

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

P9-85-258

Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич, А.Ф.Чеснов,
С.И.Чеснова, П.Т.Шишляников

ФОРМИРОВАНИЕ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ФАЗОТРОНА ОИЯИ
С СИСТЕМОЙ ВЫВОДА ПУЧКА

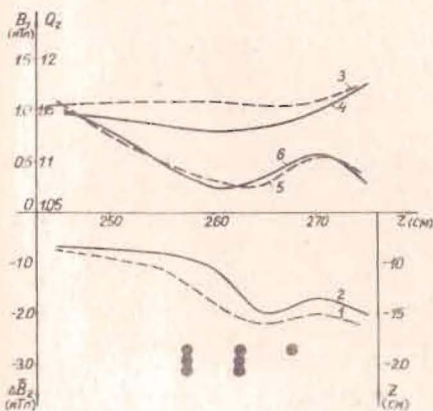
1985

В работе ^{1/} приведены результаты предварительного шиммирования возмущений магнитного поля фазотрона ОИЯИ, обусловленных железотоковым каналом /ЖТК/ ^{2/}. Было показано, что с помощью секторных ферромагнитных пластин можно отшиммировать среднее магнитное поле и низшие гармоники и получить требуемое значение частот свободных колебаний ^{3/} на конечных радиусах ускорителя.

В данном сообщении представлены конечные результаты по формированию магнитного поля фазотрона в зоне вывода.

1. ШИММИРОВАНИЕ ПЕРВОЙ ГАРМОНИКИ ОСНОВНОГО ПОЛЯ БЕЗ СИСТЕМЫ ВЫВОДА ПУЧКА

На этапе физического пуска фазотрона ^{4/} первая гармоника основного магнитного поля B_{z1} в зоне вывода не превышала величины $\sim 0,8$ мТл. После установки головных элементов системы транспортировки пучка /поворотный магнит СП-35 и фокусирующие линзы/, величина B_{z1} для $r = /250 \div 270/$ см составила $\sim 1,1$ мТл. Шиммирование B_{z1} было осуществлено при помощи секторных ферромагнитных прутков $\phi 10$ мм, установленных в двух долинах на радиусах $r = 257,5; 262,5; 267,5$ см, начиная с азимута $\phi = 75^\circ$ /отсчет по азимуту производится по часовой стрелке от оси горизонтального ионного источника/. Их расположение по высоте и количество приведены на рис.1. Здесь же показаны отклонения среднего магнитного поля $\Delta \bar{B}_z$ от требуемого до и после установки прутков /кривые 1 и 2 соответственно/, а также частоты радиальных бетатронных колебаний Q_r /кривые 5 и 6/.



Видно, что величина B_{z1} /кривая 4/, для области начала раскочки радиальных колебаний $r = /260 \div 265/$ см не превышает $\sim 0,8$ мТл и соответствует допуску на первую гармонику основного магнитного поля в зоне вывода ^{5/}.

Рис.1. Отклонение среднего магнитного поля от требуемого $\Delta \bar{B}_z$, амплитуда первой гармоники B_{z1} и частота радиальных колебаний Q_r до /1,3,5/ и после /2,4,6/ установки прутков без системы вывода пучка.

Объединенный институт ядерных исследований
 МАССОНЬСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

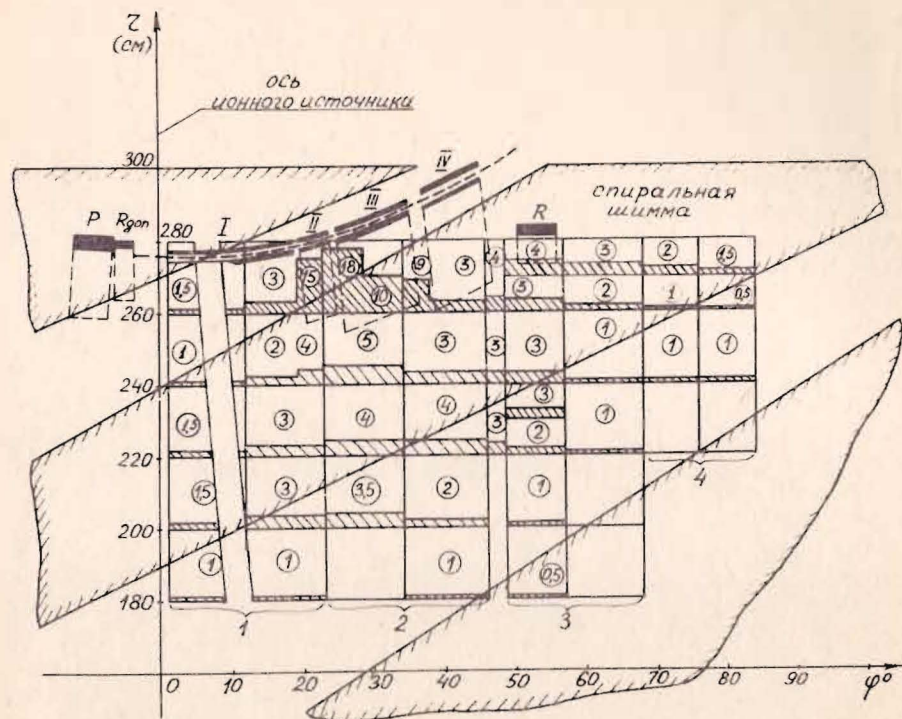


Рис.2. Схема размещения элементов системы вывода пучка фазотрона. P - возбудитель, R_{доп.} - дополнительный регенератор, R - регенератор, I ÷ IV - секции железно-токового канала, (i) - толщина в мм секторных шимм, 1÷4 - дюралюминиевые листы для крепления секторных шимм.

2. КОМПЕНСАЦИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ПОЛЯ ОТ ЖЕЛЕЗНО-ТОКОВОГО КАНАЛА

Схема расположения элементов системы вывода пучка относительно спиральных шимм приведена на рис.2. Здесь же показаны размещение секторных шимм и их толщины /заштрихованные области и цифры над ними/ для данного этапа шиммирования возмущений основного магнитного поля, обусловленных железно-токовым каналом. Выбор размеров секторных шимм проводился расчетным способом на основе метода равномерного намагничивания, с помощью программы МАFCOD¹⁶. В расчете каждая шимма заменялась пленками тока, расположенными по ее периметру, учитывались реальные зазоры магнитной системы в месте расположения секторной шиммы и усредненные значения намагниченности, найденные из эксперимента.

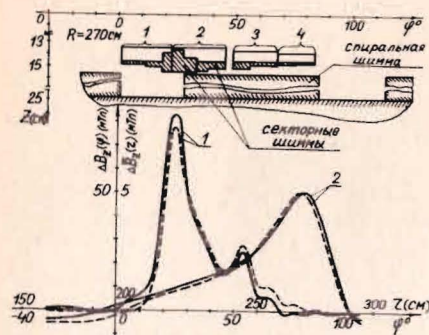


Рис.3. Поперечное сечение /r = 270 см/ и распределение магнитного поля секторных шимм в зоне вывода. 1 - $\Delta B_z(\phi)$ для r = 270 см. 2 - $\Delta B_z(r)$. — — — эксперимент, - - - - расчет.

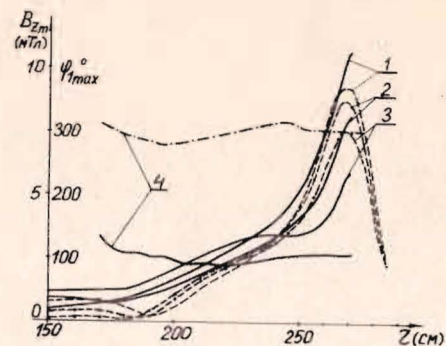


Рис.4. Амплитуды низших гармоник магнитного поля возмущений от канала и расчетные амплитуды поля секторных шимм в зоне вывода; 1 - первая гармоника, 2 - вторая гармоника, 3 - третья гармоника, 4 - фаза первой гармоники, — — — эксперимент, - - - - расчет.

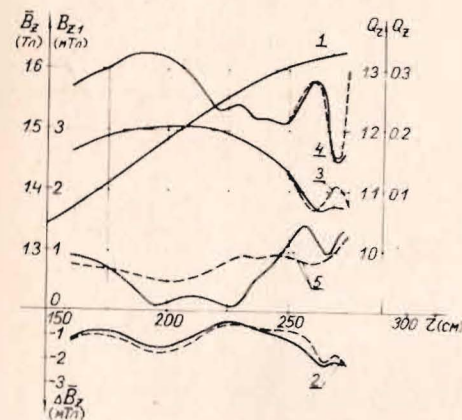


Рис.5. Характеристики магнитного поля фазотрона на конечных радиусах. 1 - $\bar{B}_{z\text{треб.}}$, 2 - $\Delta \bar{B}_z$, 3 - Q_z , 4 - Q_z , 5 - B_{z1} . - - - - без системы вывода, — — — с отклоняющим каналом, выведенными элементами системы заброса /возбудитель и регенератор/ и секторными шиммами, показанными на рис.2.

На рис.3 показаны поперечное сечение секторных шимм, расчетное и экспериментальное распределения поля в азимутальном направлении /кривые 1/ для r = 270 см и вклад в среднее поле в зависимости от радиуса /кривые 2/. Из этих кривых видна зона возмущения магнитного поля железно-токовым каналом и максимальные величины отклонения, достигающие $\Delta \bar{B}_z(\phi) = 83$ мТл, $\Delta \bar{B}_z(r) = 5$ мТл.

Результаты гармонического анализа возмущающего поля от канала и расчетные амплитуды гармоник от секторных шимм представлены на рис.4. Из анализа расчетных и экспериментальных кривых видно, что точность расчета составляет ~10%.

Характеристики магнитного поля фазотрона с отклоняющим каналом и секторными шиммами показаны на рис.5. Измерения магнитного поля проводились с азимутальным шагом $\Delta\phi = 5^\circ$ для всего интервала радиусов. Элементы системы заброса /возбудитель - Р и регенератор R / находились в камере ускорителя, но были отведены от рабочего положения на 16 см и 24,6 см соответственно. Кривые 2 характеризуют отклонения среднего магнитного поля от требуемого /кривая 1/: без системы вывода - пунктирная кривая, и с отклоняющим каналом - сплошная кривая. Имеющиеся отклонения $\Delta\bar{B}_z$, с максимальной величиной ~ 2 мТл, не приводят к существенным фазовым потерям в процессе ускорения пучка, что было показано на этапе физического пуска фазотрона. Среднее магнитное поле, амплитуда и фаза четвертой гармоники обеспечивают вертикальную и радиальную устойчивость движения заряженных частиц и удовлетворяют требованиям регенеративного метода вывода по частотам радиальных Q_r /кривые 3/ и вертикальных Q_z /кривые 4/ бетатронных колебаний / $1,05 \leq Q_r \leq 1,1$; $0,15 \leq Q_z \leq 0,25$ /. Амплитуда первой гармоники поля /кривые 5/ находится вблизи требуемой величины.

3. ШИММИРОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ШИММ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА СЕКЦИЯХ КАНАЛА

При расчете и моделировании железно-токовой^{/2/} и ферромагнитных секций^{/7/} канала было показано, что при отшуммированном поле в среднем сечении, на краях секций имеются выбросы поля противоположного знака с максимальной величиной до 60 мТл. Азимутальные и радиальные протяженности выбросов поля соответственно равны -15 см и -3 см. Для шиммирования краевых возмущений измерения магнитного поля проводились с шагом по азимуту $\Delta\phi = 1^\circ$ в диапазоне радиусов $r = /267,5 \div 273,5/$ см.

На рис.6 приведены отклонения магнитного поля вдоль азимута от невозмущенного значения для $r = 270, 272$ и $273,5$ см, конечная конфигурация шиммирующих пластин ферромагнитных секций и силы возмущающего поля $(\frac{d\Delta B_z}{dr} \cdot \Delta\theta)$ для азимуты $\phi = 93^\circ, 111^\circ$ и 112° соответственно, а также силы возбудителя и регенератора. Из кривых отклонения магнитного поля по азимуту видно, что краевые возмущения достигают величины ~ 55 мТл с азимутальной протяженностью $\sim 1^\circ$.

Сравнивая силы Р и R с силами краевых возмущений /кривые ①, ②, ③/, можно отметить, что:

- 1/ на начальном этапе раскочки радиальных колебаний $r \leq 271$ см, где происходит снижение частоты свободных радиальных колебаний до значения $Q_r = 1$, возмущающие поля незначительны;
- 2/ на последних оборотах возмущающие силы достигают $\sim 20\%$ от сил Р и R и могут влиять на величину заброса пучка в канал. Как следует из работы^{/5/}, данный эффект может быть скомпенсирован за счет радиальных перемещений Р и R.

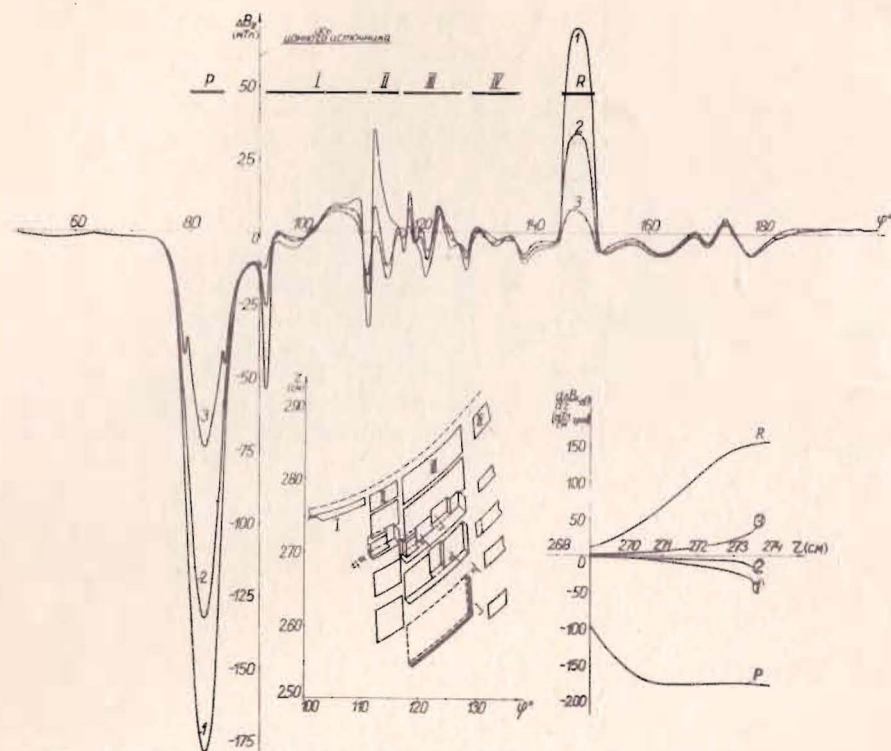
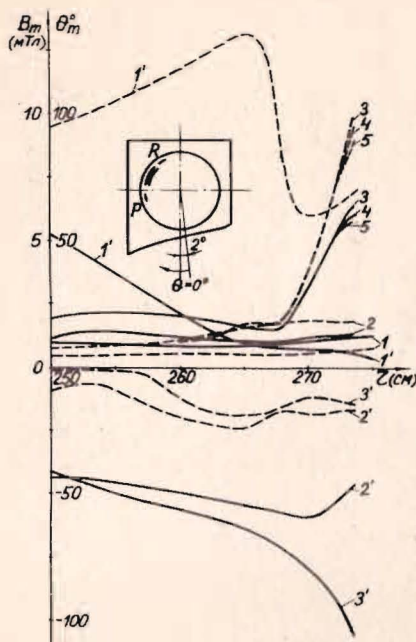


Рис.6. Отклонения магнитного поля от невозмущенного на $r = 273,5; 272$ и 270 см /кривые 1,2,3/ для выбранной конфигурации шимм секций канала /сплошная линия, пунктир - первоначальная/ и секторных шимм рис.2. Силы возбудителя (Р), регенератора (R) и краевых возмущений поля $(\frac{d\Delta B_z}{dr} \cdot \Delta\theta)$ для азимуты $\phi = 93^\circ, 111^\circ$ и 112° /кривые ①, ②, ③/.

Результаты гармонического анализа сформированного поля в зоне вывода приведены на рис.7. Кривые 1,1' характеризуют амплитуды и фазы первой /сплошная/ и второй /пунктир/ гармоник поля без системы вывода. Аналогичные кривые /2,2'/ получены с отклоняющим каналом без системы заброса. Кривые 3, 3' характеризуют воздействие Р и R; 4 - действие Р, R и дополнительного регенератора $R_{доп.}$ установленного так, как показано на рис.2; 5 - результаты гармонического анализа поля, измеренного на расстоянии $0,5$ см от средней плоскости ускорителя с системой вывода, как в случае 4.

Из анализа представленных кривых видно, что железно-токовый канал не вносит заметных возмущений в основное поле фазотрона.



Выбранные аксиальные апертуры элементов системы вывода обеспечивают рабочие характеристики поля для $z \leq 0,5$ см /экспериментально измеренный аксиальный размер пучка составляет $0,9$ см^{1/5}/.

Рис.7. Амплитуды и фазы первой /сплошные линии/ и второй /пунктир/ гармоник магнитного поля в зоне вывода, 1,1' - без системы вывода, 2,2' - с отклоняющим каналом /Р и R отведены от рабочего положения/, 3,3' - с системой вывода /Р и R в рабочем положении/, 4 - с системой вывода /Р, R и R_{доп} в рабочем положении/, 5 - элементы системы вывода, как в 4, но поле измерено для $z = 0,5$ см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты по формированию магнитного поля фазотрона с системой вывода пучка можно сформулировать следующим образом:

1. Сформированное магнитное поле обеспечивает возможность ускорения пучка до конечного радиуса с отклоняющим каналом.
2. В области раскочки радиальных колебаний магнитное поле удовлетворяет требованиям регенеративного метода вывода пучка для $z \leq 0,5$ см.

Авторы выражают благодарность В.П.Дмитриевскому и Л.М.Онищенко за постоянное внимание к работе, В.В.Ахманову и В.В.Калиниченко - за обеспечение работы системы питания железно-токовой секции канала, В.Н.Саенко, Г.Н.Сайфулиной и З.Н.Шишлянниковой за помощь в проведении магнитных измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заплатин Н.Л. и др. Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1983, т.2, с.87-89.

2. Василенко А.Т. и др. ОИЯИ, Р9-12586, Дубна, 1979.
3. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, 9-3951, Дубна, 1968.
4. Аленицкий Ю.Г. и др. ОИЯИ, Р9-84-641, Дубна, 1984, с.66.
5. Ворожцов С.Б. и др. ОИЯИ, Р9-84-594, Дубна, 1984.
6. Yang I.E. Proc. of MT-5. Roma, 1975, p.203.
7. Дмитриевский В.П. и др. ОИЯИ, Р9-6880, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 апреля 1985 года.