

**сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна**

**P9-84-594**

**С.Б.Ворожцов, В.П.Дмитриевский, Н.Л.Заплатин,  
В.В.Кольга, Э.А.Полферов, А.Ф.Чеснов**

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
РЕГЕНЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЗАБРОСА ПУЧКА  
ФАЗОТРОНА ОИЯИ**

**1984**



Регенеративная система заброса пучка в железотоковый канал фазотрона ОИЯИ состоит из трех локальных неоднородностей магнитного поля /возбудитель Р, регенератор R и дополнительный регенератор R<sub>д</sub> /, с помощью которых осуществляется раскачка радиальных колебаний частиц в области конечных радиусов ускорения, вблизи частоты Q<sub>r</sub> = 1.

Основные параметры элементов системы заброса были выбраны в<sup>/1/</sup>, где на основе аналитических выражений с использованием матричного формализма и численного интегрирования полных уравнений движения определены азимутальные протяженности /Δφ<sub>Р</sub> = Δφ<sub>R</sub> = =0,1 рад/, градиенты магнитного поля /G<sub>Р</sub> = 310 Гс/см, G<sub>R</sub> = =270 Гс/см/, азимутальное и радиальное положение Р и R в камере ускорителя. Дальнейшие исследования регенеративной системы<sup>/2/</sup> позволили определить эффективность заброса для ожидаемых амплитуд радиальных и аксиальных колебаний частиц, эмиттанс и энергетический разброс пучка на входе в отклоняющий канал с толщиной септума 4 мм<sup>/3/</sup>.

В данной работе приведены экспериментальные результаты исследований системы заброса пучка фазотрона ОИЯИ, физический пуск которого осуществлен в 1984 году.

Целью исследований было:

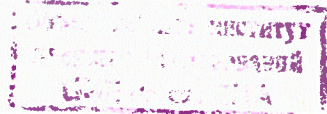
1. Измерение величины заброса для полученных полей Р и R в сформированном поле фазотрона<sup>/4/</sup> без выводного канала.
2. Определение зависимости величины заброса от радиального положения Р и R.
3. Оценка потерь пучка и ожидаемый коэффициент заброса частиц в отклоняющий канал.

На рис.1 показаны поперечные сечения ферромагнитных пластин и экспериментальные распределения полей Р и R. Эффективные градиенты, характеризующие силу локальных неоднородностей, получены на основании соотношения

$$G = \frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{\Delta\phi} \int_0^{2\pi} \Delta B(r, \phi) d\phi \right],$$

где ΔB- вклад поля неоднородностей. Результаты гармонического анализа полей неоднородностей и основного поля фазотрона приведены на рис.2. Полученные распределения магнитных полей Р и R удовлетворяют требуемым и хорошо согласуются с расчетными кривыми.

Определение величины заброса и аксиального размера пучка проводилось с помощью фотопластинок, помещенных на выходе из





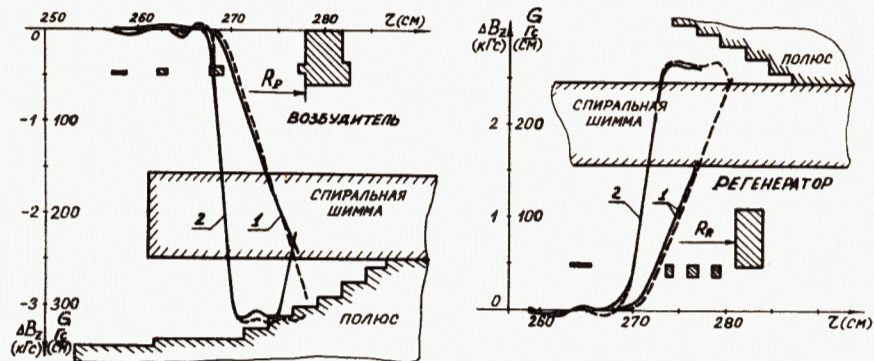


Рис.1. Поперечное сечение пластин возбуждителя и регенератора и распределение магнитного поля /1/ и его градиента /2/ вдоль радиуса; — эксперимент, ---- расчет.

Рис.2. Гармоники и фазы магнитного поля возбуждителя и регенератора и основного поля.

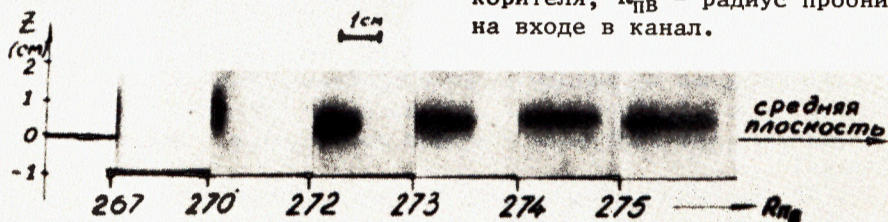
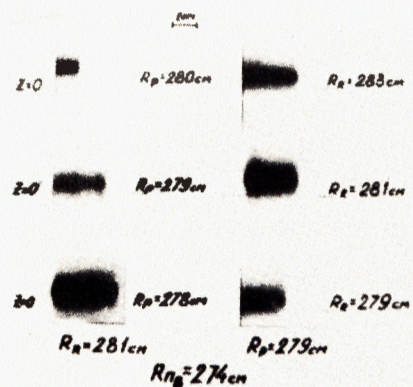
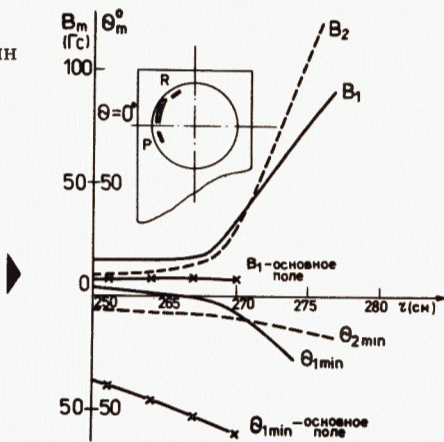


Рис.3. "Автографы" пучка при изменении радиального положения возбуждителя ( $R_p$ ) и регенератора ( $R_r$ ) и в области раскачки радиальных колебаний при постоянном радиальном положении возбуждителя и регенератора / $R_p = 279$  см,  $R_r = 281$  см/.  $z = 0$  - средняя плоскость ускорителя,  $R_{пв}$  - радиус пробника на входе в канал.



$P / 4^\circ$  от входа в первую секцию канала/. Полученные "автографы" пучка при разных значениях толщины свинцовой подложки /5 и 10 мм/ показали, что эффект многократного прохождения пучка отсутствует. Время экспозиции при средней интенсивности внутреннего пучка  $\sim 0,1$  мкА варьировалось в пределах  $10 \div 30$  с.

На рис.3 показаны "автографы" пучка в зависимости от радиального положения  $P$  и  $R$  и вдоль радиуса в области раскачки при выбранном радиальном положении неоднородностей. Измеренные величины заброса, соответствующие "автографам" рис.3, приведены на рис.4. Видно, что настройка системы раскачки радиальных колебаний на оптимальную величину заброса может быть выполнена при помощи радиальных перемещений возбуждителя и регенератора /кривые 1,2/. Уменьшение максимального заброса при  $R_p < 278$  см /кривая 1/ связано с перекрытием пучка пластиной возбуждителя. Монотонное изменение максимального заброса вдоль радиуса /кривая 3/ соответствует расчетным данным /экспоненциальный рост радиальных амплитуд при регенеративной раскачке/.

Расчетное распределение частиц по забросу на входе в канал при выбранных положениях возбуждителя и регенератора / $R_p = 278$  см,  $R_r = 281$  см/ представлено на рис.5. Вычисление спектра проводилось для экспериментальной формы полей локальных неоднородностей, динамических характеристик основного поля, соответствующих проводимым исследованиям, и с учетом фазового движения частиц. В расчете принималось равномерное распределение частиц исходного пучка по амплитудам и фазам радиальных колебаний при значении амплитуды  $A_{r0} \leq 2$  см. Как видно из рисунка, максимальное значение заброса  $\Delta R_{max}$  с точностью 15% согласуется с экспериментально измеренным. Несовпадение расчета и эксперимента объясняется наличием в основном магнитном поле первой гармоники с амплитудой  $\sim 8$  Гс и фазой, согласованной с системой раскачки /рис.2/, что приводит, согласно оценкам, к некоторому увеличению  $\Delta R_{max}$  по сравнению с измеренным. Установка системы заброса приводит к снижению частоты /2/ свободных радиальных колебаний до значения  $Q_r = 1$ . Расчеты показывают, что чем раньше по энергии частиц получаем  $Q_r = 1$ , тем больше заброс при фиксированном положении выводного канала.

Из расчетных данных /рис.6/ видно, что определяющим для заброса пучка является радиальное положение возбуждителя. Изменение величины заброса при помощи перемещений регенератора менее критично. Измерения максимального заброса пучка /рис.4/ согласуются с этими выводами.

Анализ аксиального размера пучка на входе в канал в зависимости от радиуса /рис.3/ показывает, что имеет место аксиальная фокусировка, что согласуется с расчетными данными /рис.7/. Из этого рисунка видно, что для исходной амплитуды  $A_{z0} = 0,5$  см, соответствующей измерениям на ускорителе, размер пучка на входе в канал почти не увеличивается, но растет угловая расходимость частиц в аксиальном направлении.



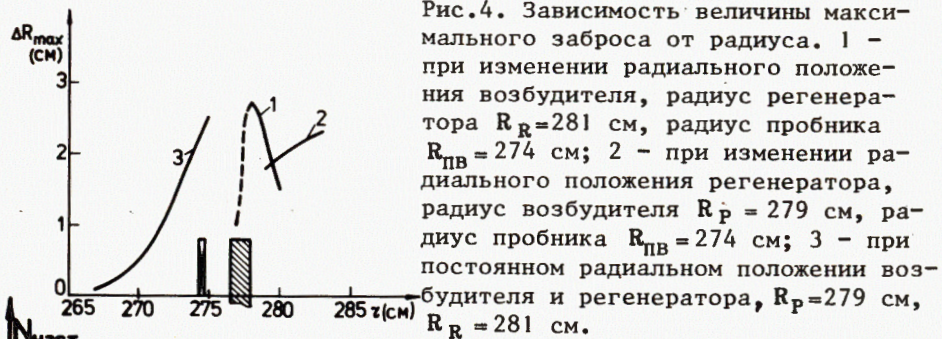


Рис.4. Зависимость величины максимального заброса от радиуса. 1 - при изменении радиального положения возбуждителя, радиус регенератора  $R_R = 281$  см, радиус пробника  $R_{ПВ} = 274$  см; 2 - при изменении радиального положения регенератора, радиус возбуждителя  $R_P = 279$  см, радиус пробника  $R_{ПВ} = 274$  см; 3 - при постоянном радиальном положении возбуждителя и регенератора,  $R_P = 279$  см,  $R_R = 281$  см.

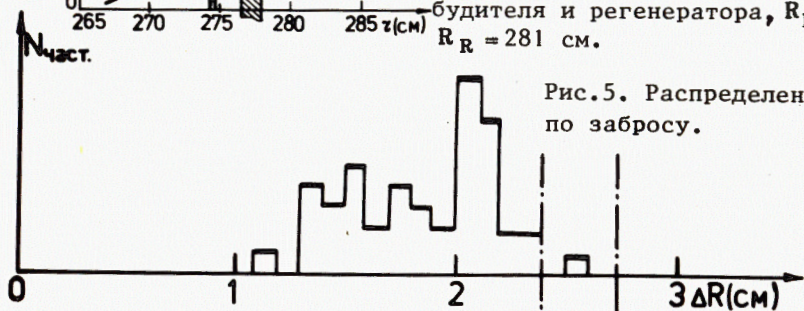


Рис.5. Распределение частиц по забросу.

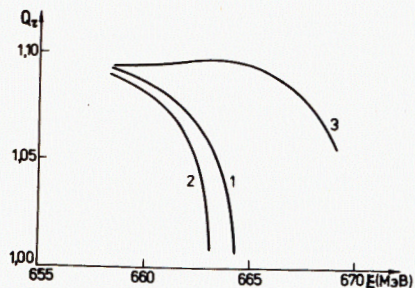


Рис.6. Зависимость частоты радиальных колебаний от радиального положения локальных неоднородностей. 1 - исходное рабочее положение; 2 - выдвигание регенератора на 3 см; 3 - выдвигание возбуждителя на 1 см.

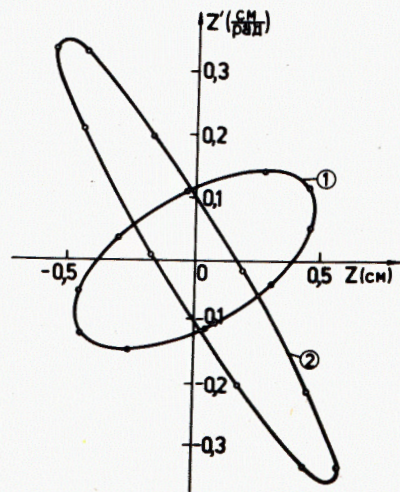


Рис.7. Преобразование аксиального эмиттанса пучка для исходной радиальной амплитуды  $A_{r0} = 0,5$  см на азимуте входа в канал. 1 - исходный эмиттанс, 2 - после раскачки радиальных колебаний.

Представление о распределении частиц по их аксиальному положению на входе в канал для различных исходных радиальных амплитуд  $A_{r0}$  может быть получено на основании расчетных данных рис.8. На этом рисунке для заданного значения исходной /вне зоны раскачки/ радиальной амплитуды  $A_{r0}$  ставится в соответствие максимальное значение исходных аксиальных амплитуд  $A_{z0 \max}$ .

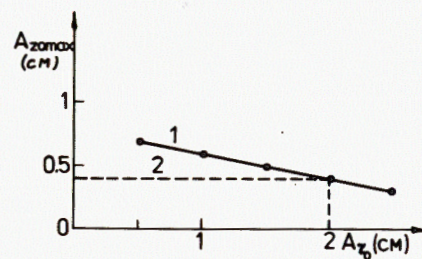


Рис.8. Расчет аксиальных размеров пучка на входе в канал. 1 - граница спектра частиц; 2 - экспериментальное значение  $A_{z0 \max}$ .

такое, что при исходном равномерном распределении частиц по фазам и амплитудам аксиального движения и по фазам радиального движения спектр частиц по  $z$  после раскачки на входе в канал не превышает значений  $z = 1,2$  см /аксиальная апертура на входе канала 2,4 см/. Согласно экспериментальным данным /рис.3/  $A_{z0 \max} \leq 0,4$  см для пучка ускорителя. Так как размер пучка на

входе в канал практически сохраняется, можно сделать вывод, что радиальные амплитуды исходного пучка не превышают 2 см, что согласуется с ранее сделанными расчетами по захвату пучка в центре ускорителя<sup>/5/</sup>.

Таким образом, результаты экспериментального исследования системы заброса показывают, что обеспечивается необходимая раскачка радиальных колебаний при сохранении аксиального размера пучка и равномерного распределения плотности заряда на входе отклоняющего канала. С учетом результатов по формированию магнитного поля фазотрона с системой вывода пучка<sup>/6/</sup> можно ожидать получение коэффициента вывода частиц из камеры ускорителя свыше 50%.

Авторы благодарят Л.М.Онищенко за постоянное внимание к данной работе, В.В.Ахманова, В.И.Винокурова, Е.Н.Заплатина, А.Ф.Новгородова и Н.Г.Шакуна за помощь в получении экспериментальных результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ворожцов С.Б. и др. Труды III Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1973, с. 99-103.
2. Ворожцов С.Б. и др. ОИЯИ, Р9-5246, Дубна, 1974.



3. Василенко А.Т. и др. ОИЯИ, Р9-12586, Дубна, 1979.
4. Заплатин Н.Л. и др. ОИЯИ, Р9-83-123, Дубна, 1983.
5. Ворожцов С.Б., Дмитриевский В.П., Заплатин Н.Л. ОИЯИ, Р9-81-711, Дубна, 1981.
6. Заплатин Н.Л. и др. Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1983, т. II, с. 87-89.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 августа 1984 года.

Ворожцов С.Б. и др. Р9-84-594  
Предварительные исследования регенеративной системы заброса пучка фазотрона ОИЯИ

Излагаются экспериментальные исследования системы заброса пучка фазотрона ОИЯИ. Приводятся характеристики магнитного поля возбуждителя и регенератора, обеспечивающие требуемую величину заброса / ~2 см/ без существенного увеличения аксиальных размеров пучка.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод М.И.Потапова

Vorozhtsov S.B. et al. P4-84-594  
Preliminary Investigations of the JINR Phasotron  
Regenerative System for the Beam Extraction

Experimental investigations of the JINR phasotron regenerative system for the beam extraction are described. Magnet field characteristics of the peeler and the regenerator providing a required turn separation (~2 cm). Without essential increase of the beam axial dimensions are given.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984