

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9-2000-10

С.Б.Ворожцов, Н.А.Морозов, Э.Бакевич*, К.Даниел*,
Х.Дорух*, Р.Тарашкевич*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИЗОХРОННОГО
ЦИКЛОТРОНА АИЦ-144

*Институт ядерной физики, Краков, Польша

При разработке магнитных систем изохронных циклотронов широкое распространение получило компьютерное моделирование на основе применения системы программ POISCR [1]. Опыт использования этой программы в НЭОНУ ЛЯП ОИЯИ [2 – 7] показал более высокую точность расчетов ($\cong 2-3\%$) для среднего магнитного поля циклотронов, имеющих в магнитной структуре спиральные секторы (шиммы), по сравнению с циклотронами с прямыми секторами. Это связано с тем, что структуры со спиральными шиммами имеют в области секторов дополнительное магнитное сопротивление в радиальном направлении. Область такой структуры в большей степени соответствует области, состоящей из смеси магнитного материала и воздуха, характеристики которой задаются при помощи аппарата коэффициентов заполнения в программе POISCR.

Изохронный циклотрон АИЦ-144 [8] (Краков, Польша) имеет структуру магнитной системы со спиральными шиммами. Для описания его магнитной структуры на основе программы POISCR разработано несколько компьютерных моделей, которые были использованы для получения информации о полях ферромагнитных и токовых элементах при разработке новой системы вывода [9, 10] этого циклотрона. Экспериментальные данные по магнитному полю циклотрона использовались для внесения определенных коррекций в модели, что повысило точность расчетов магнитного поля.

Для циклотрона АИЦ-144 были разработаны три расчетные модели. Первая модель позволяла проводить расчет среднего магнитного поля в рабочем зазоре магнита циклотрона. На рис.1 показана геометрия этой модели, на рис.2 - часть геометрии вблизи медианной плоскости ускорителя. Вид спиральных шимм со стороны медианной плоскости показан на рис.3. В области горизонтального ярма и вертикальной стойки магнита (штриховая линия рис.1) для их описания в аксиально-симметричной модели проводилось изменение геометрии пропорционально площади поперечного сечения ярма и стойки. Область спиральных шимм задавалась с использованием коэффициентов заполнения (аппарат программы POISCR для областей, занятых смесью ферромагнетика и воздуха). Реальная угловая протяженность шимм (сплошная линия рис.4) задавалась в расчете ступенчатой зависимостью (штриховая линия рис.4). На рис.5 приведены результаты расчетов (штриховые линии) среднего поля для

этой модели в сравнении с экспериментальными данными (сплошные линии) для девяти значений тока в основной обмотке магнита. Видно, что точность расчета составляет 1% для высокого уровня индукции магнитного поля и 2% - для низкого. Это позволяет с необходимой степенью точности рассчитывать изменения магнитного поля для изменений в структуре магнитной системы циклотрона и для ферромагнитных элементов системы вывода пучка. На рис.6 приведены отдельно результаты для значения тока в основной обмотке $I_0=600$ А. На рис.7 показаны результаты расчета поля для четырех корректирующих обмоток циклотрона (17 - 20) в сравнении с экспериментом (сплошная линия) для тока основной обмотки циклотрона $I_0=600$ А (расположение обмоток показано на рис.2). Видно, что точность расчета для этих элементов магнитной системы циклотрона составляет также несколько процентов.

Вторая расчетная модель используется для расчета полей элементов циклотрона, расположенных под поверхностью спиральных шимм (в холме). При разработке этой модели была реализована задача получения распределения магнитного поля, соответствующего экспериментальному на осевой линии спиральной шиммы. Первоначально для области спиральных шимм в расчете использовался коэффициент заполнения равный единице. Результаты расчета в сравнении с экспериментальными данными (сплошные линии) приведены на рис.8. Видно, что такая модель не дает точного описания магнитного поля в центральной области ускорителя ($R \leq 0,4$ м). Для более точного описания расчетная модель была скорректирована путем внесения изменений в коэффициенты заполнения для области спиральных шимм. Изменения коэффициентов заполнения (пунктирная линия) показаны на рис.9. Результаты расчета поля после внесения коррекции - на рис.10.

Третий тип расчетной модели производит расчет магнитного поля для коротких в азимутальном направлении элементов, располагаемых в долинах между спиральными шиммами. Для этой модели первоначально область спиральных шимм была полностью исключена из расчета (коэффициент заполнения равен нулю). Результаты расчета в сравнении с экспериментальными полями (для осевой линии долины) приведены на рис.11. Видно, что для более точного описания поля в долине в расчетную модель должны быть внесены коррекции. Они были осуществлены путем использования области спиральных шимм с

коэффициентами заполнения, показанными на рис.12. Результаты расчета после внесения этих коррекций показаны на рис.13.

Заключение

С использованием программы POISCR для изохронного циклотрона АИЦ-144 разработан ряд расчетных моделей. Путем выделения областей циклотрона по азимуту (холм, долина) может моделироваться поле для магнитных элементов, занимающих локальное азимутальное положение. Разработанные модели были применены при проведении расчетов по выбору параметров новой системы вывода циклотрона и при формировании его рабочих магнитных полей.

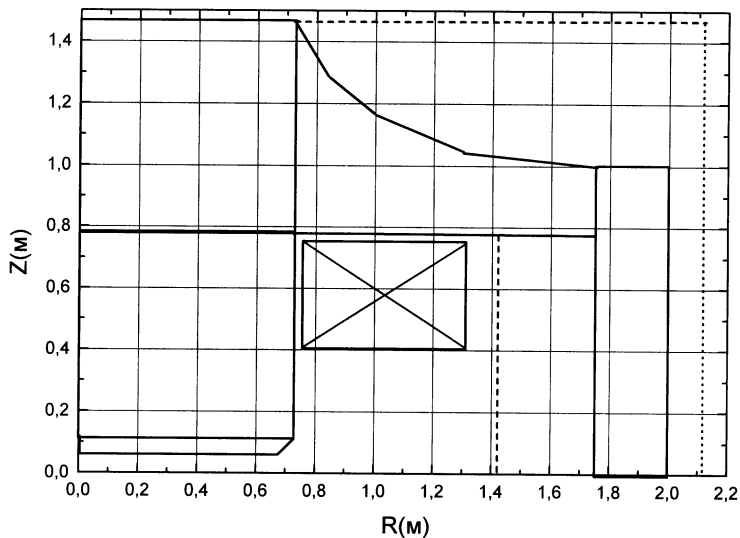


Рис.1. Геометрия магнита циклотрона АИЦ-144

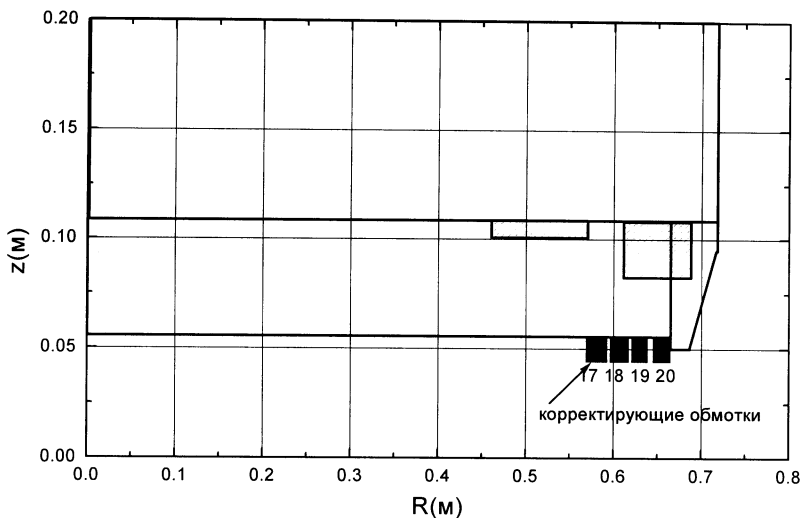


Рис.2. Геометрия магнитной системы циклотрона в области рабочего зазора магнита

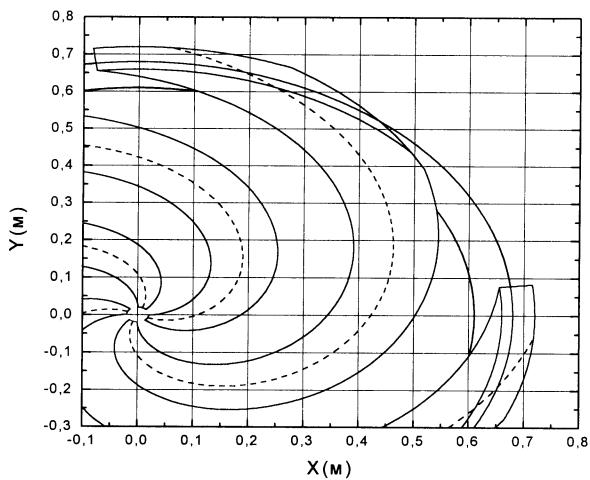


Рис.3. Вид спиральных шимм циклотрона

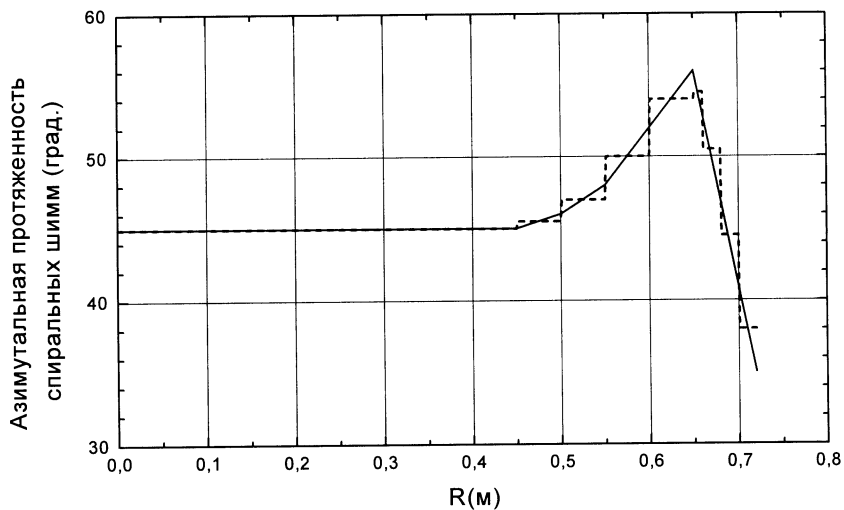


Рис.4. Угловая протяженность спиральных шимм

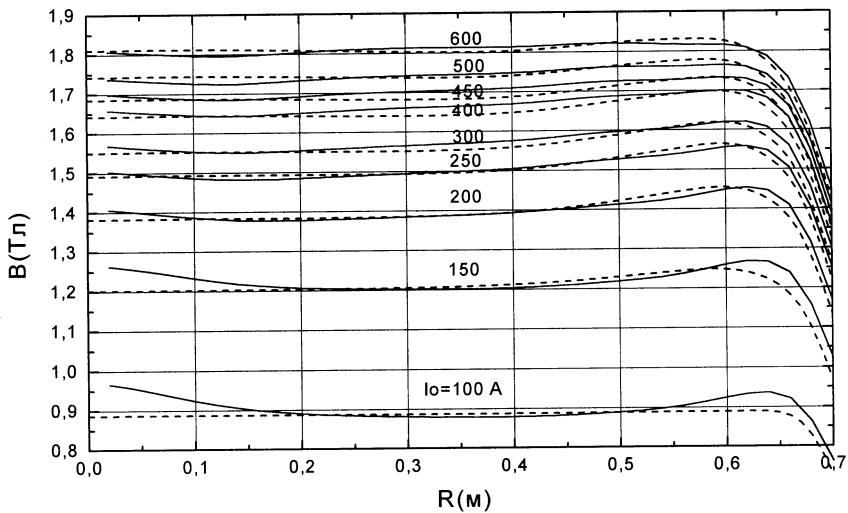


Рис.5. Среднее магнитное поле циклотрона

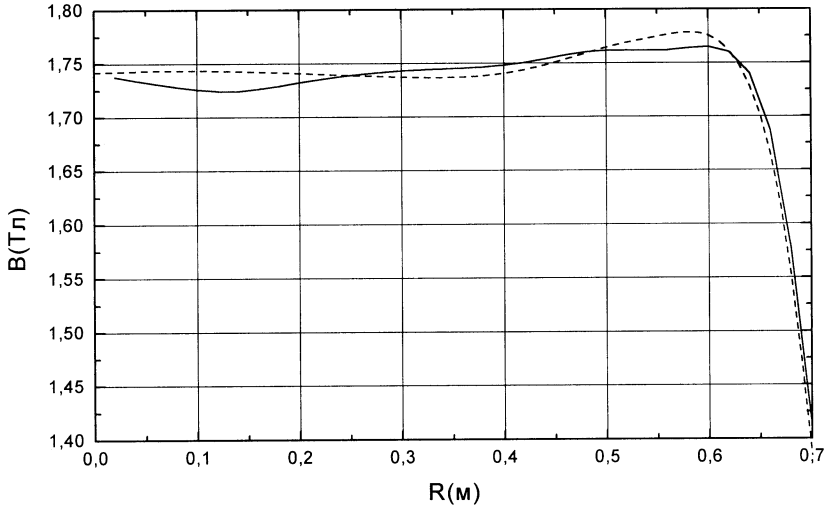


Рис.6. Магнитное поле циклотрона, $I_0=600$ А

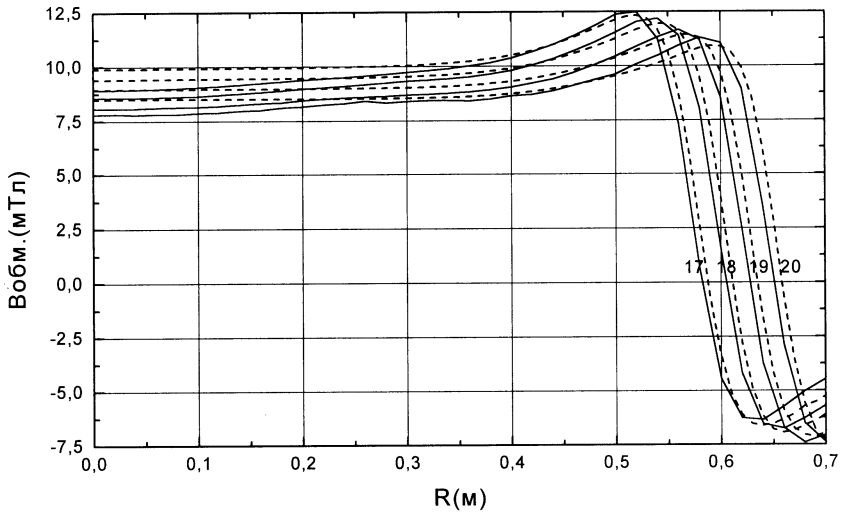


Рис.7. Магнитное поле циклотрона, $I_0=600$ А

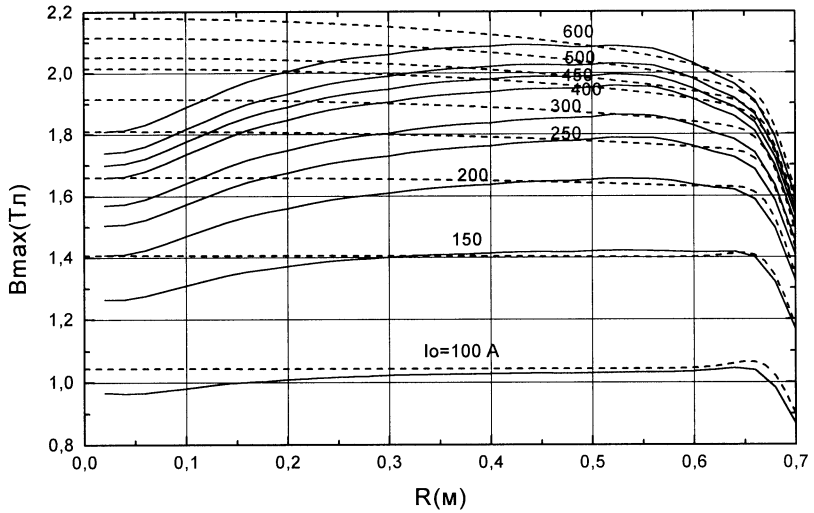


Рис.8. Магнитное поле вдоль осевой линии спиральных шимм

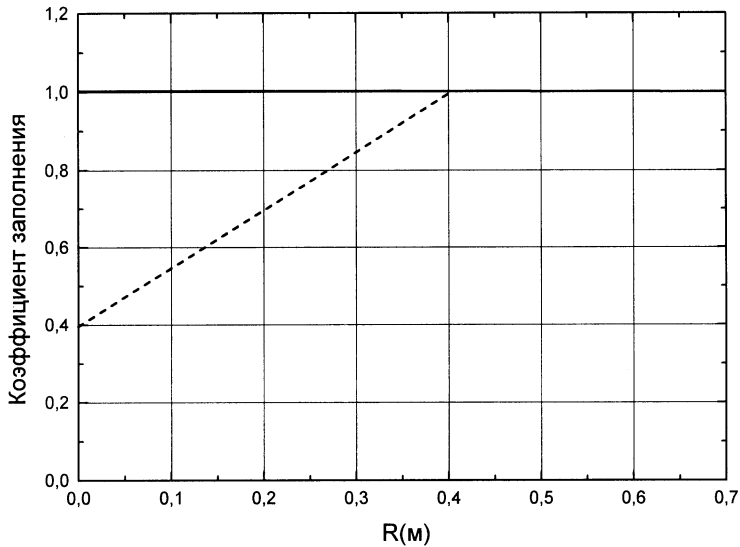


Рис.9. Коэффициент заполнения для области спиральных шимм

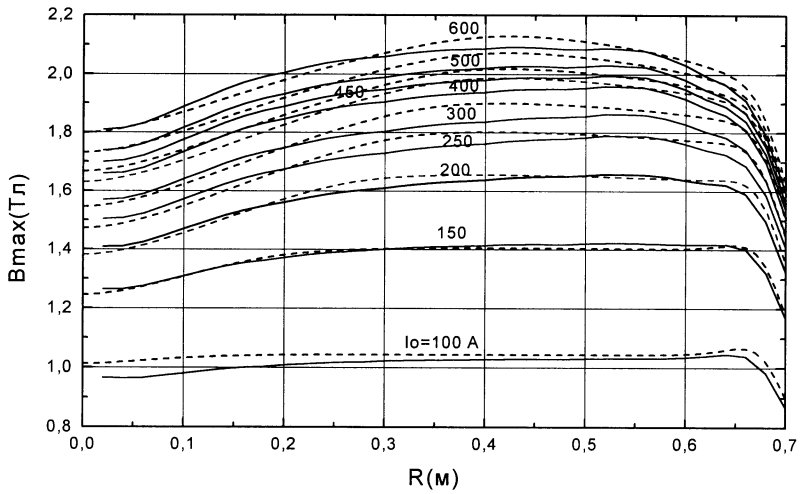


Рис.10. Магнитное поле вдоль осевой линии спиральных шимм

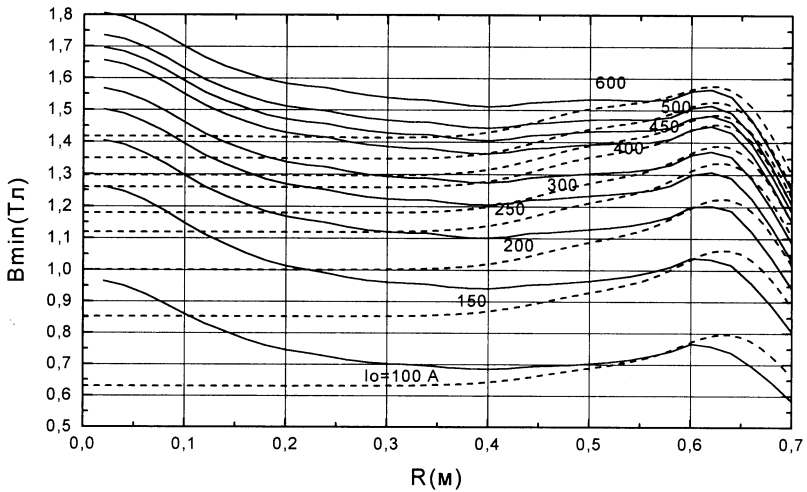


Рис.11. Магнитное поле в долине между спиральными шиммами

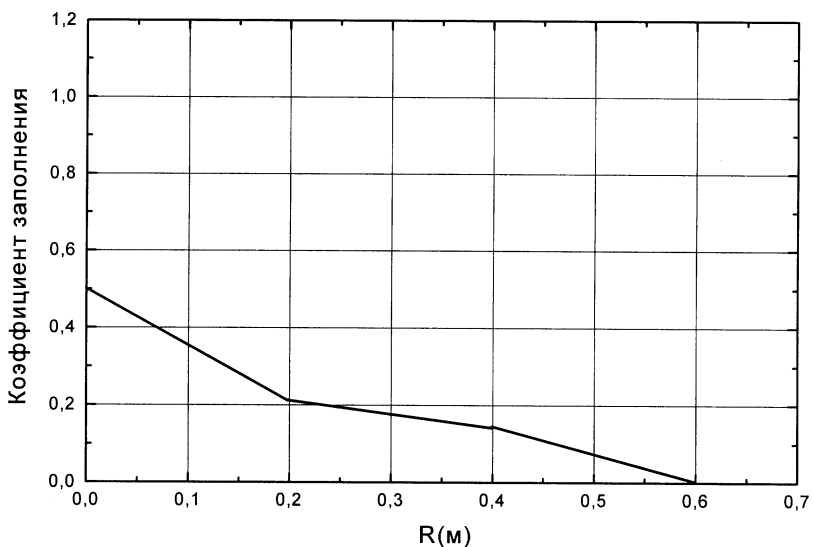


Рис.12. Коэффициент заполнения для области спиральных шимм

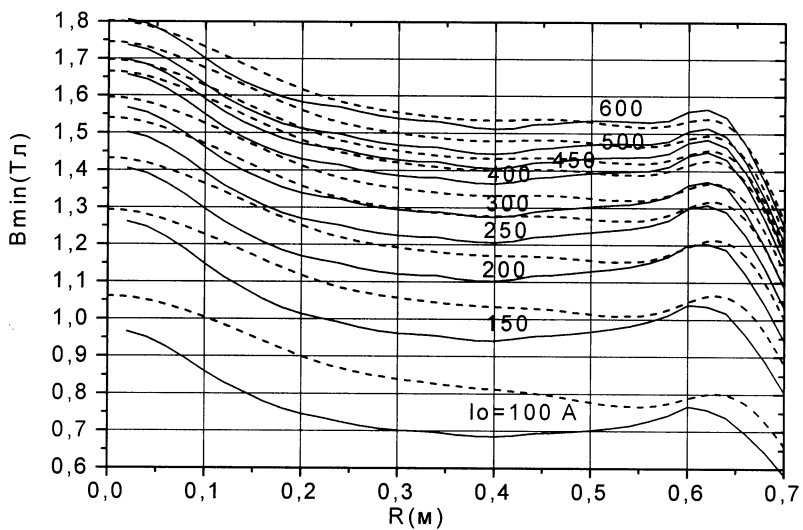


Рис.13. Магнитное поле в долине между спиральными шиммами

Литература

- [1] R.F.Holsinger, Ch.Iselin,- The CERN POISSON Program Packag User Guide, CERN, 1983.
- [2] Н.А. Морозов, - Расчетная модель магнитной системы фазотрона с пространственной вариацией магнитного поля, ОИЯИ, Р9-12587, Дубна, 1979.
- [3] Н.Л.Заплатин, Н.А.Морозов,- Расчет магнитного поля в отверстии аксиальной инжекции фазотрона с пространственной вариацией магнитного поля. ОИЯИ, Р9-81-476, Дубна, 1981.
- [4] Ю.Г.Аленицкий и др.,- Оптимизация электромагнита для изохронного циклотрона У-120К. ОИЯИ, Р9-93-402, Дубна, 1993.
- [5] Ю.Г.Аленицкий и др.,- Разработка магнитных систем компактных циклотронов на базе графического программирования. В сб.: 14 - е Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 1994, т.4, стр.27.
- [6] D.V.Altiparmakov et al.,- Computer Modeling of Isochronous Field in the VINCY Cyclotron. 14th International Conference on Cyclotrons and Their Applications, Cape Town, 1995, p.210.
- [7] Yu.G.Alenitskiy, N.A.Morozov, - Computer Modeling of Magnetic Structure for IC-35 Cyclotron. 15th International Conference on Cyclotrons and Their Applications, Caen, France, 1998, p.210.
- [8] J.Schwabe et al., - Automatic Isochronous Cyclotron AIC-144. Proceedings of the International Seminar on Isochronous Cyclotron Technique, Cracow, Poland, 1978, p.197.
- [9] O.N.Borisov et al.,- Feasibility Study of the Beam Extraction from the AIC-144 Cyclotron. JINR, E9-96-492, Dubna, 1996.
- [10] O.N.Borisov et al.,- New Beam Extraction System for the AIC-144 Cyclotron. JINR, E9-98-130, Dubna, 1998. In: Proc. of the 15 Int. Conf. on Cycl. and their Appl., Caen, France, 14 - 19 June, 1998, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, p.528.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 января 2000 года.

Ворожцов С.Б. и др.
Компьютерное моделирование магнитного поля изохронного
циклотрона АИЦ-144

P9-2000-10

Разработаны компьютерные модели на основе двухмерной программы POISCR для получения информации по магнитному полю для изохронного циклотрона АИЦ-144 (Краков, Польша). При помощи этих моделей может рассчитываться поле для магнитных элементов новой системы вывода пучка циклотрона, а также для токовых концентрических и гармонических обмоток.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2000

Перевод авторов

Vorojtsov S.B. et al.
Computer Modeling of the Magnetic Field for the AIC-144
Isochronous Cyclotron

P9-2000-10

Computer models are developed on the basis of 2-D POISCR program for producing of the information on a magnetic field for the AIC-144 isochronous cyclotron (Cracow, Poland). By means of these models the field for magnetic elements of cyclotron new extraction system, and also for trim and harmonic coils may be calculated.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2000

Редактор Е.Ю.Шаталова. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 9.02.2000
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,62
Тираж 285. Заказ 51849. Цена 75 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области