

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9-2000-38

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

ФОРМИРОВАНИЕ РАБОЧИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА АИЦ-144

*Институт ядерной физики, Краков, Польша

2000

Для изохронного циклотрона АИЦ-144 (Краков, Польша) разрабатывается и вводится в эксплуатацию новая система вывода [1, 2] пучков ускоренных частиц. Для получения ее требуемых рабочих характеристик были сформированы требуемые рабочие магнитные поля циклотрона в зоне ускорения для девяти рабочих режимов, параметры которых приведены в таблице 1. Для режимов 5, 8, 9 частота свободных аксиальных колебаний (Q_z) в зоне рабочих радиусов $R \sim 50$ см приближается к величине 0,5. Поэтому для этих режимов магнитное поле было сформировано в дополнительных вариантах (10, 11, 12) с использованием гармонических обмоток, уменьшающих величину вариации (четвертой гармоники) магнитного поля в этой области радиусов.

Таблица 1. Режимы формирования рабочих магнитных полей.

- I_0 - ток основной обмотки магнита циклотрона;
 B - среднее магнитное поле;
 f - частота обращения частиц;
 E_k - энергия ускоренных частиц на конечном радиусе;
 p - протоны;
 d - дейтроны

№	Тип частиц	I_0 , А	B , Тл	f , МГц	E_k , МэВ	Коррекция B_4 в зоне $R \sim 50$ см
1	p	566	1,8	26,615	60	-
2	p	389	1,7	24,641	50	-
3	p	279	1,6	23,3	46	-
4	p	169,2	1,28	20	31,1	-
5	p	117,7	1,08	16,208	22	-
6	d, He ⁺²	578	1,8	13,612	30	-
7	d, He ⁺²	286	1,6	12,106	22	-
8	d, He ⁺²	200	1,43	10,97	18,3	-
9	d, He ⁺²	169,9	1,3	10,222	16	-
10	p	117,7	1,08	16,208	22	+
11	d, He ⁺²	200	1,43	10,97	18,3	+
12	d, He ⁺²	169,9	1,3	10,222	16	+

Требуемые рабочие магнитные поля выбирались на основе анализа расчетов динамики пучка в зоне рабочих радиусов ускорителя.

Зависимости от радиуса требуемых рабочих полей циклотрона приведены на рис.1 (номера соответствуют обозначениям табл.1). На этом же рисунке приведены магнитные поля в рабочей области циклотрона при включении только основной обмотки его магнита. Для формирования требуемых магнитных полей в циклотроне АИЦ-144 были предусмотрены 20 пар концентрических обмоток. Магнитные поля концентрических обмоток были получены при использовании расчетно-экспериментальной методики, изложенной в работе [3]. Токи в корректирующих обмотках выбирались при помощи расчетов. При этих расчетах не учитывались эффекты взаимного влияния полей концентрических обмоток, что требовало проведения нескольких расчетно-экспериментальных итераций для получения требуемой точности формирования магнитных полей. Окончательные распределения токов в концентрических обмотках для формирования магнитных полей режимов без использования гармонических обмоток приведены в табл.2.

Точность формирования требуемого магнитного поля (сформированное поле минус требуемое) для различных итераций его формирования (расчетная и экспериментальные) представлена на рис.2 - 10.

При формировании рабочих полей циклотрона АИЦ-144 одной из основных задач является получение частот аксиальных свободных бетатронных колебаний ускоряемых частиц пучка в пределах 0,15–0,45. Зависимость частоты аксиальных колебаний от радиуса для сформированных магнитных полей приведены на рис.11-18. Расчет частоты проводился по аналитическим выражениям. Для некоторых режимов была проведена проверка аналитического расчета при помощи программы CYCLOPS, вычисляющей характеристики равновесных орбит в магнитном поле циклотрона. Результаты расчетов по программе CYCLOPS также приведены на некоторых рисунках. Расчет частот аксиальных колебаний для сформированных магнитных полей показал, что для режимов (p , $I_0=117,7$ А), (d , $I_0=200$ А), (d , $I_0=169,9$ А) частота приближается к величине 0,5 в районе рабочих радиусов $R\sim 50$ см. Для снижения частоты для этих режимов магнитное поле было сформировано с использованием вариационных обмоток, уменьшающих вариацию поля и, следовательно, частоту Q_z .

Таблица 2. Токи в корректирующих обмотках циклотрона

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип част.	p	p	p	p	p	d He ⁺²	d He ⁺²	d He ⁺²	d He ⁺²
I ₀ (A)	566	389	279	169,2	117,7	578	286	200	169,9
N _{обм.}	I _{обм.}	I _{обм.}	I _{обм.}	I _{обм.}	I _{обм.}	I _{обм.}	I _{обм.}	I _{обм.}	I _{обм.}
1	-80	-166	0	-126	-189	-64	-194	-193	-132
2	0	152	-10	0	-165	0	247	207	0
3	181	0	0	-78	-166	241	-136	-201	-59
4	42	0	103	0	-104	-167	145	159	0
5	0	132	0	-29	-96	340	71	0	0
6	126	0	148	85	0	0	101	127	70
7	103	156	58	0	-70	236	186	71	72
8	0	27	83	43	0	118	148	123	12
9	-72	0	0	0	-70	54	105	91	114
10	-149	-56	0	0	0	0	71	64	0
11	-189	-68	-22	-14	-61	-56	86	93	81
12	-295	-74	0	0	0	0	171	126	0
13	0	43	91	60	49	54	193	189	228
14	-255	0	87	124	57	81	220	187	82
15	-301	-69	0	0	85	-52	174	173	178
16	-203	-197	0	216	160	-128	197	218	143
17	-296	116	49	35	92	96	137	183	228
18	0	-144	137	381	294	-150	88	287	388
19	-194	0	0	91	277	136	388	205	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Заклучение

Для циклотрона АИЦ-144 сформированы требуемые рабочие магнитные поля, которые будут использоваться для ускорения пучков протонов, дейтронов и альфа-частиц до радиуса вывода с минимальными фазовыми потерями. Получены таблицы для значений токов основной и корректирующих обмоток циклотрона.

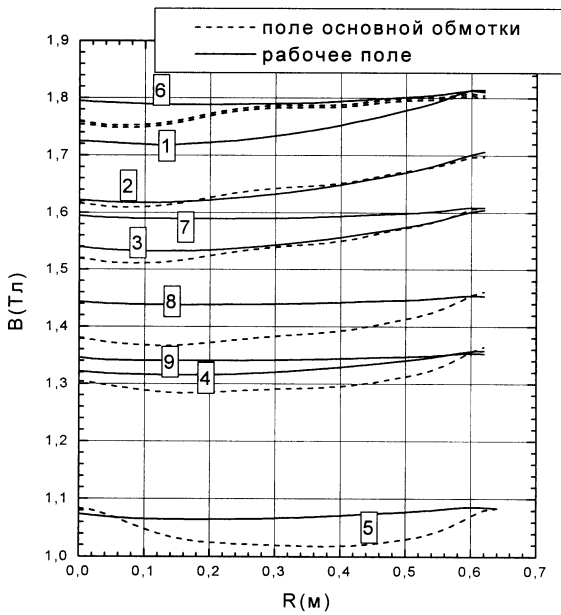


Рис.1. Требуемые рабочие магнитные поля и поля при включении только основной обмотки магнита циклотрона

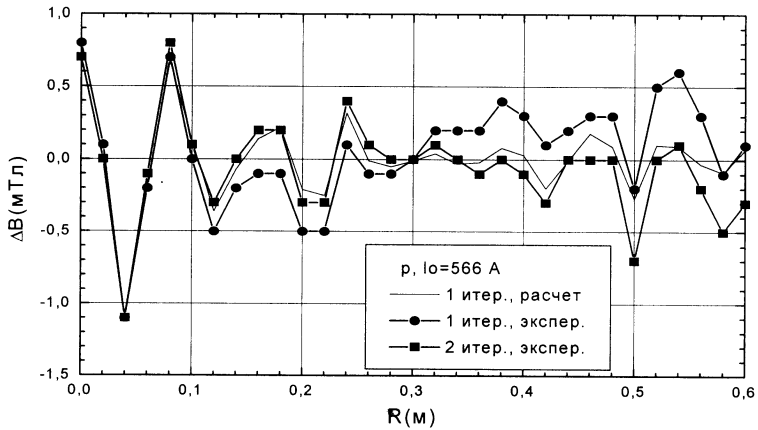


Рис.2. Точность формирования требуемого магнитного поля ($p, I_0=566$ A)

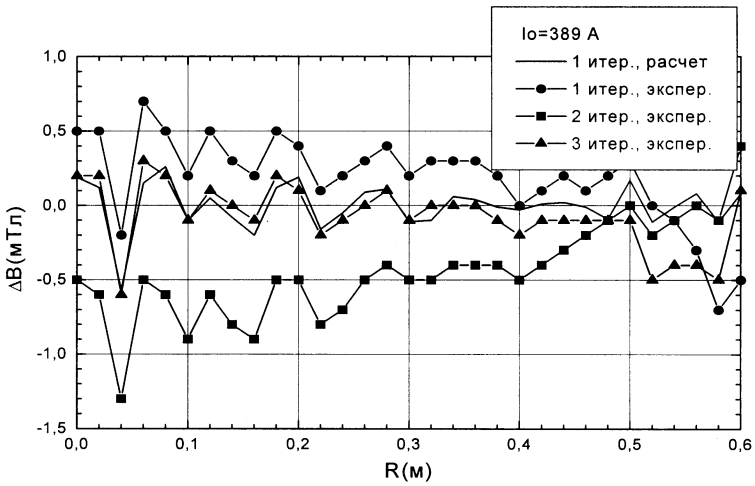


Рис.3. Точность формирования требуемого магнитного поля ($p, I_0=389$ A)

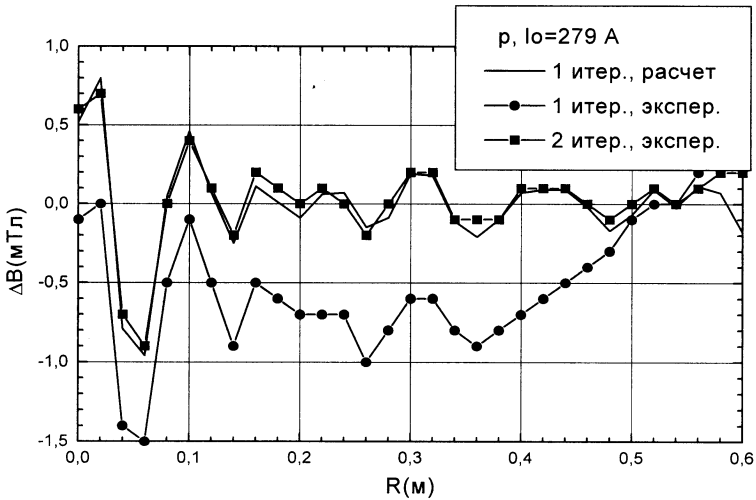


Рис.4. Точность формирования требуемого магнитного поля ($p, I_0=279$ A)

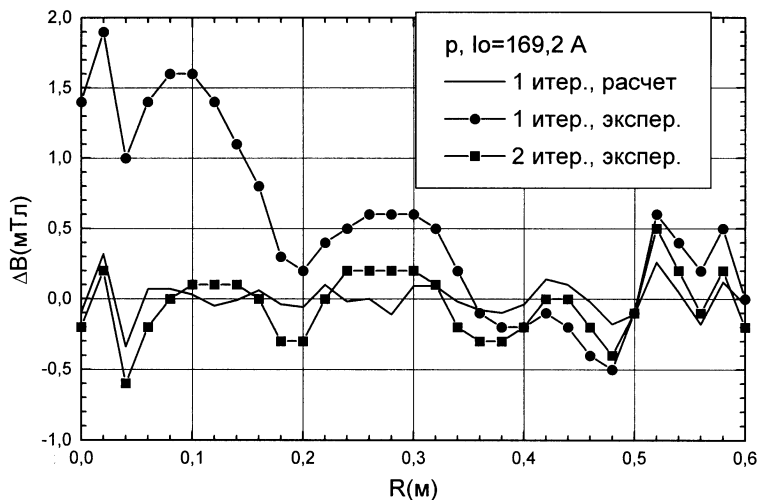


Рис.5. Точность формирования требуемого магнитного поля ($\rho, I_0=169,2 \text{ A}$)

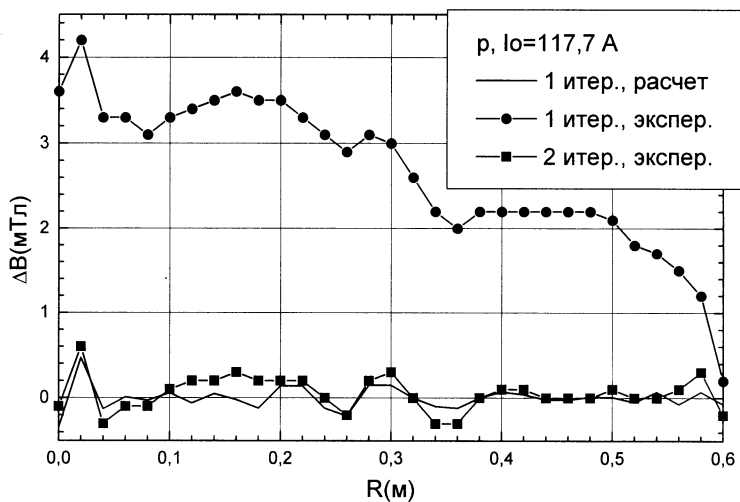


Рис.6. Точность формирования требуемого магнитного поля ($\rho, I_0=117,7 \text{ A}$)

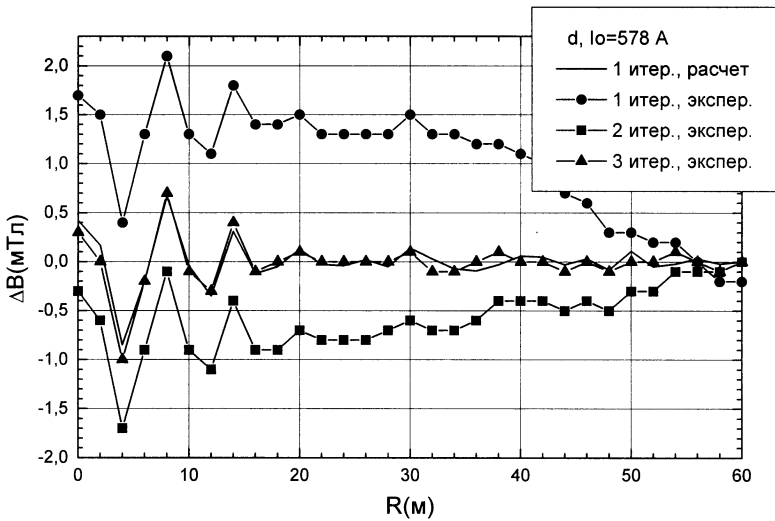


Рис.7. Точность формирования требуемого магнитного поля ($d, I_0=578 \text{ A}$)

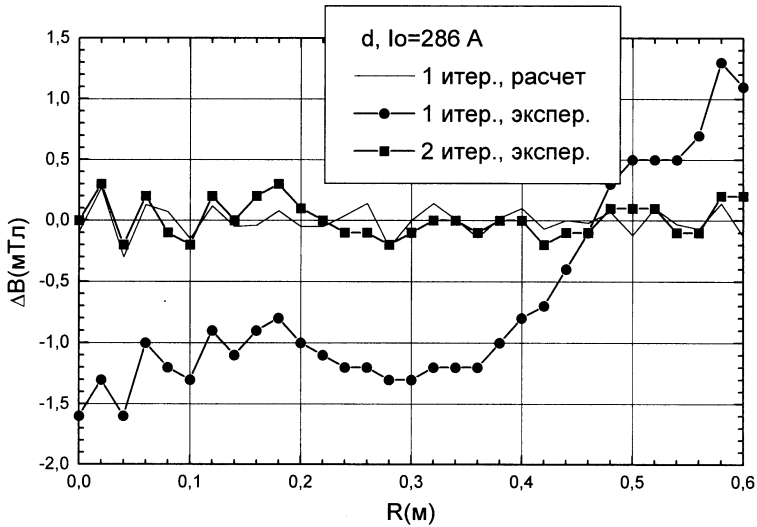


Рис.8. Точность формирования требуемого магнитного поля ($d, I_0=286 \text{ A}$)

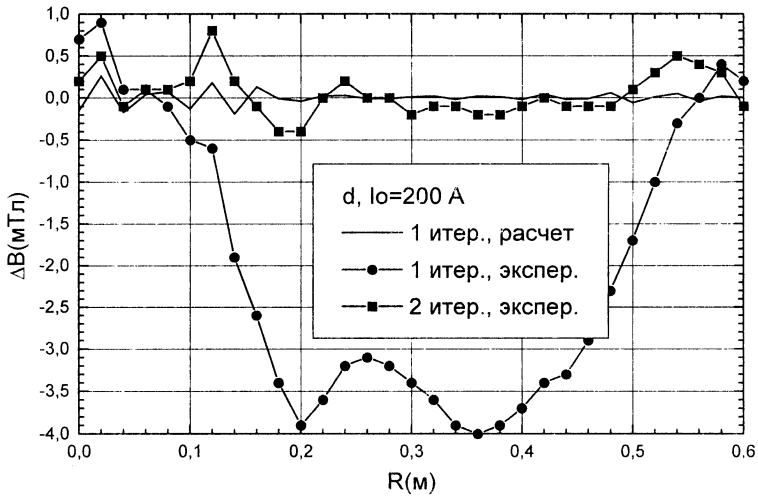


Рис.9. Точность формирования требуемого магнитного поля ($d, I_0=200$ A)

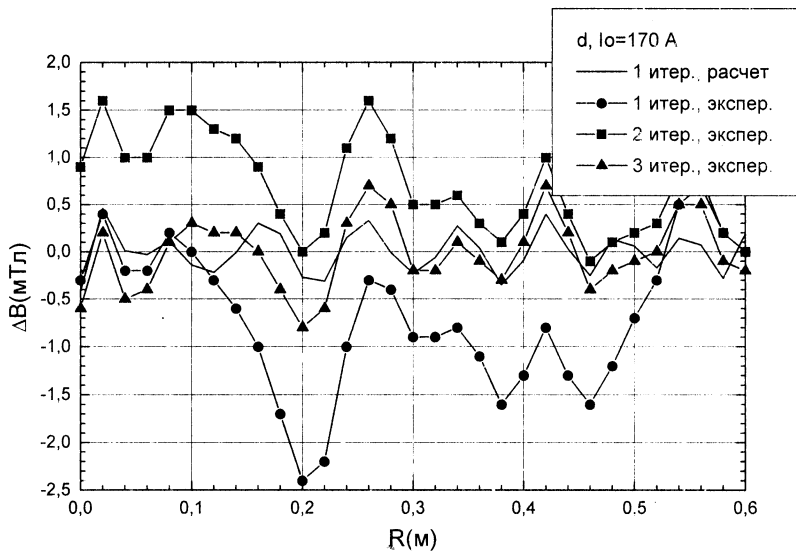


Рис.10. Точность формирования требуемого магнитного поля ($d, I_0=169,9$ A)

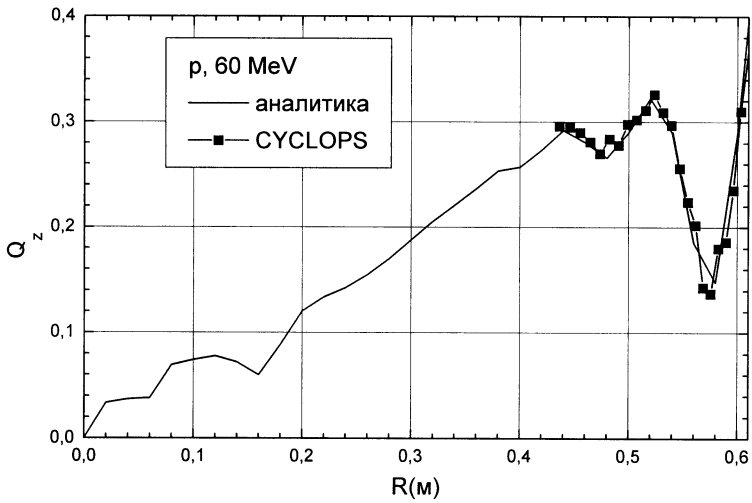


Рис.11. Частота аксиальных свободных бетатронных колебаний ($p, I_0=566$ A)

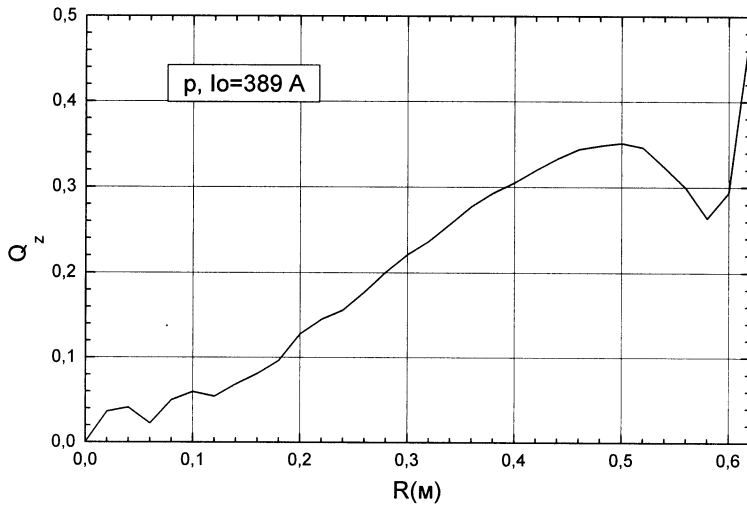


Рис.12. Частота аксиальных свободных бетатронных колебаний ($p, I_0=389$ A)

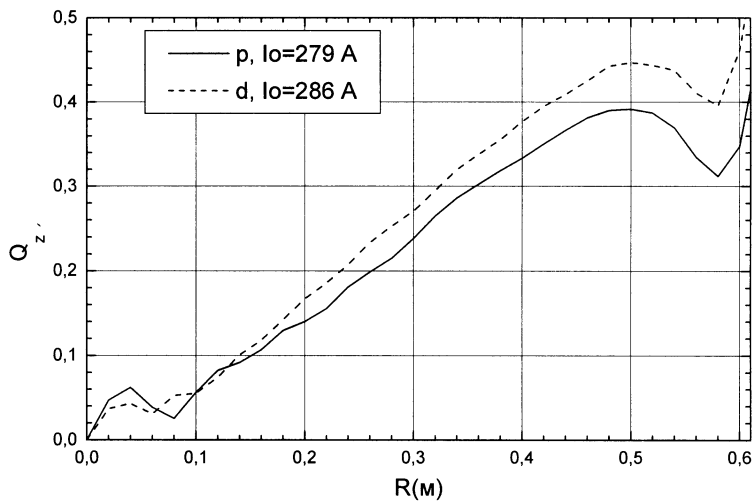


Рис.13. Частота аксиальных свободных бетатронных колебаний ($p, I_0=279 \text{ A}$, $d, I_0=279 \text{ A}$)

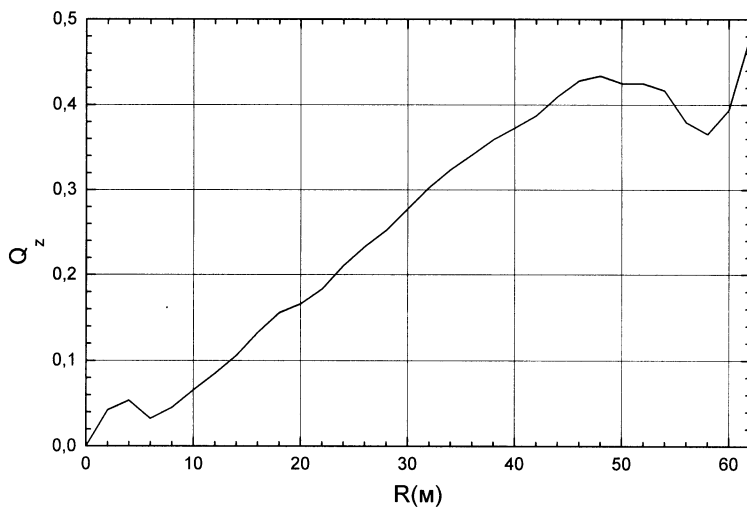


Рис.14. Частота аксиальных свободных бетатронных колебаний ($p, I_0=169,2 \text{ A}$)

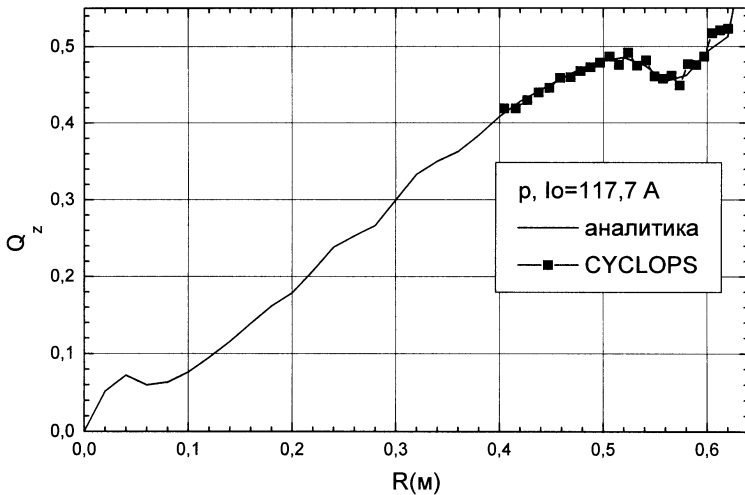


Рис.15. Частота аксиальных свободных бетатронных колебаний ($p, I_0=117,7$ A)

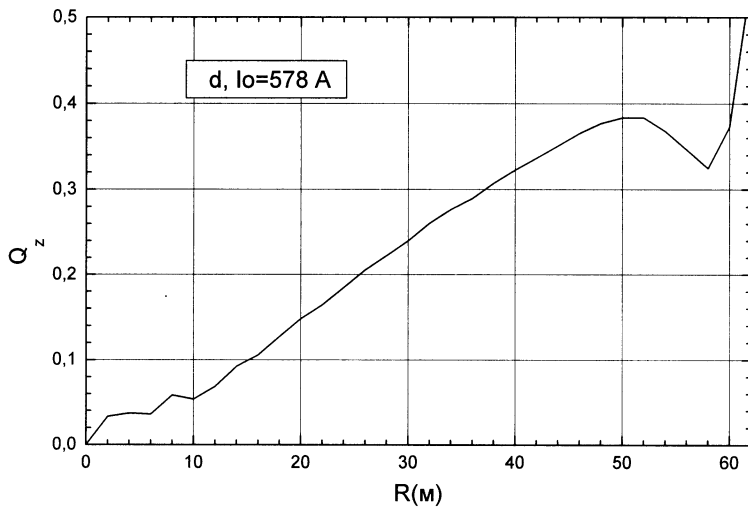


Рис.16. Частота аксиальных свободных бетатронных колебаний ($d, I_0=578$ A)

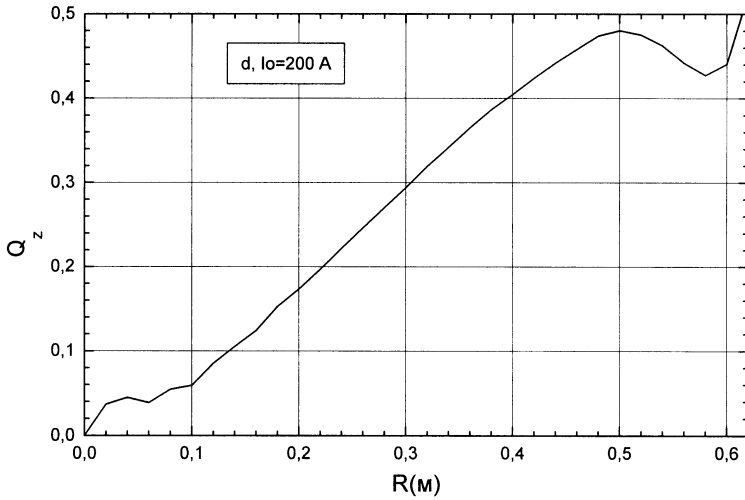


Рис.17. Частота аксиальных свободных бетатронных колебаний ($d, I_0=200$ A)

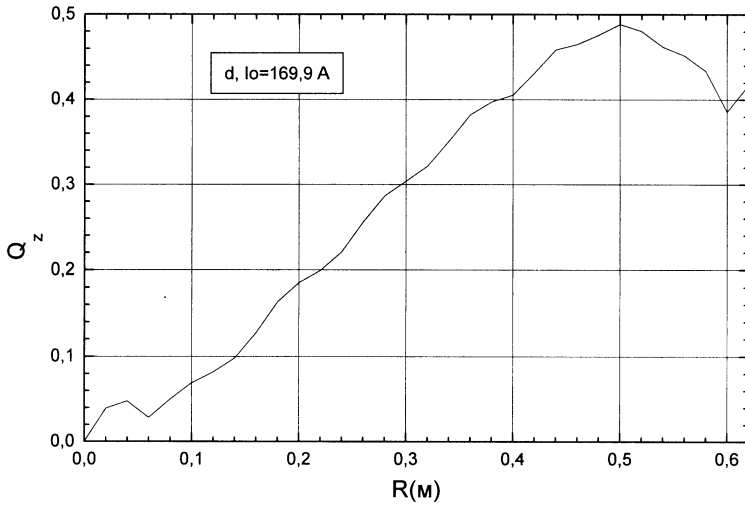


Рис.18. Частота аксиальных свободных бетатронных колебаний ($d, I_0=169,9$ A)

Литература

[1] O.N.Borisov et al. "Feasibility Study of the Beam Extraction from the АИЦ-144 Cyclotron". JINR, E9-96-492, Dubna, 1996. European Cyclotron Progress Meeting, ECPM XXXI, Groningen, 18-20 September 1997, Abstracts, p.24.

[2] O.N.Borisov et al. "New Beam Extraction System for the АИЦ-144 Cyclotron". JINR, E9-98-130, Dubna, 1998. . Proc. of the 15th Int. Conf. On Cycl. And their Appl., Caen, France, 14-19 June 1998, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, p.528.

[3] С.Б.Ворожцов и др. "Магнитные поля корректирующих обмоток изохронного циклотрона АИЦ-144". ОИЯИ, Р9-2000-22, Дубна, 2000.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 марта 2000 года.

Ворожцов С.Б. и др.
Формирование рабочих магнитных полей изохронного
циклотрона АИЦ-144

P9-2000-38

Для изохронного циклотрона АИЦ-144 (Краков, Польша) сформированы требуемые рабочие магнитные поля, которые будут использоваться для ускорения пучков протонов, дейтронов и альфа-частиц до радиуса вывода с минимальными фазовыми потерями. Получены таблицы для значений токов основной и корректирующих обмоток циклотрона.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2000

Перевод авторов

Vorojtsov S.B. et al.
Shaping of the Required Magnetic Field Maps
for Isochronous Cyclotron AIC-144

P9-2000-38

Required magnetic field distributions for isochronous cyclotron AIC-144 (Krakow, Poland) are generated. These field maps are suitable for acceleration of protons, deuterons and α -particles up to the extraction radius of the cyclotron. The minimal particle phase losses are implied in this case. Required main and trim coil current settings are 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 15.03.2000
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,67
Тираж 285. Заказ 51915. Цена 82 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области