

P9-2000-116

А.С.Ворожцов, С.Б.Ворожцов, Л.М.Онищенко

**РАСЧЕТ МАГНИТА ЦИКЛОТРОНА-ИНЖЕКТОРА  
ДЛЯ ФАЗОТРОНА ОИЯИ**

## Введение

Для преодоления ограничений на предельную интенсивность в центральной зоне фазотрона ОИЯИ был предложен способ увеличения интенсивности протонного пучка ускорителя путем внешней инжекции и последовательной двухступенчатой перезарядки пучка  $H^-$  сначала в  $H^0$  и затем в  $H^+$  [1,2]. Новый вариант схемы внешней инжекции в фазотрон ОИЯИ показан на рис. 1 [3].

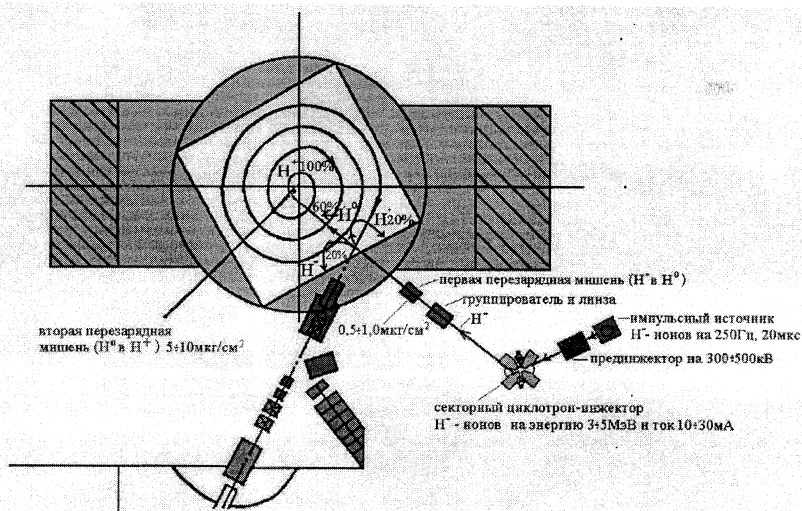


Рис. 1. Схема внешней инжекции в фазотрон ОИЯИ

$H^-$ -ионы из источника частиц, работающего в импульсном режиме с частотой повторения 250 Гц, длительностью импульса 20 мкс и током в импульсе  $10-50 \text{ мА}$ , ускоряются в предварительном инжекторе до энергии 300-500 кэВ и вводятся в секторный циклотрон-инжектор на энергию 3-5 МэВ и интенсивностью внутреннего пучка  $10-30 \text{ мА}$ . После 5-10 оборотов  $H^-$ -ионы выводятся из циклотрона, проходят через банчер, фокусируются квадрупольными линзами в направлении второй перезарядной мишени и перезаряжаются в нейтральные атомы  $H^0$ . Нейтральный пучок  $H^0$  свободно проходит область магнитного поля фазотрона, перезаряжается в  $H^+$  и захватывается в дальнейший процесс ускорения в фазотронном режиме [4].

Выбор основных параметров циклотрона-инжектора проведен в работе [5], опираясь на наработки по сильноточной машине ЦИ-10 [6]. В данной работе приводятся предварительные результаты расчета магнитной структуры циклотронной установки.

## Структура магнита

Структура магнитной системы показана на рис. 2. Параметры циклотрона, связанные с магнитной системой ( см. работу [5] ), приведены в Табл. 1.

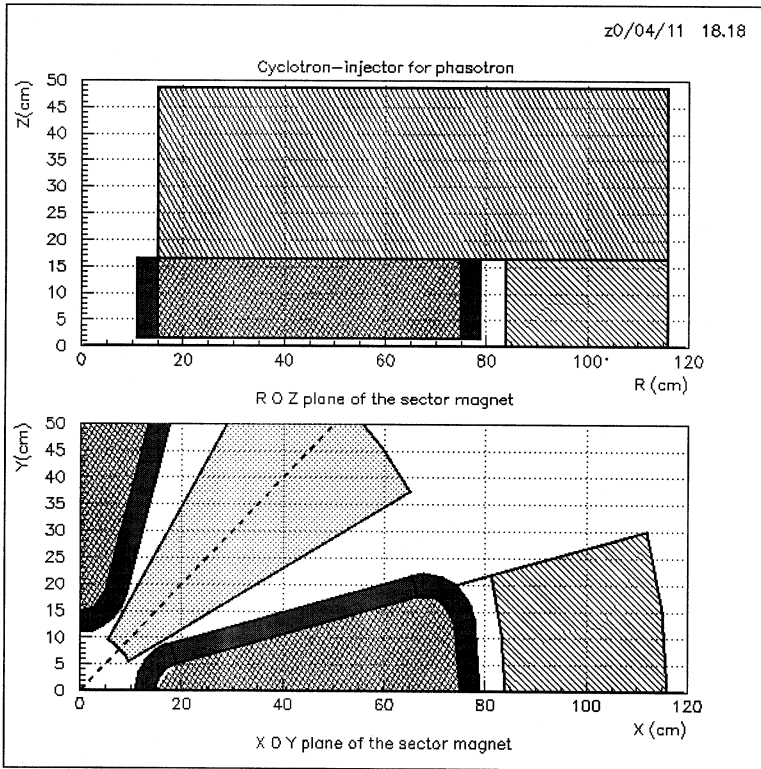


Рис. 2. Структура магнитной системы

Ввиду необходимости достаточной аксиальной фокусировки сильноточного пучка в циклотроне была выбрана секторная структура установки с величиной флаттера  $\geq 1$ . Выбор уровня магнитного поля  $\approx 0,5$  Тл определялся исходя из условия согласования временной структуры пучка циклотрона с параметрами продольного движения ускоряемых частиц в фазотроне. Положение обмотки указано без учета размеров ее каркаса. Соответствующая поправка может быть учтена при дальнейшей доработке параметров магнита с учетом уточнений по требованиям на магнитное поле.

Табл. 1

Группа Параметров	Параметр	Единицы измерения	Значение
Циклотрон	Ускоряемая частица		H <sup>-</sup>
	Энергия инжекции	МэВ	0.5
	Конечная энергия	МэВ	5.0
	Частота обращения частиц	МГц	8.25
Поле	Среднее магнитное поле	Тл	0.5
	Радиус инжекции	см	22
	Радиус последней орбиты	см	65
	Радиальный диапазон формирования поля	см	18.0 ÷ 68.0
Магнитная Система	Число секторов		4
	Диаметр	м	2.32
	Высота	м	0.97
	Пространство между секторами	град	36
	Вес обмотки	кг	296
	Длина обмотки	м	440
	Рассеиваемая мощность	кВт	40
	Вес магнитопровода	т	10
Вес системы	т	10.6	
Секторный Магнит	Максимальная угловая протяженность сектора с обмоткой	град	≈ 54
	Угловая протяженность полюса	град	30
	Воздушный зазор между полюсами	см	3.0
	Радиальная протяженность полюса	см	15.0 ÷ 75.0
	Сечение обмотки $\Delta R \times \Delta Z \times 2$ полюса	см <sup>2</sup>	4 × 15 × 2
	Зазор между обмотками	см	3
	Количество ампер-витков	кА×в	38
	Материал проводника		Cu
	Рассеиваемая мощность обмотки	кВт	10.1
	Вес меди	кг	74.4
	Материал магнитопровода		Ст10
	Вес магнитопровода	т	2.5
	Общий вес секторного магнита	т	2.6
Высота	см	97	
Радиальный размер	см	116	

## Распределение поля

Расчет магнитного поля для пространственной структуры магнита, показанной на рис. 2 (плоский зазор и постоянная угловая протяженность полюса секторного магнита), при параметрах системы из Табл. 1 выполнялся при помощи программы расчета 3-мерных магнитных полей.

При этом в расчете участвовали все  $N=4$  секторные магниты системы. Распределение поля в медианной плоскости магнита приведено на рис. 3 (половина периода магнитного поля по азимуту составляет  $45^\circ$ ).

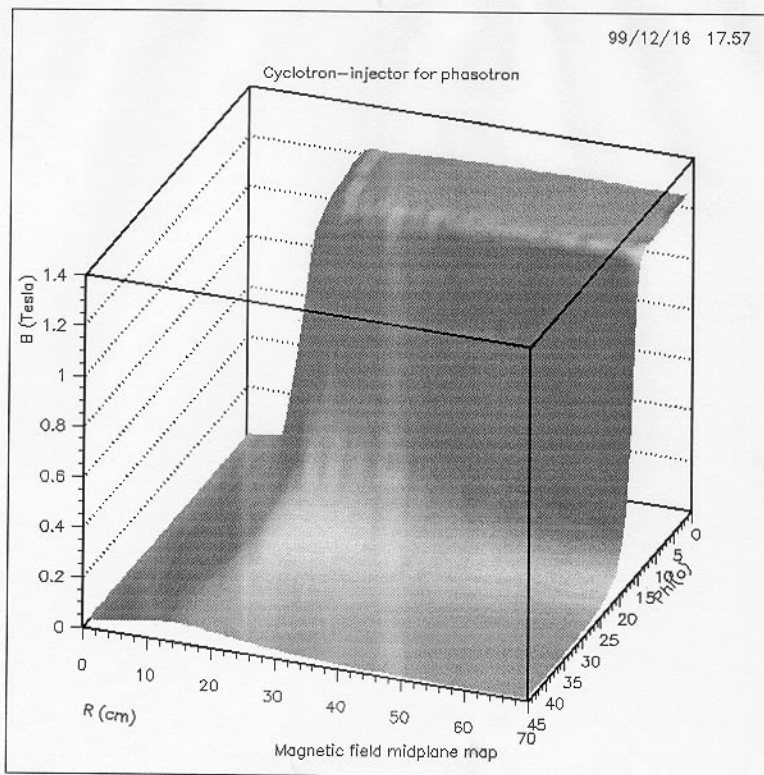
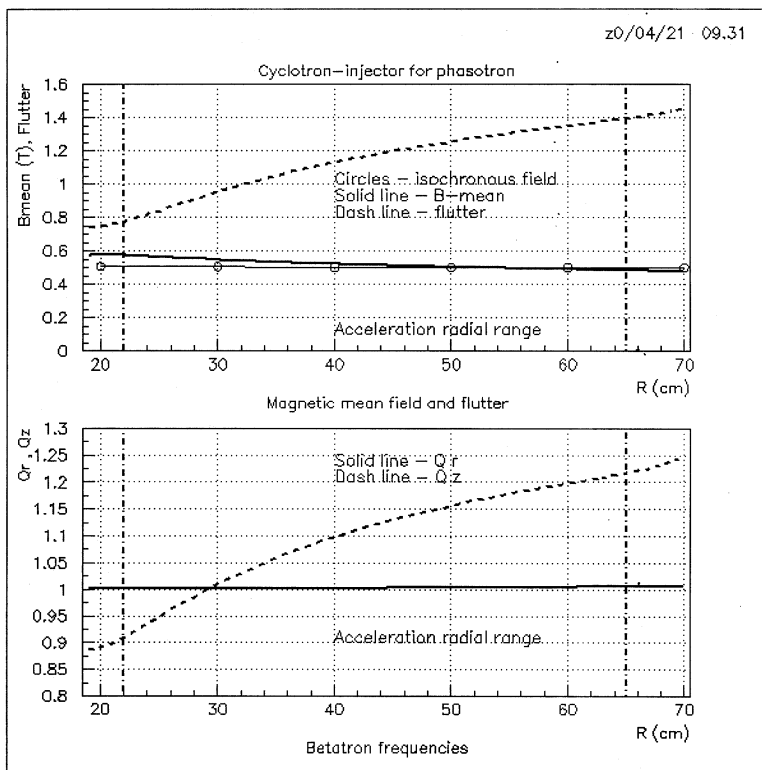


Рис. 3. Распределение поля в медианной плоскости магнита

Гармонический анализ расчетного поля показан на верхней части рис. 4. Здесь же (нижняя часть рисунка) приведены частоты бетатронных колебаний для полученного флаттера и требуемого изохронного среднего поля (аналитические формулы). Из рисунка видно, что имеет место прохождение пучком простых резонансов связи в диапазоне радиусов ускорения пучка.

В связи с этим необходима либо коррекция магнитного поля, либо тщательное исследование прохождения этих резонансов при помощи программ анализа динамики пучка с учетом относительно большого набора энергии частиц за оборот (см. работу [5]). В частности, возможно увеличение флаттера поля в диапазоне радиусов  $22 \div 35$  см для повышения частоты аксиальных свободных колебаний. При этом может быть также получено некоторое снижение по абсолютной величине радиального градиента среднего магнитного поля. Это обстоятельство может быть использовано при формировании требуемого изохронного поля установки.



**Рис. 4. Гармонический анализ поля и частоты свободных колебаний ускоренных частиц**

## Заключение

- Выполнена первоначальная оценка параметров магнита циклотрона.
- Полученная карта магнитного поля в медианной плоскости установки может быть использована для предварительного анализа динамических характеристик магнитной структуры.
- На основании анализа динамики частиц для полученного расчетного поля необходимо дальнейшее расчетное формирование распределения поля в медианной плоскости циклотрона с соответствующей коррекцией параметров магнитов.
- В данной работе уровень детализации при определении параметров магнитной структуры и карты магнитного поля установки является достаточным, имея в виду возможное изменение конечной энергии циклотрона и другие ожидаемые модификации параметров системы.

Авторы выражает свою глубокую признательность Е.М.Сыресину за постановку задачи и поддержку при проведении работы.

## Литература

1. О.В.Савченко “Предложения по новому варианту внешней инжекции фазотрона ОИЯИ и возможностям его реализации”. Дубна, 26 ноября 1999 г.
2. О.Н.Борисов, Л.М.Онищенко, ОИЯИ, Р9-97-282, Дубна 1997 г.
3. Авторы благодарят О.В.Савченко за возможность использования рисунка со схемой внешней инжекции в фазотрон ОИЯИ.
4. L.Onischenko, O.Borisov “External Injection into JINR Phasotron-Computer Simulation 2”. Abstract. EPAC 2000, 26-30 June 2000, Austria Center Vienna.
5. L.M.Onischenko, G.A.Karamysheva, S.B.Vorojtzov “Beam Space Charge Effects in High-Current Cyclotron Injector”. Abstract. EPAC 2000, 26-30 June 2000, Austria Center Vienna.
6. Е.В.Самсонов, Г.А.Карамышева, С.Б.Ворожцов “Расчет динамики частиц в циклотроне ЦИ-10”. Дубна, Сообщение ОИЯИ Р-99-126, 1999 г.

---

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 мая 2000 года.

Ворожцов А.С., Ворожцов С.Б., Онищенко Л.М.  
Расчет магнита циклотрона-инжектора для фазотрона ОИЯИ

P9-2000-116

Одним из вариантов увеличения на порядок интенсивности протонного пучка фазотрона является внешняя инжекция частиц из секторного высоко-точного циклотрона на энергию 3–5 МэВ. В данной работе приводятся предварительные результаты расчета магнитной структуры циклотронной установки. Расчет магнитного поля для пространственной структуры магнита выполнялся при помощи программы расчета трехмерных магнитных полей. Полученная карта магнитного поля в медианной плоскости установки может быть использована для предварительного анализа динамических характеристик магнитной структуры.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2000

#### Перевод авторов

Vorojtsov A.S., Vorojtsov S.B., Onischenko L.M.  
Magnetic Field Calculation for Cyclotron-Injector  
to the JINR Phasotron

P9-2000-116

One of the methods for increasing of the proton beam intensity in the JINR phasotron is an external particle injection from a separated sector high current cyclotron for the energy of proton of 3–5 MeV. In this paper preliminary results of the magnetic structure simulation for the cyclotron are given. A 3D magnetic field calculation code was used to this end. The field map obtained can be applied for the preliminary analysis of the cyclotron beam dynamics.

The investigation has been performed at the Dzheleпов 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 15.06.2000  
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,81  
Тираж 280. Заказ 52084. Цена 98 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области