

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

1204/83

10/3-83

9-82-917

И.В.Колесов, Г.Г.Гульбемян, Б.Н.Гикал,
Б.А.Кленин, А.М.Мордуев,
Р.Ц.Оганесян, И.Ф.Харисов

КОРРЕКЦИЯ ПЕРВОЙ ГАРМОНИКИ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ
НА ЧЕТЫРЕХМЕТРОВОМ ИЗОХРОННОМ
ЦИКЛОТРОНЕ У-400

1982

Амплитуда первой гармоники магнитного поля циклотрона У-400 ЛЯР ОИЯИ после его запуска, в 1978 году, составляла приблизительно 15 Э /рис.1/ ^{1,2}. Для ее коррекции использовались восемь пар гармонических обмоток, расположенных в долинах циклотрона /рис.2,3/. Система питания катушек снабжена программированным источником опорного напряжения, который позволяет одновременно регулировать токи в каждой из четырех обмоток, расположенных на внутренних и внешних радиусах, по закону

$$I_n = I \cdot \sin \left[\phi + \frac{\pi}{2} (n - 1) \right], \quad n = 1, 2, 3, 4,$$

где $\phi = 0^\circ \div 360^\circ$ - фаза гармоники, создаваемой катушками, $I = +0 \div 150$ А - амплитуда тока источника питания.

Таким образом достигается независимая регулировка амплитуды и фазы первой гармоники магнитного поля. При максимальной мощности питания внешние катушки могут скомпенсировать до 16 Э первой гармоники, внутренние - до 23 Э.

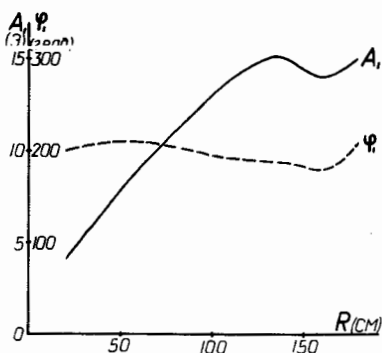


Рис.1. Амплитуда и фаза первой гармоники до коррекции.

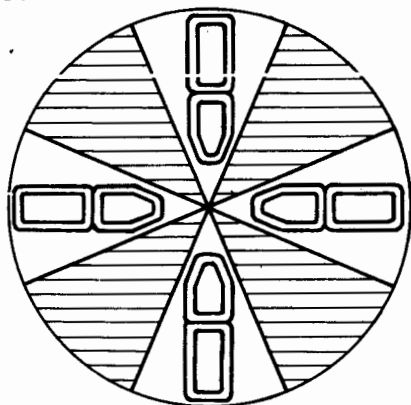


Рис.2. Схема расположения гармонических катушек в циклотроне.

С целью уменьшения нагрузки на корректирующую систему и повышения эффективности ее работы было принято решение снизить уровень первой гармоники с помощью стальных ферромагнитных шимм. Наиболее простой способ - шиммирование под секторами магнита циклотрона - не позволил значительно уменьшить амплитуду первой гармоники, так как зазор для шимм не превышал 0,6 мм, поэтому

О ИЯИ

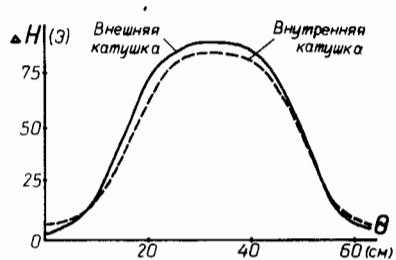


Рис.3. Распределение магнитного поля гармонических катушек при токе $I = 70$ А, θ - линейная протяженность по окружности.

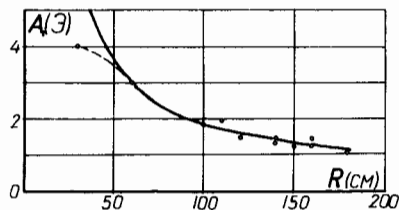


Рис.4. Влияние боковых шимм в 1 мм на первую гармонику магнитного поля. Сплошная линия - расчетные, точки - экспериментальные данные.

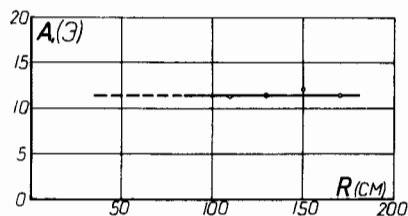


Рис.5. Влияние на первую гармонику стального листа толщиной 1 мм, положенного под сектор магнита.

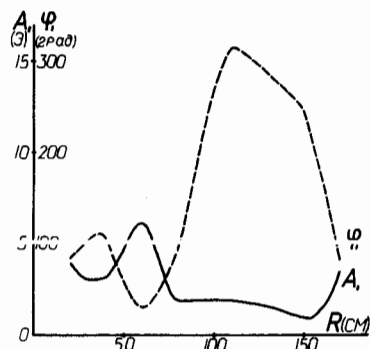


Рис.6. Амплитуда и фаза первой гармоники после коррекции.

снижение гармоники в основном достигнуто изменением угловой протяженности соответствующих секторов /боковое шиммирование/. Распределение магнитного поля от боковых шимм имеет колоколообразную форму, которую можно аппроксимировать одним полупериодом синуса. В этом случае амплитуда первой гармоники ряда Фурье равна

$$A_1 = \frac{2}{\pi^2} \frac{A\Delta}{R},$$

где A и Δ - амплитуда и ширина /по основанию/ вклада шимм, R - радиус, на котором установлены шиммы. Справедливость применения такого метода оценок с достаточной точностью подтвердили магнитные измерения /рис.4/. Влияние на первую гармонику шимм, расположенных между сектором и полюсом, определено экспериментально /рис.5/.

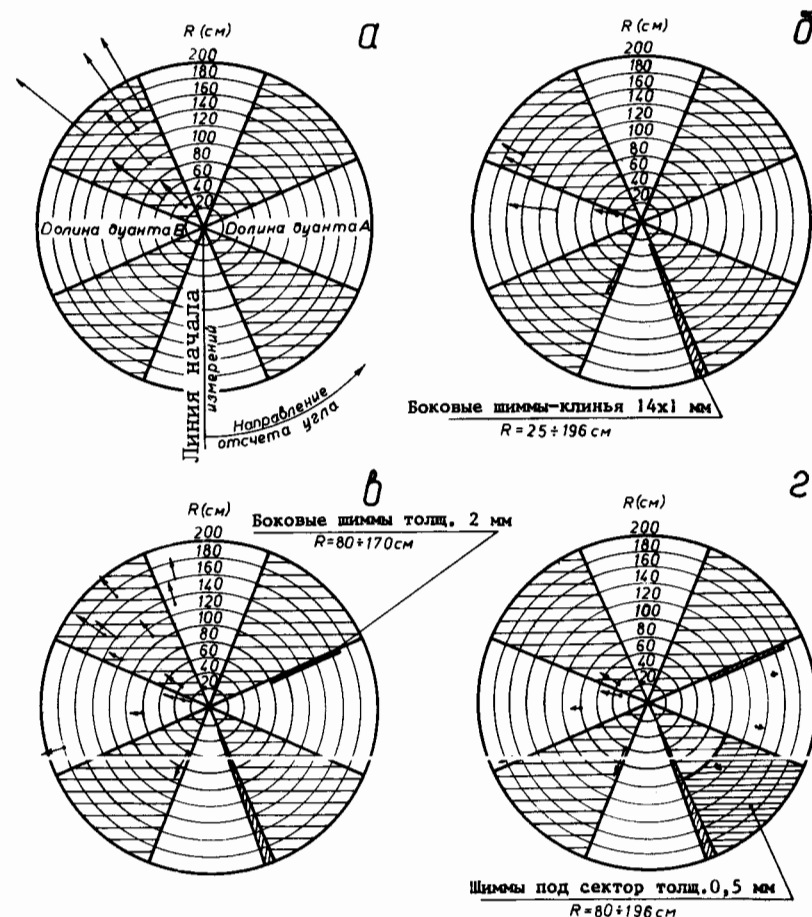


Рис.7. Векторные диаграммы первой гармоники магнитного поля до начала /а/ и в процессе /б,в,г/ ее коррекции.

В результате работы по коррекции первой гармоники магнитного поля на циклотроне У-400 удалось уменьшить ее амплитуду на внутренних радиусах ускорения $R < 70$ см/ до 6 Э и на радиусах $70 \div 170$ см до 3 Э /рис.6,7/. Ошибка измерений оценена в 2 Э; она вызвана неточностью установки штанги, отклонением плоскости датчика Холла и нестабильностью его показаний.

В заключение авторы выражают благодарность профессору Ю.Ц.Оганесяну за постановку задачи и постоянный интерес к работе, А.М.Сухову, Л.М.Мельниковой, Е.М.Жмаеву, Б.В.Шилову за помощь в проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оганесян Ю.Ц. и др. ОИЯИ, 9-11992, Дубна, 1978.
2. Евдокимов А.К. и др. ОИЯИ, 9-80-800, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1982 года.

Колесов И.В. и др.

9-82-917

Коррекция первой гармоники магнитного поля
на четырехметровом изохронном циклотроне У-400

На изохронном четырехметровом циклотроне У-400 с целью уменьшения нагрузки на систему токовой коррекции магнитного поля снижена амплитуда первой гармоники с помощью стальных ферромагнитных шимм. Использовались как боковое шиммирование секторов, так и шиммирование стальными листами между сектором и полюсом магнита. В результате амплитуда первой гармоники магнитного поля уменьшена с 15 до 3 Э на радиусах 70 ± 170 см и до 6 Э на радиусах меньше 70 см.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Kolesov I.V. et al.

9-82-917

Correction of the First Harmonic of Magnetic Field
on the U-400 Isochronous Cyclotron

By using steel ferromagnetic shims the first harmonic level was lowered to decrease the load on the system of current correction of the magnetic field of the U-400 4-meter isochronous cyclotron. Both the side shimming of the sectors and the shimming by steel sheets placed between the sector and the pole of the magnet have been used. As a result, the first harmonic amplitude has been decreased from 15 Oe to 3 Oe at radii of 70 ± 170 cm and to 6 Oe at radii smaller than 70 cm.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.