

с 343
В-751
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

9 - 5591

С.В. Ворожцов

**МАГНИТНАЯ СИСТЕМА ФАЗОТРОНА
С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ВАРИАЦИЕЙ ПОЛЯ**

Специальность 052 - электрофизика

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1971

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Н.Л. Заплатин

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Ю.М. Адо

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

В.Н. Канунников

Ведущее предприятие: Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры имени Ефремова.

Автореферат разослан " " 1971 года.

Защита диссертации состоится " " 1971 года на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Адрес: г. Дубна, Московской области, Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Ю.А. Батусов

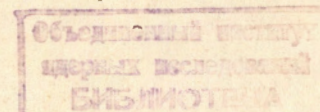
С.В. Ворожцов

**МАГНИТНАЯ СИСТЕМА ФАЗОТРОНА
С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ВАРИАЦИЕЙ ПОЛЯ**

Специальность 052 - электрофизика

Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

4553 69



В настоящее время во многих синхроциклотронных лабораториях мира разрабатываются или уже осуществляются реконструкции действующих ускорителей^{/1/}.

В Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) в течение ряда лет под научным руководством члена-корреспондента АН СССР В.П. Желепова и профессора В.П. Дмитриевского проводятся работы по созданию ускорителей циклотронного типа с пространственной вариацией магнитного поля. Усовершенствование синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ предполагается осуществить введением пространственной вариации и растущего среднего магнитного поля, не достигающего, однако, изохронной зависимости. Как показано в работе^{/2/}, такая модификация синхроциклотрона позволит увеличить ток протонов до ≈ 50 мка. Основные параметры модифицируемого фазотрона ОИЯИ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Конечная энергия (Мэв)	Средняя интенсивность (мка)	Число спиралей N	Амплитуда В.Ч. (кв)	Диапазон частот (Мгц)	Частота модуляции (гц)
700	50	4	40	18,2-14,2	700
Магнитное поле (кгс)	Внешний радиус (см)	Параметр спирали (см)			
12-16	300	60			

Реферируемая диссертация посвящена одному из наиболее сложных и трудоемких вопросов создания фазотрона с пространственной вариацией (установка "Ф") - формированию требуемого магнитного поля ускорителя.

Для установки "Ф" закон изменения магнитного поля в цилиндрической системе координат для плоскости симметрии ($Z = 0$) выбран в виде:

$$H_z(r, \phi) = H(r) \left[1 + \epsilon_N(r) \cos\left(\frac{r}{\lambda} - N\phi\right) \right],$$

где:

$$H(r) = H_0 \exp(0,359 \xi^2 + 0,83 \xi^6 - 2,351 \xi^8 + 1,5 \xi^9 - 0,025 \xi^{10}),$$

$$H_0 = 11902 \text{ э/см}; \quad \xi = \frac{r}{r_k}, \quad r_k = 270 \text{ см.}$$

$$\epsilon_N(r) = \frac{H_N(r)}{H(r)} \text{ - глубина вариации поля.}$$

Амплитуда основной гармоники $H_N(r)$ для выбранного среднего поля $H(r)$ определялась при постоянном значении параметра спиральности поля $N\lambda$ и для заданной зависимости частоты свободных вертикальных колебаний /3,4/.

В пределах зазора электромагнита синхроциклотрона ОИЯИ ($2h_M = 120 \text{ см}$) и с учётом других геометрических ограничений были определены основные элементы магнитной системы реконструируемого ускорителя. Расчётным и экспериментальным путем сделана оценка необходимых геометрических размеров модели магнитной системы. Серия экспериментов с прямолинейными брусками позволила оценить угловой размер $a_1(r)$ и

минимальное расстояние до медианной плоскости $h_1(r)$ спиральных шимм. Эксперименты с одной парой спиральных шимм и парой кольцевых показали возможность формирования заданного перепада среднего поля.

Моделирование поля магнитной системы с коэффициентом подобия $k = 5,22$ производилось с целью подтверждения выбранных основных параметров и уточнения конфигурации спиральных и кольцевых шимм. Требования к формированию магнитного поля изложены в работах /4,5/ и для модели магнитной системы, в основном, сводятся к следующему:

а) в центральной области необходимо выполнение условия $0 \leq \Delta H \leq 8 \text{ э}$, где ΔH - отклонение среднего поля от требуемого;

б) допуск на градиент среднего поля изменяется с радиусом $|\Delta \frac{dH}{dr}| \approx (2,3-11) \text{ э/см}$ для $r = 12-51,7 \text{ см}$, соответственно;

в) в зоне вывода частиц необходимо выполнить соотношения $|\frac{\Delta H_4}{H_4}| < 0,06$ и $|\Delta \frac{d\phi_4}{dr}| < 5 \cdot 10^{-3} \text{ рад/см}$, где ϕ_4 - азимутальное положение максимума основной гармоники;

г) требуемая параметрическая фокусировка должна обеспечиваться, начиная с $r = 3 \text{ см}$;

д) допуски на низшие гармоники в центральной области следующие: $\frac{H_1}{H} < 10^{-3}$, $\frac{H_2}{H} < 5 \cdot 10^{-3}$.

Измерения магнитного поля на модели производились с помощью автоматизированного измерительного стенда /6/ в 144-х равномерно распределенных по окружности точках для каждого радиуса. Результаты измерений регистрировались с помощью перфоратора при непрерывном перемещении датчика холловского магнитометра. Экспериментально найденная точность измерения среднего поля $H(r)$ составляла $1,5 \cdot 10^{-4}$, а амплитуды основной гармо-

ники $5 \cdot 10^{-4} \text{ Н (г)}$. Обработка экспериментальных данных измерения производилась на ЭВМ CDC -1604А.

В процессе итерационной процедуры, состоящей из последовательных циклов модельных измерений, анализа данных с помощью созданной системы подпрограмм на ЭВМ и улучшения параметров, было сформировано поле, отклонения характеристик которого от требуемых представлены на рис. 3. Из рисунка видно, что неточность формирования среднего поля составляет $\Delta H_{\text{max}} = \pm 70 \text{ э}$, амплитуды основной гармоники $\Delta H_{4 \text{ max}} = 300 \text{ э}$, градиента фазы максимума этой гармоники $|\Delta \frac{d\phi_4}{dr}| \leq 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ рад/см}$. Требуемая величина вариации поля создана, начиная с $r = 2,9 \text{ см}$.

При вычислении по аналитическим выражениям частот свободных колебаний частиц (рис. 4) для требуемого среднего поля $Q_z (H_T)$, $Q_r (H_T)$ и для реально-созданного среднего поля $Q_z (H_p)$, $Q_r (H_p)$, а также показателя роста созданного среднего поля $n = \frac{r}{H} \frac{dH}{dr}$, оказалось, что

а) значение $\frac{\Delta n}{n}$ находится в допусках для области $r = (25-51,724) \text{ см}$;

б) величины $Q_z (H_T)$, $Q_r (H_T)$ удовлетворяют поставленным требованиям во всем диапазоне радиусов.

Значительные отклонения ΔH и связанный с этим характер кривых $\frac{\Delta n}{n}$, $Q_z (H_p)$, $Q_r (H_p)$ в центральной зоне должны быть скорректированы с помощью элементов тонкой коррекции: токовых обмоток и секторных шимм (рис. 2)^{/7/}. Достигнутая экспериментальная точность моделирования магнитного поля с помощью основных элементов системы близка к предельно возможной $\Delta H_{\text{пред}} = 30-40 \text{ э}$, определяемой геометрическими ошибками изготовления и сборки элементов модели.

Расчёт требуемых ампер-витков токовых обмоток методом наименьших квадратов для компенсации $\Delta H (r)$ и $\Delta \frac{dH}{dr}$ показал, что в центральной области они пригодны для небольших ($\pm 30 \text{ э}$) изменений уровня поля.

Оптимальный набор секторных шимм для компенсации

$\Delta H_{\text{экс}} (r)$ относительно уровня поля 100 э (рис. 5) находился путем расчёта на ЭВМ. Шиммы, оказавшиеся необходимыми для компенсации $\Delta H (r)_{\text{экс}}$, на рисунке заштрихованы. Отклонение результирующей кривой ($\Delta H_{\text{экс}} + H_{\text{ш}}$) от требуемых величин во всей области формирования, кроме района $r = 0-2 \text{ см}$, не превышает величины $\pm 10 \text{ э}$.

В средней части рисунка приведены распределения полей для различных слоев секторных шимм. Эксперименты на модели 1:5,22 с применением секторных шимм показали, что такие шиммы позволяют компенсировать значительные возмущения среднего поля ($\approx 80 \text{ э}$). Однако при этом следует учитывать заметное ($\approx 120 \text{ э}$) снижение амплитуды основной гармоники поля.

Создание поля в области $r = 0-2 \text{ см}$ производилось путем подбора экспериментальным путем формы центральной кольцевой шиммы.

Моделирование магнитной системы производилось на базе магнита СП-57, размеры ярма и положение обмоток которого существенно отличаются от магнита Е-1 установки "Ф". Для выяснения влияния указанных эффектов на результаты моделирования поля был произведен расчёт на ЭВМ обоих электромагнитов методом нерегулярной треугольной сетки^{/8/}. Основные результаты расчёта представлены на рис. 6, из которого видно, что относительные кривые спада полей обоих магнитов при плоском зазоре совпадают с точностью до $\approx 0,5\%$ в рабочем диапазоне радиусов.

В результате выполненной работы решены все основные вопросы разработки магнитной системы ускорителя. Проведенные исследования показывают, что в системе с натуральными размерами магнитное поле будет сформировано с требуемыми допусками.

Литература

1. H.G. Blosser. IEEE Trans. on Nuclear Science NS-16, No 3, p. 405 (1969).
2. А.А. Глазов и др. Препринт ОИЯИ, 9-3951, Дубна, 1968.
3. С.Б. Ворожцов, Н.И. Дьяков, Н.Л. Заплатин. Сообщение ОИЯИ, 9-4517, Дубна, 1969.
4. Ю.Г. Аленицкий, С.Б. Ворожцов, Н.Л. Заплатин, Л.К. Лыткин. Сообщение ОИЯИ Р9-5246, Дубна, 1970.
5. V.P. Dmitrievsky et al. Intern. Conf. on Cycl. Oxford (1969).
6. В.Н. Аносов, Ю.Н. Денисов, П.Т. Шишлянников. Сообщение ОИЯИ 10-4930, Дубна, 1970.
7. Ю.Г. Аленицкий, С.Б. Ворожцов, Н.Л. Заплатин. Сообщение ОИЯИ Р9-5590, Дубна, 1971.
8. С.Б. Ворожцов, Л.Т. Закамская, Н.Л. Заплатин. Сообщение ОИЯИ Р9-5013, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 февраля 1971 года.

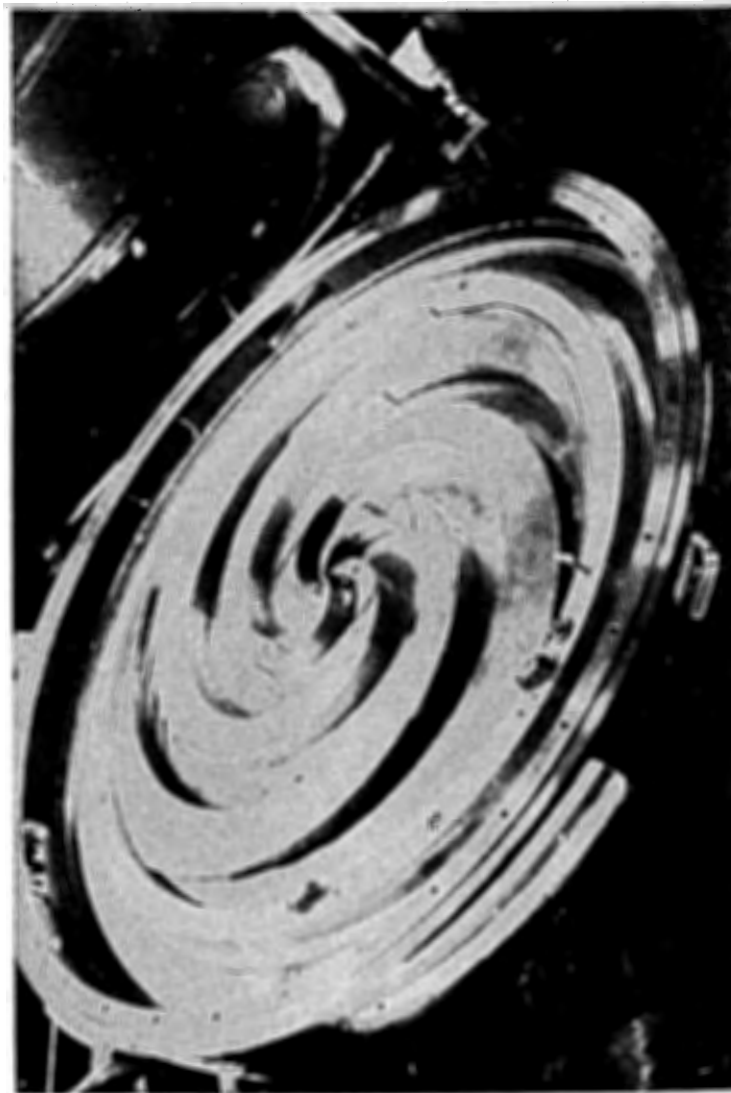


Рис. 1. Вид полюсного наконечника модели магнитной системы.

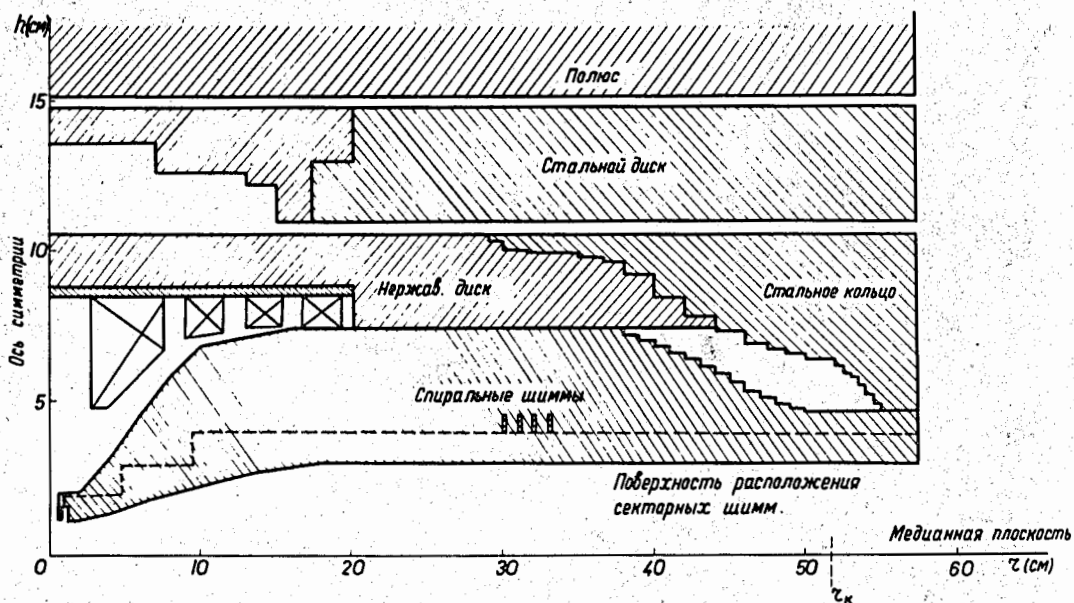


Рис. 2. Конструктивная схема магнитной системы.

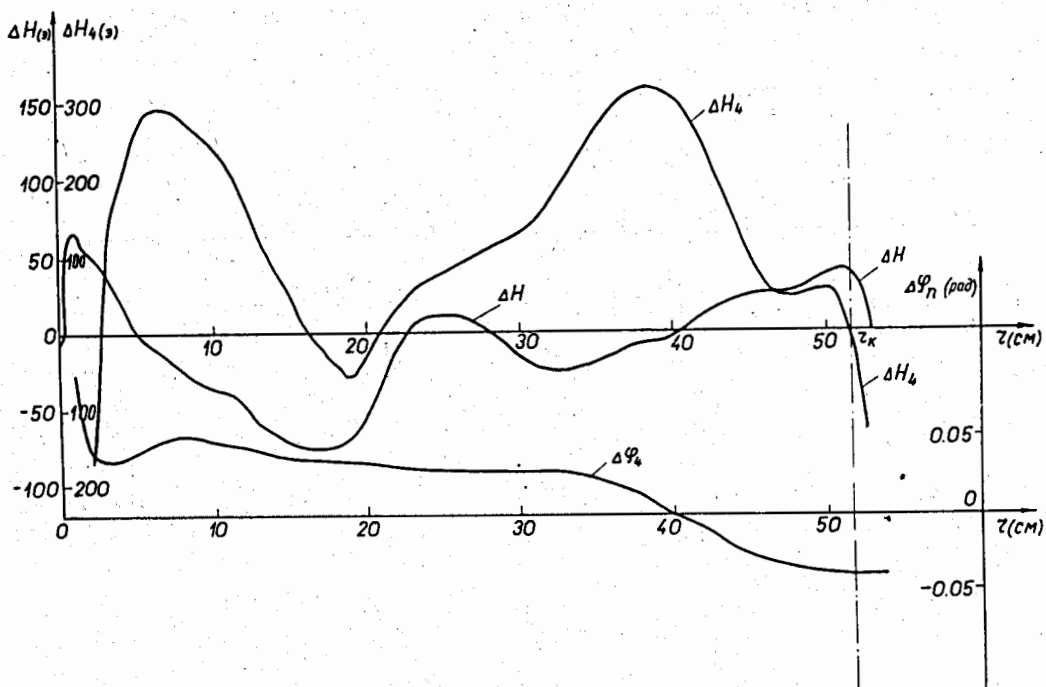


Рис. 3. Наилучший экспериментальный результат формирования поля на модели магнитной системы.

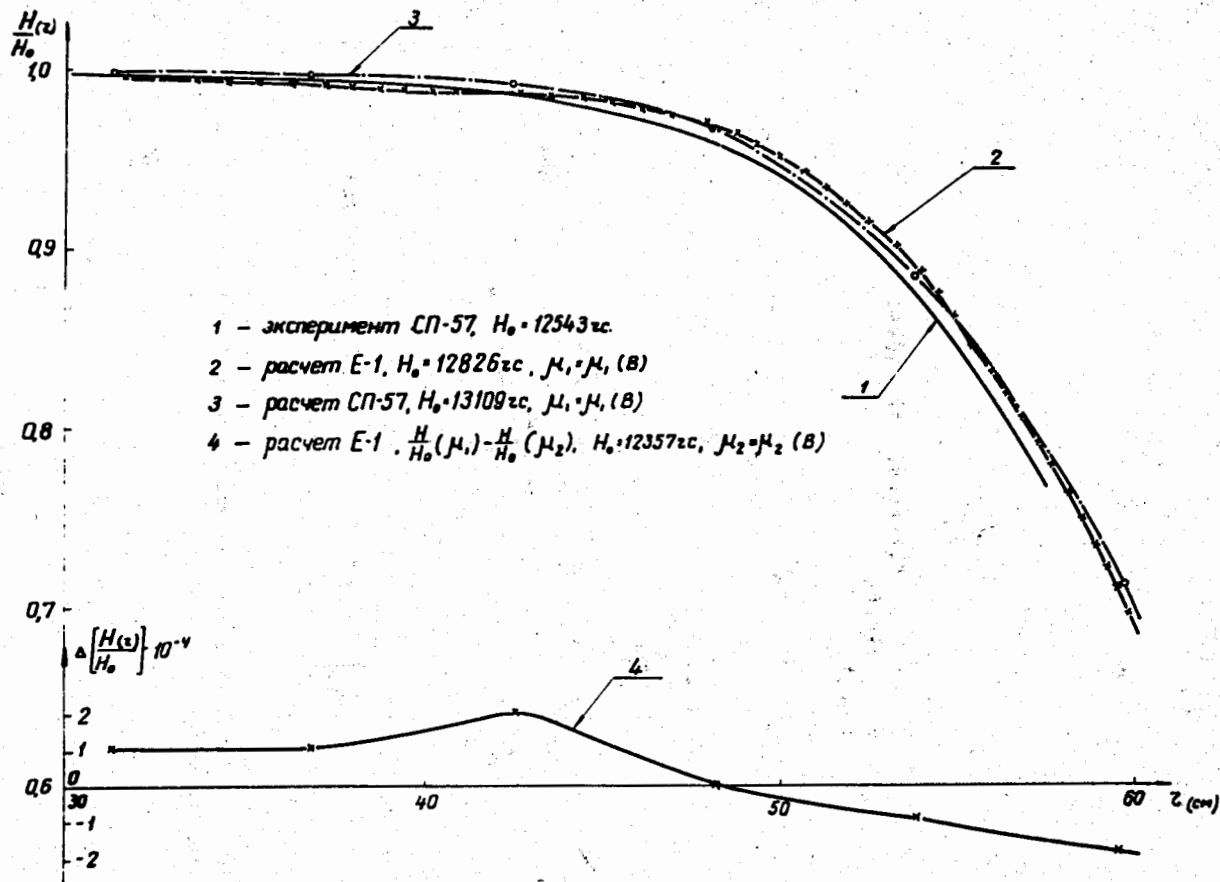


Рис. 6. Сравнение расчётных и экспериментальных кривых спада для магнитов СП-57 и Е-1.