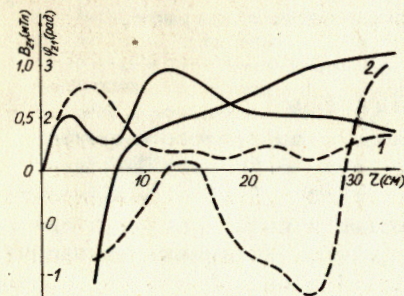


Рис.4. Амплитуда и фаза первой гармоники магнитного поля фазотрона. 1 - амплитуда; 2 - фаза; — - начальное распределение, --- - распределение после шиммирования.

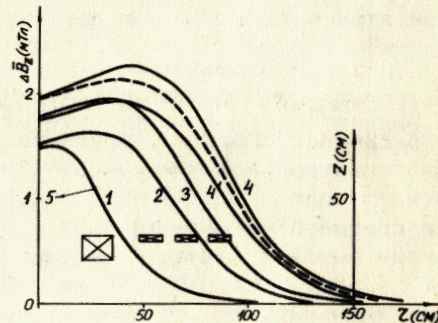


Рис.5. Вклады concentрических обмоток. 1-4 - эксперимент; 1'-4' - расчет; --- - расчет с привязкой к эксперименту по  $r = 0$ .

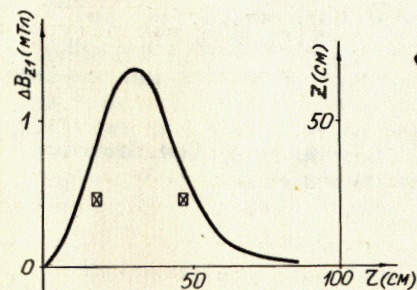


Рис.6. Характеристики гармонических обмоток. 1,2 - фазы возмущений первой гармоники магнитного поля от обмоток.

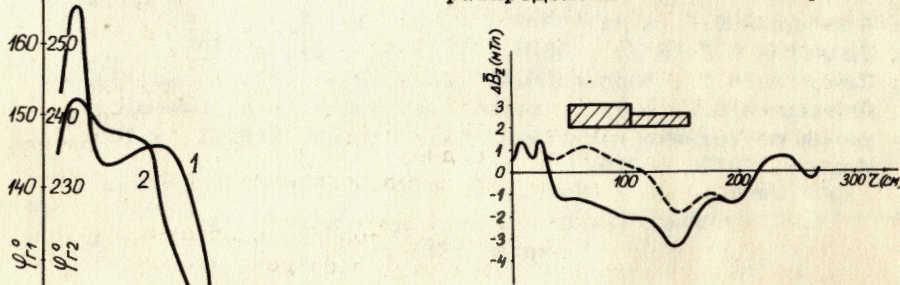


Рис.7. Отклонение сформированного среднего магнитного поля от требуемого закона. — - начальное распределение; --- - распределение после шиммирования.



результат расчета ее вклада при помощи расчетной модели магнитной системы на основе метода сеток <sup>1/3</sup>/кривая 4<sup>1</sup>/. Пунктирная кривая показывает результаты расчета поля концентрической обмотки с привязкой к экспериментальному значению, полученному в центре ускорителя, при этом точность совпадения кривых составляет 5-10%. Это еще раз подтверждает вывод о том, что в ускорителях подобного типа получение вкладов концентрических обмоток может быть с достаточной для практических целей точностью осуществлено расчетным способом, но с привязкой к экспериментальным данным на  $r = 0^{1/4}$ .

На рис.6 показаны возмущения амплитуды первой гармоники вертикальной компоненты магнитного поля ускорителя и зависимости фазы этих возмущений для двух пар гармонических катушек.

### 3. Средняя область рабочих радиусов

В средней области рабочих радиусов фазотрона после шиммирования центральной и конечной областей отклонение среднего магнитного поля от требуемого закона достигало 4,5 мТ. Дошиммирование среднего магнитного поля в этой области было проведено при помощи боковых накладок на спиральные шиммы. Установка накладок  $\Delta r = 50-105$  см,  $\Delta l = 10$  мм и  $\Delta r = 105-155$  см,  $\Delta l = 6$  мм/ позволила уменьшить это отклонение до 2 мТ. Результаты шиммирования приведены на рис.7.

Расчетный и экспериментальный анализ точности измерения характеристик вертикальной компоненты магнитного поля фазотрона показал, что точность определения средней компоненты поля и амплитуд гармоник составляет  $\pm 0,05$  мТ, для фазы четвертой гармоники ошибка равна  $\pm 0,003^\circ$ , для низших гармоник при значениях их амплитуд  $\sim 0,2-0,3$  мТ ошибка измерения их фазы возрастает до  $\pm 5-10^\circ$ .

Таким образом, магнитное поле сильноточного фазотрона ОИЯИ полностью сформировано для осуществления физического пуска ускорителя.

Авторы благодарят А.Н.Кокарева, Г.Н.Сайфулину, С.И.Чеснову за помощь в проведении измерений магнитного поля.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аленицкий Ю.Г. и др. ОИЯИ, Р9-81-664, Дубна, 1981.
2. Заплатин Н.Л. и др. ОИЯИ, Р9-82-925, Дубна, 1982.
3. Заплатин Н.Л., Морозов Н.А. ОИЯИ, Р9-12587, Дубна, 1979.
4. Аленицкий Ю.Г. и др. Труды Международного рабочего совещания по технике изохронных циклотронов. REPORT No.1069/PL, Краков, 1978, с.219.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 марта 1983 года,

Заплатин Н.Л. и др.

Р9-83-123

Формирование магнитного поля фазотрона ОИЯИ /II этап/

Работа посвящена формированию магнитного поля фазотрона ОИЯИ. Ее целью является получение заданной зависимости среднего магнитного поля от радиуса и обеспечение амплитуд низших гармоник поля, которые по величине меньше допустимых. Дана информация о проведенных изменениях в магнитной системе фазотрона. В результате шиммирования получена точность формирования среднего магнитного поля ускорителя  $\pm 1,5$  мТ; амплитуды низших гармоник не превышают 1 мТ во всем диапазоне рабочих радиусов. В сформированном магнитном поле обеспечиваются вертикальная и радиальная устойчивость движения ускоряемых частиц и необходимые параметры фазового движения. Представлены данные по магнитному полю для токовых корректирующих обмоток ускорителя.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Zaplatin N.L. et al.

Р9-83-123

The Magnetic Field Shaping for the JINR Phasotron /II Stage/

The shaping of the magnetic field of the JINR phasotron is described. The purpose of this investigation was to obtain the required dependence of the average magnetic field on radius and required accuracy for the field low harmonics amplitudes. The shaping of the magnetic field resulted in deviation of 1.5 mT in an average magnetic field and the low harmonics amplitudes were less than 1 mT for all radii. The vertical and radial focusing of charged particles and the phase stability were realised. The data obtained for the trim coils of the magnetic field are presented.

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.