

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

5129/2-81

19/4-81

P9-81-476

Н.Л.Заплатин, Н.А.Морозов

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
В ОТВЕРСТИИ АКСИАЛЬНОЙ  
ИНЖЕКЦИИ ФАЗОТРОНА  
С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВАРИАЦИЕЙ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ

1981

При реконструкции синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ в сильноточный фазотрон с пространственной вариацией магнитного поля<sup>1/</sup> /установка "Ф"/ для аксиальной инжекции поляризованных протонов предполагается использовать вертикальное отверстие в полюсе и ярме электромагнита Е1-Б. Для выбора параметров тракта аксиальной инжекции необходимо знание магнитного поля на аксиальной оси магнитной системы установки "Ф". Кроме того, для определения условий существования разряда в камере ионного источника закрытого типа необходимо знание распределения магнитного поля установки "Ф" в центральной области на различных расстояниях от медианной плоскости.

Расчеты магнитного поля проводились при помощи системы программ POISSON<sup>2/</sup>. Для оценки возможностей программ POISSON по расчету поля на аксиальной оси магнитных систем было проведено сравнение результатов расчета магнита СП-47Б /используется в качестве стенда для испытаний ионного источника/ с экспериментом. Электромагнит СП-47Б представляет собой С-образный магнит с круглым полюсом. Диаметр полюса - 50 см, межполюсный зазор - 13 см, диаметр аксиального отверстия в полюсе - 7 см до высоты  $h_2 = 14$  см, далее - 8,4 см. При использовании двумерных программ POISSON такой магнит наиболее целесообразно описать в виде Ш-образного аксиально-симметричного магнита. На рис.1 показана конфигурация расчетной геометрии для магнита СП-47Б. Отклонение углового размера ярма магнита от  $360^\circ$  учитывалось введением в расчет коэффициентов заполнения для этой области, графики которых показаны также на рис.1. Количество узлов сетки увеличивалось в области зазора, аксиального отверстия и полюса до тех пор, пока изменения в величинах рассчитываемого поля не стали на порядок меньше разницы между расчетным и экспериментальными значениями магнитного поля. Результаты расчета среднего магнитного поля в медианной плоскости в сравнении с экспериментом приведены на рис.2, на этом же рисунке показано распределение силовых линий в центральной области магнита СП-47Б. Видно, что точность расчета магнитного поля в зазоре магнита составляет ~1%. На рис.3 приведены результаты расчета  $B_z$  составляющей магнитного поля в сравнении с экспериментом на оси вертикального отверстия магнита СП-47Б /там же приведена геометрия вертикального отверстия/. Видно, что точность расчета поля на оси вертикального отверстия составляет в области  $z < 40$  см - 10%, в остальной области - 20%.

Объединенный институт

ядерных исследований

БИБЛИОТЕКА

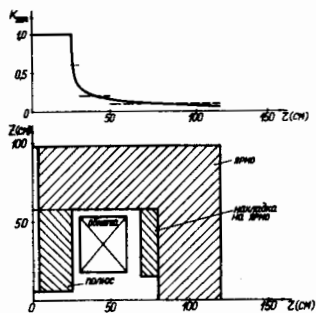


Рис.1. Схема геометрии магнита СП-47Б и зависимость коэффициентов заполнения в области ядра от радиуса: ———— реальная геометрия, - - - - геометрия расчета.

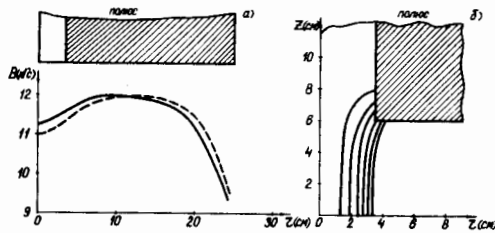


Рис.2. а/ Среднее магнитное поле в медианной плоскости магнита СП-47Б: ———— эксперимент, - - - - расчет. б/ Распределение силовых линий в центральной области магнита.

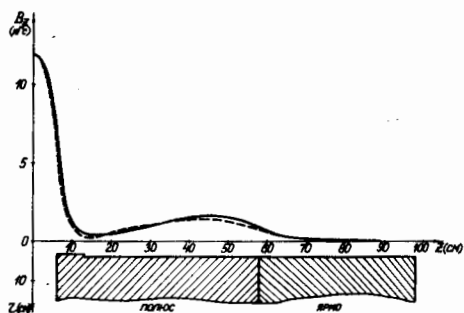


Рис.3. Распределение  $B_z$ -компоненты магнитного поля на оси аксиального отверстия магнита СП-47Б и его геометрия: ———— эксперимент, - - - - расчет.

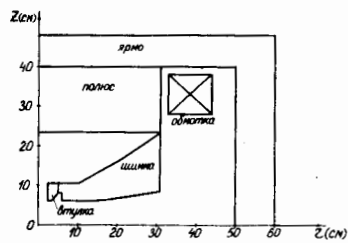


Рис.4. Схема расчетной геометрии центральной области магнитной системы установки "Ф".

Увеличение ошибки расчета до 20% связано со значительным отличием реальной геометрии магнита СП-47Б от расчетной аксиально-симметричной геометрии области ядра.

Для расчета поля от магнитной системы установки "Ф" из-за ограниченного количества узлов сетки  $/ \leq 1200 /$  были использованы три расчетные модели, которые позволили получить результаты в выделенной области расчета:

1. Расчетная модель центральной области установки "Ф". Геометрия этой модели показана на рис.4. Из магнитной системы установки "Ф" выделены центральная втулка и часть спиральной шиммы. Для замыкания потока используются фиктивные полюс и ярмо. Ток возбуждения обмотки выбирался так, чтобы получить уровень поля, совпадающий с экспериментом. Результаты расчета среднего магнитного поля для медианной плоскости расчетной модели /рис.4/ в сравнении с результатами эксперимента на модели магнитной системы установки "Ф" приведены на рис.5а. Видно, что точность расчета поля в интересующей области радиусов  $r \leq 10$  см составляет 1%. Распределение силовых линий для центральной области показано на рис.5в. Анализ этого распределения позволил выделить область устойчивого существования разряда в камере ионного источника установки "Ф". Эта расчетная модель была использована для определения распределения магнитного поля на вертикальной оси для области  $\Delta z = /0-10/$  см. Кроме того, подобную расчетную модель можно использовать при шиммировании магнитного поля в центральной области для определения влияния различных ферромагнитных элементов. На рис.5б показано поле для выреза на спиральной шимме /рис.5в/ в сравнении с экспериментом. Точность расчета вклада этого элемента не хуже 5%. Расчет поля этого элемента по методу равномерного намагничивания дает точность  $\sim /10-15/ \%$ .

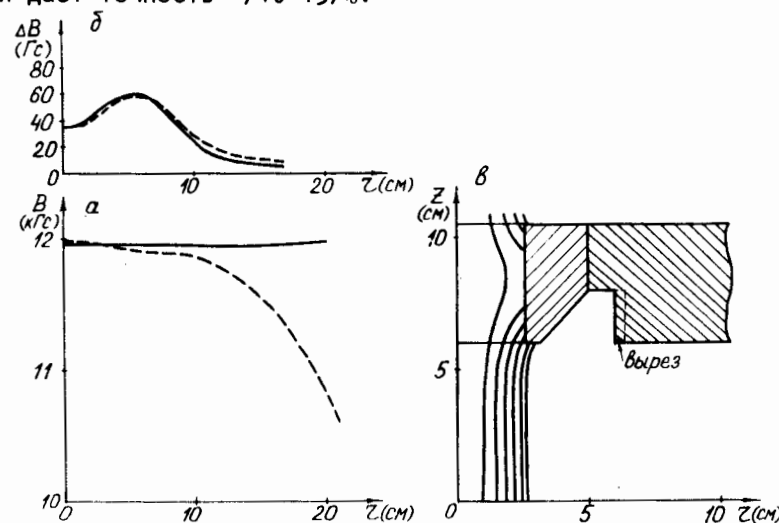


Рис.5. а/ Среднее магнитное поле для центральной области установки "Ф"; б/ поле для выреза в спиральной шимме; в/ распределение силовых линий для центральной области, ———— эксперимент; - - - - расчет.

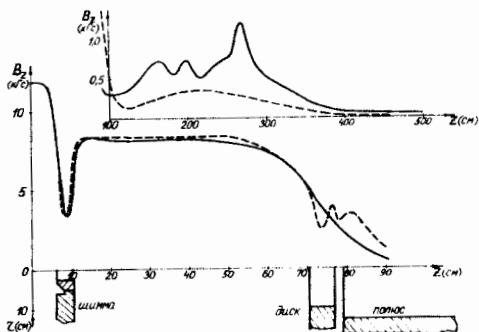
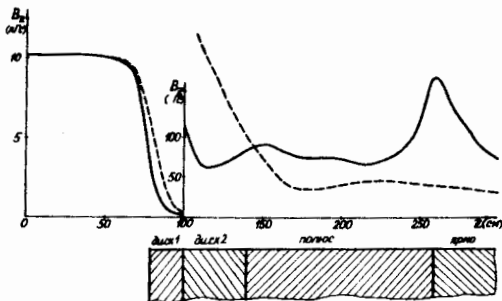


Рис.6. Распределение  $B_z$  — компоненты магнитного поля на оси вертикального отверстия магнитной системы установки "Ф"; — — — эксперимент, - - - - расчет.

Рис.7. Распределение  $B_z$  — компоненты магнитного поля на оси вертикального отверстия для магнита E1-B; — — — эксперимент, - - - - расчет.



2. Расчетная модель магнитной системы установки "Ф", включающая в себя спиральные шиммы /с упрощениями в центральной области/, кольцевые шиммы и часть полюса. Эта модель приведена на рис.4<sup>3/</sup>. Она дает ошибки в расчете распределения поля в области  $z \leq 10$  см и  $z \geq 70$  см из-за неточного описания реальной геометрии магнитной системы в центральной области и в области полюса.

3. Полная расчетная модель, включающая в себя все элементы магнитной системы, представлена на рис.1<sup>3/</sup>. Из-за недостаточного количества узлов сетки в области спиральных шимм эта расчетная модель была использована только для получения результатов в области  $z \geq 70$  см.

Сшивая результаты, найденные из этих расчетов, мы получили полное распределение магнитного поля на оси вертикального отверстия магнитной системы установки "Ф". Эти результаты вместе с геометрией магнитной системы вблизи вертикальной оси представлены на рис.6. На этом же рисунке показаны результаты экспериментального измерения магнитного поля. Аналогичные результаты приведены на рис.7 для случая отсутствия в зазоре электромагнита E1-B / $\delta = 1548$  мм/ ускорительной камеры. Из рис.6 и 7 видно, что наибольшее относительное отличие расчетных результатов от экспериментальных имеет место в области полюса и гори-

зонтального яра. В основном это отличие обусловлено наличием в полюсе и яре магнита E1-B большого количества пустот, которые не были учтены в расчете.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование системы программ POISSON для расчета магнитной системы установки "Ф" позволило:

1. Создать расчетную модель центральной области для проведения оценок полей магнитных элементов при шиммировании магнитного поля ускорителя.
2. Получить распределение силовых линий магнитного поля в центральной области для выявления условий работы ионного источника.
3. Рассчитать распределение магнитного поля на оси отверстия аксиальной инжекции. Точность расчета не хуже 10% на уровне поля 10 кГс.

Авторы благодарят Ю.Г.Аленицкого, Д.П.Василевскую, С.А.Ивашкевича, А.Н.Кокорева, М.С.Кузнецову и П.Т.Шишлянникова за помощь при получении экспериментальных результатов, Г.Н.Сайфулину — за оформление результатов работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, 9-3951, Дубна, 1968.
2. Ворожцов С.Б. и др. ОИЯИ, 51-11-12070, Дубна, 1978.
3. Заплатин Н.Л., Морозов Н.А. ОИЯИ, Р9-12587, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 июля 1981 года.