

Безногих Ю.Д. и др.
СЗ45е Б2-9-10141,
Б-399

+

48 / 1977



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-9-10141

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 46°

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

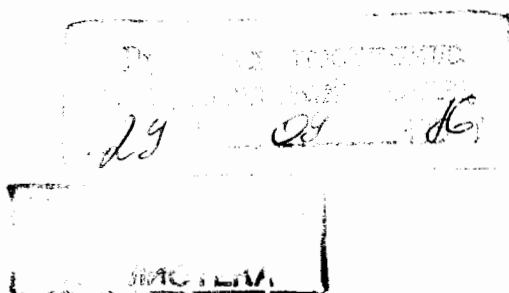
Ю.Д.Безногих, Г.А.Боков, М.А.Воеводин, В.П.Заболотин,
Л.П.Зиновьев, А.С.Исаев, И.Б.Иссинский, Г.С.Казанский,
И.И.Карпов, Н.А.Коруков, В.Н.Кузнецов, Л.Г.Макаров,
А.И.Михайлов, В.А.Мончинский, В.Н.Перфеев, Ш.З.Сайфулин,
И.Н.Семеновский, С.В.Федуков, А.П.Царенков, В.И.Черников,
К.В.Чехлов, Д.И.Шерстянов, И.Н.Ялвзой, С.А.Новиков.

Б2-9-10141

СИНХРОФАЗОТРОН ОИЯИ.

РАБОТА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ.

(II квартал 1976 г.)



Дубна, 1976 г.

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

1. Введение.....	2
2. Магнитные измерения.....	3
3. Геодезия.....	10
4. Интенсивность.....	12
5. Выведенные пучки.....	13
6. Управляющая электроника.....	16

I. Введение.

Во втором квартале 1976 г. синхрофазотрон ОИЯИ проработал на эксперимент 986 ч. (91.6%) из запланированных расписанием 1077 ч. Из них на дальнейшее изучение и совершенствование ускорителя использовано 242 ч. (22.5%).

Средняя интенсивность после 100.0 мс ускорения составила:

протоны - 1.5×10^{11} частиц в цикле,

ядра гелия - 4.0×10^8 - " - .

Потери времени по причине простоев систем синхрофазотрона составили 91 ч. (8.4%).

В мае месяце было затрачено 72 ч. для выяснения причин искажения показателя магнитного поля H при четырёхкратной скорости изменения поля. Значительные искажения наблюдаются в области радиусов, занятых шинами резонансных обмоток. Результаты измерений подтвердили выдвинутое ранее предположение о влиянии шин на показатель магнитного поля $/I/$.

В период летней остановки продолжены периодически ведущиеся наблюдения за положением электромагнита (ЭМ) синхрофазотрона. Максимальные осадки отмечаются на III и IV квадрантах.

Сделана попытка скомпенсировать искажения показателя магнитного поля H в районе расположения широких шин резонансных обмоток с помощью специально сформированных из проводников коррекций новых обмоток

Осуществлён режим совместной работы медленного и быстрого вывода (МВ и БВ) при одном значении остановленного магнитного поля. Длительность МВ равна 300 мс, длительность БВ - 800 мкс.

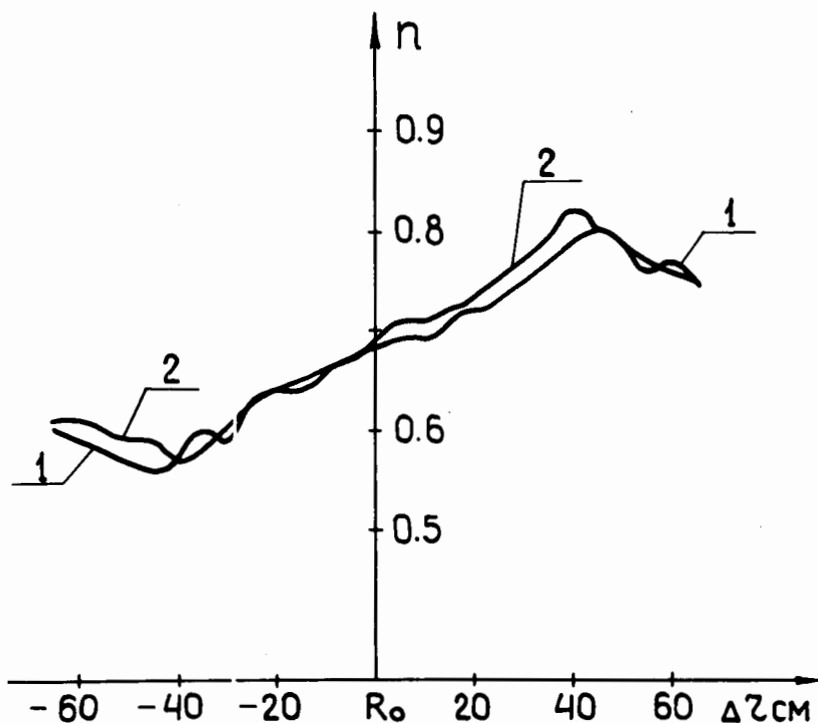
В радиотехническом отделе (РТО) был проведён пробный запуск новой системы связи ускоряющей частоты и магнитного поля.

2. Магнитные измерения.

Улучшение качественных характеристик ускорителя начинается с улучшения характеристик магнитного поля. В основе знаний их лежат магнитные измерения. Было обнаружено, что в рабочей области ускорителя в кривой $n = f(R)$ наблюдаются значительные искажения. Было высказано предположение, что причиной этого может быть влияние шин резонансных обмоток, уложенных вблизи поверхности верхних и нижних полюсов ЭМ./1/. Магнитные измерения в мае 1976 г. и имели цель решить этот вопрос. Впервые измерения проводились двумя способами параллельно.

А. Классический способ - с помощью многовитковой катушки и баллистического гальванометра - до сих пор был единственным, с помощью которого и получена вся информация о магнитном поле /2/. Допустимая точность измерений не хуже $\pm 2\%$. В данном случае проверка влияния плоских шин сводилась к многократным измерениям на полюсах различных квадрантов. На III квадранте измерения были проведены и с дополнительно уложенными шинами на верхнем и нижнем полюсах. На рис. I представлены кривые $n = f(\Delta z)$, полученные на полюсе 25 III кв-та.

Рис. I
 $n = f(\Delta z)$ пол. 25,
 кв-т III,
 плоскость $Z = 0$.
 $B = 160$ Гс.
 1 - $\dot{B} = 4.0$ кГс/с
 2 - $\dot{B} = 16.0$ кГс/с.



Из проведенных измерений видно, что форма кривой показателя поля на пол. 25 имеет небольшие искажения, и при различной скорости изменения поля мало меняет свою форму. Подобный характер имеет эта зависимость и на других полюсах III квадранта, что подтверждается измерениями /3/. Именно поэтому на этом полюсе и были установлены дополнительные шины, координаты которых показаны на рис.2.

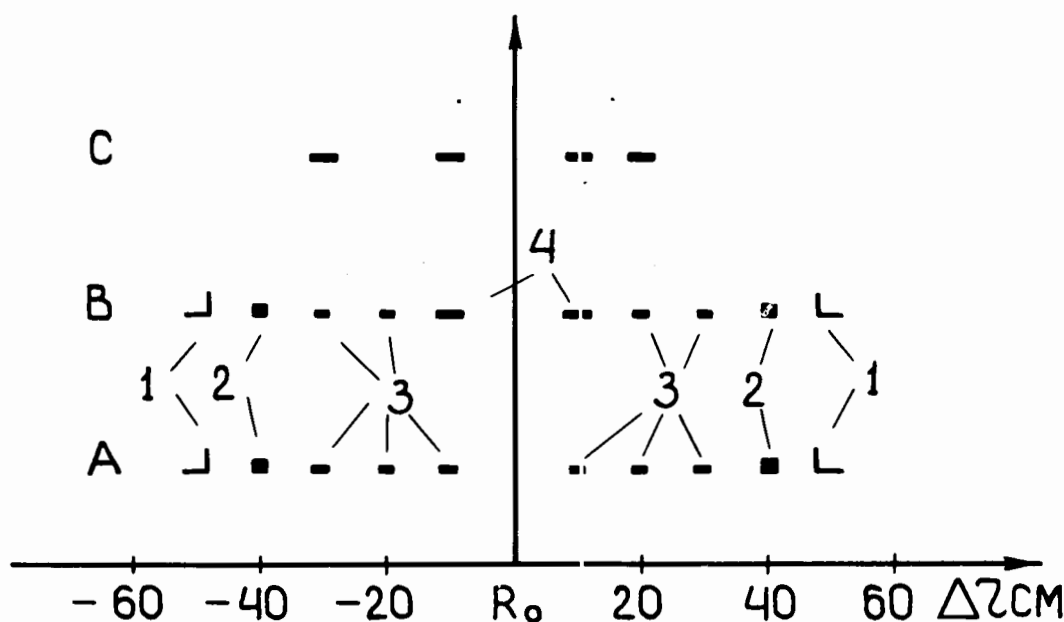


Рис. 2. Схема расположения шин резонансных обмоток на полюсах II и III квадрантов ЭМ.

A — III кв — т. B — II кв — т.

C — устанавливаемые дополнительно медные шины сечением $S = 25 \times 4 \text{ мм}^2$.

1 — дюралюминиевый уголок — рельс сечением $= 25 \times 25 \text{ мм}^2$.

2 — медные шины $S = 12 \times 12 \text{ мм}^2$.

3 — медные шины $S = 10.8 \times 6 \text{ мм}^2$.

4 — медные шины $S = 25 \times 5 \text{ мм}^2$.

Результаты измерений с дополнительными шинами на полюсе 25 показаны на рис.3. Эти шины представляли собой медные полосы сечением $25 \times 4 \text{ мм}^2$, длиной 2.5 м; каждая шина заключена в изоляционную "рубашку". Все 8 шин были расположены симметри-

чно средней плоскости Z_0 на поверхности верхнего и нижнего полюсов.

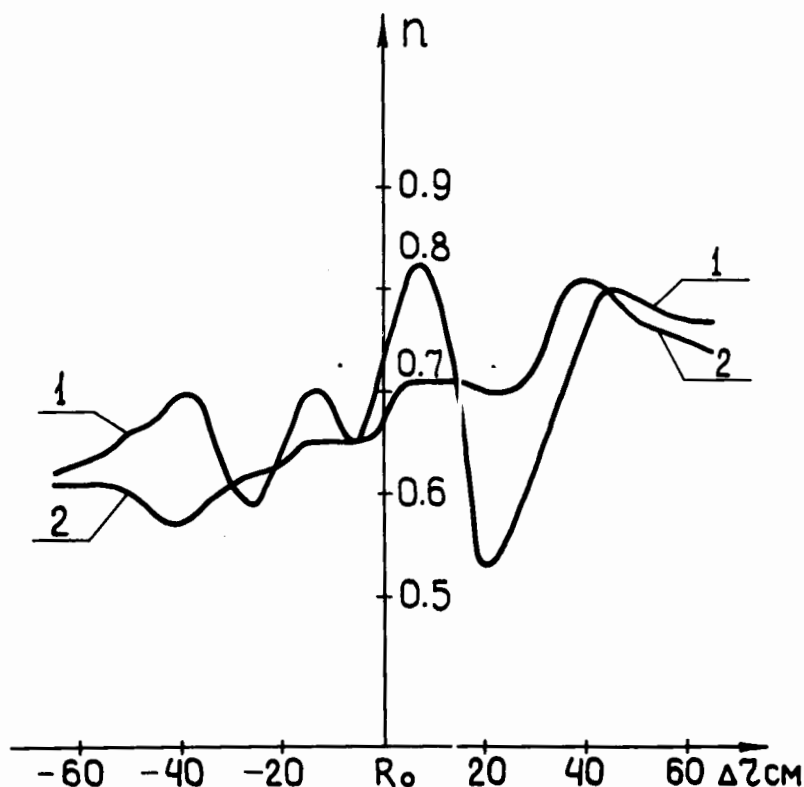


Рис. 3. $n = f(\Delta r)$ Полюс 25, квадрант III,
плоскость Z_0 , $B = 160$ Гс, $\dot{B} = 16.0$ кГс/с
На поверхности полюсов уложены дополнительные
шины в координатах: $R_0 \pm 10$ см, $R_0 \pm 20$ см, $R_0 \pm 30$ см.
1 - $\Delta r \times \Delta r = 25 \times 4$ мм²;
2 - $\Delta r \times \Delta r = 4 \times 25$ мм².

Эти измерения дают представление о влиянии на показатель поля площади проводящих металлических масс.

Анализ измерений, проведенных на II и III квадрантах ЭМ позволяет сделать вывод, что характер возмущений в показателе поля n во II квадранте, где расположены более широкие шины резонансных обмоток $\Delta r \times \Delta r = 25 \times 5$ мм² на $R = R_0 \pm 100$ мм, и III квадранте, где укладывались дополнительные плоские шины $\Delta r \times \Delta r = 25 \times 4$ мм² аналогичен. См. рис.4.

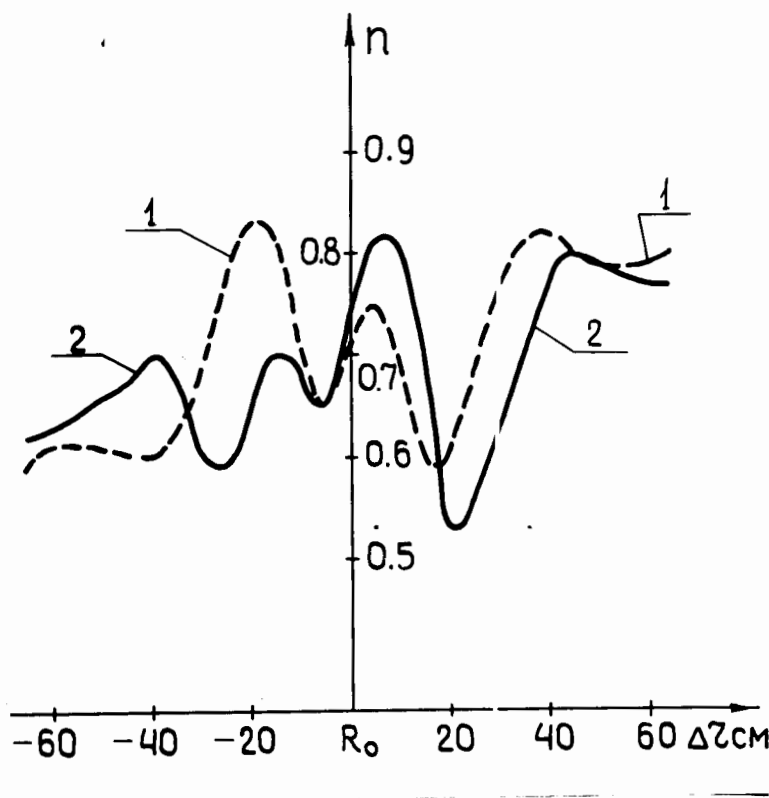


Рис.4. $n = f(\Delta z)$. $B = 160$ Гс, $\dot{B} = 16.0$ кГс/с,
плоскость Z_0 .

1 - квадрант II, полюс I2.

2 - квадрант III, полюс 25 (установлены дополнительные шины на $R_0 \pm 10, \pm 20$ и -30 см).

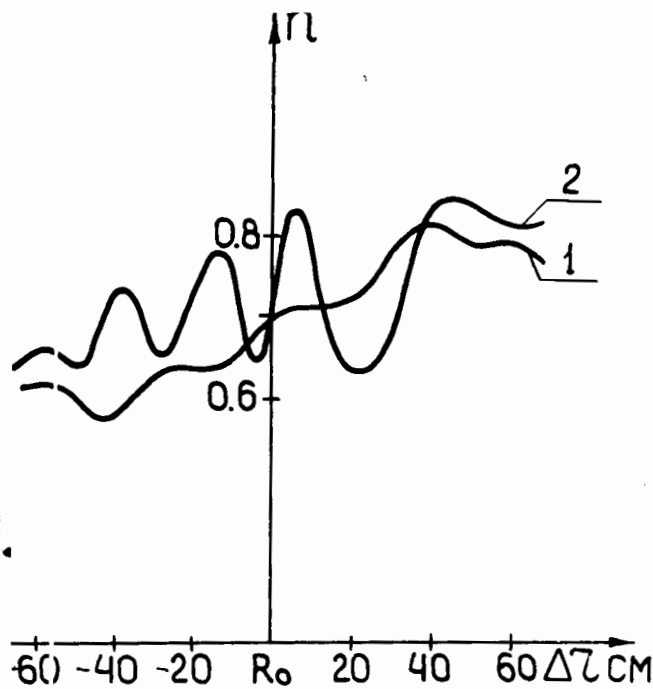
Б. В целях сокращения времени на проведение магнитных измерений и пребывания человека внутри камеры ускорителя, повышения точности измерений и облегчения корректирования магнитного поля, а также представления информации в наглядной форме с использованием внешних устройств ЭВМ ЕС 1010 были начаты работы по проектированию и изготовлению автоматизированной системы измерений основных характеристик магнитного поля синхротрона. В настоящее время изготовлен один из 10 датчиков, чувствительных к первой производной магнитного поля $\frac{\partial B_z}{\partial z}$ и часть электронной аппаратуры. В основу конструкции датчика была положена гармоническая катушка, используемая для измерения градиента магнитного поля в жесткофокусирующих ускорителях /4/. Изменение конструкции гармонической катушки (ГК) существенно увеличило её чувствительность при относительно небольших раз-

мерах $(100 \times 100) \text{ мм}^2$. На базе высокоточного усилителя постоянного тока (УВТ -3-70) был изготовлен прецизионный интегратор с постоянной времени $\tau = 10^4 \text{ с.}$, работающий в режиме выборки и хранения информации. Этот режим использован для обеспечения работы высокоточного цифрового вольтметра типа TP-1652 или И1513, обладающих пониженным быстродействием. Точность измерения градиента составляла не хуже 0.5%. Экспериментальные измерения были проведены на полюсах двух квадрантов: на II квадранте исследовались полюса № 6, 13, 37, на III кв-те - полюс № 24. Как уже выше отмечалось, III квадрант характерен тем, что в нём отсутствуют широкие медные шины. Резонансные обмотки медленного вывода состоят из шин сечения $\Delta \tau \times \Delta z = 10.8 \times 6 \text{ мм}^2$ и $12 \times 12 \text{ мм}^2$. На поверхности полюсов II квадранта кроме упомянутых шин проложены медные шины сечением $\Delta \tau \times \Delta z = 25 \times 5 \text{ мм}^2$ на радиусе $R_0 \pm 10 \text{ см}$. Результаты измерений, сделанные на полюсе 24 III квадранта с дополнительными шинами и без них, приведены на рис.5

Рис.5. $n = f(\Delta \tau)$ кв-т III
п.24.

$\nu = 160 \text{ Гс}$, $\dot{\nu} = 16.0 \text{ кГц/с}$
плоскость z_0 .

2 - внесены дополнительные
шины $\Delta \tau \times \Delta z = 25 \times 5 \text{ мм}^2$.



Характер зависимости $n = f(\Delta \tau)$ свидетельствует о влиянии широких медных шин резонансных обмоток на показатель поля n . Это связано с появлением "вихревого" магнитного поля. Влияние шин можно оценить величиной первой производной функции $n = f(\Delta \tau)$. Как следует из рис.5, для медных шин сечением $S = 10.8 \times 6 \text{ мм}^2$

$\frac{\partial n}{\partial z} = 1.5 \times 10^{-3}$ 1/см, а для шин сечением $S = 12 \times 12$ мм² - $\frac{\partial n}{\partial z} = 3.0 \times 10^{-3}$ 1/см. Подобную реакцию оказывают и дюралюминиевые уголки - рельсы размером 25 x 25 мм, уложенные во всех четырёх квадрантах ускорителя.

На рис.6 представлены результаты измерений показателя поля n на различных полосах II квадранта. Для медных шин сечением $\Delta z \times \Delta z = 25 \times 5$ мм² $\frac{\partial n}{\partial z} = 1.5 \times 10^{-2}$ 1/см (в районе R_0). Расположение шин представлено на рис.2.

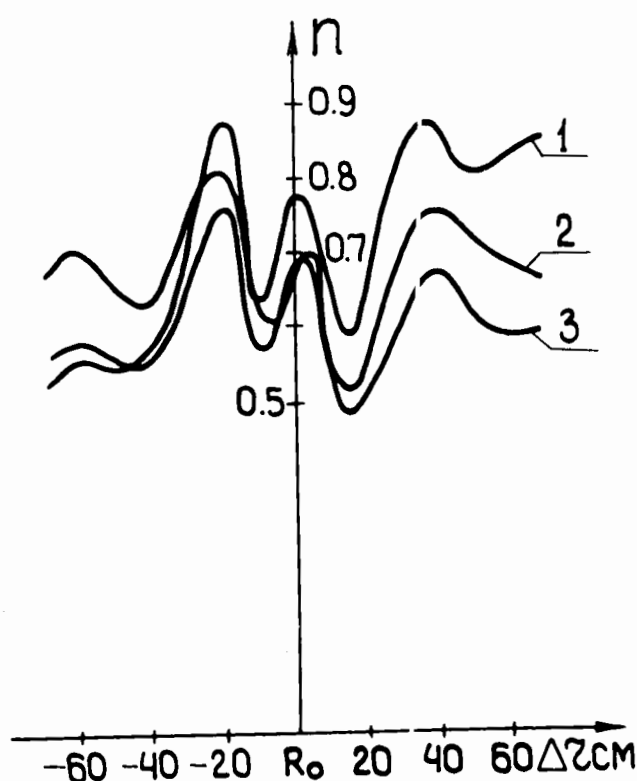


Рис.6. $n = f(\Delta z)$. Квадрант II, $E = 160$ Гс,
плоскость Z_0 , $\dot{B} = 16.0$ кГс/с.
1 - полоса 37
2 - " 13
3 - " 6.

На рис.7 показан результат измерений, проведённых в квадранте II на полосе 3, на котором расположены сигнальные электроды

для съёма информации системы "Орбита". (Отсчёт полюсов в квадранте ведётся по ходу пучка).

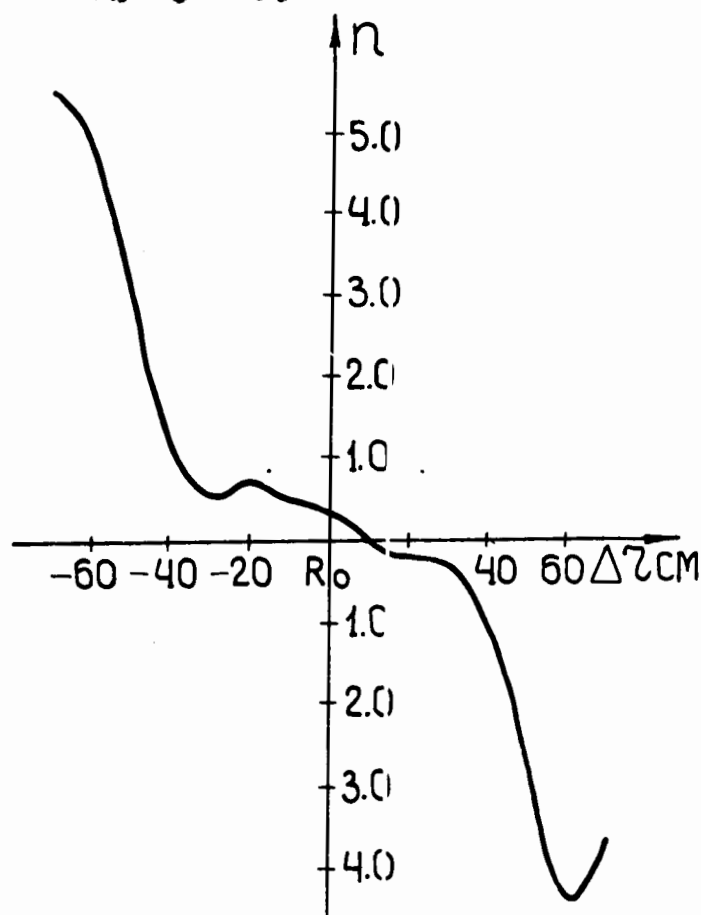


Рис. 7. $n = f(\Delta z)$. Квадрант II, полюс 3.
плоскость Z_0 .
 $B = 160 \text{ Гс}$, $\dot{B} = 16.0 \text{ кГс/с}$

Анализ приводимых экспериментальных данных показывает, что для ускорителей с мягкой фокусировкой, где градиент магнитного поля имеет небольшую величину (для синхрофазотрона $\frac{\partial B_z}{\partial z} = 33 \times 10^{-3} \text{ Гс/см}$ при $B = 150 \text{ Гс}$), нельзя не учитывать влияние поперечных размеров шин, уложенных на поверхности полюсов. В общем случае эта зависимость является сложной и будет определяться несколькими параметрами, например: \dot{B} , формой и материалом шин, соотношением поперечных размеров шин, их взаимным расположением и др. Именно поэтому в каждом отдельном случае необходимо проведение магнитных измерений для четкого представления о влиянии на показатель поля n . В нашем случае измерения подтвердили предположение о решающем вкладе

в характер искажений показателя волн n широких медных шин резонансной обмотки медленного вывода.

3. Геодезия

В период летней остановки, начиная с апреля м-ца, на синхрофазотроне было проведено 2 цикла наблюдений за стабильностью положения ЭМ, 5 циклов — за кустом реперов и 2 цикла — за осадкой рабочей сети на колоннах. Наблюдений за осадочной сетью, расположенной на фундаменте ЭМ ускорителя, не проводилось. Максимальная величина осадки на внешнем радиусе отмечается на III квадранте и равняется 1.0 мм. На внутреннем радиусе максимум осадки равняется 0.9 мм и наблюдается на II и IV квадрантах.

Таблица осадок квадрантов ЭМ (мм)

Кв — т	Радиус	Е цикла измерений	
		I	II
I	Внешн.	— 0.8	— 0.6
	Внутр.	— 0.2	— 0.4
II	Внешн.	— 0.7	— 0.4
	Внутр.	— 0.8	— 0.3
III	Внешн.	— 0.8	— 1.0
	Внутр.	— 0.7	— 0.9
IV	Внешн.	0.0	— 0.5
	Внутр.	— 0.7	— 0.9

Доверительный интервал измерений $0.4 < \Delta S < 0.5 \text{ мм}$

Средняя квадратическая погрешность $\delta_n < 0.06 \text{ мм}$

Таблица осадок рабочей сети на колонных I кордуса. (мм)

Кв-т	Радиус	Циклы измерений	
		I	II
I	Внешн.	- 0.1	- 0.4
	Внутр.	-0.6	- 0.1
II	Внешн.	- 0.3	- 0.4
	Внутр.	- 0.7	- 0.8
III	Внешн.	- 0.2	- 0.7
	Внутр.	- 1.2	- 1.6
IV	Внешн.	- 0.4	- 0.2
	Внутр.	- 0.6	- 0.8

Доверительный интервал измерений $0.2 < \Delta S < 0.4$ (мм)

Средняя квадратическая погрешность $\delta_h < 0.06$ "

Сводная таблица осадок реперов куста. (мм)

№ репера	Циклы измерений				
	I	2	3	4	5
1	-0.16	-0.13	-0.08	-0.06	-0.10
2	+0.07	+0.03	-0.02	+0.04	+0.00
3	+0.09	+0.03	+0.01	+0.03	+0.01
4	0.00	+0.03	+0.03	+0.03	+0.03

Средняя квадратическая ошибка измерений осадки:

$\delta_h \quad \pm 0.01 \quad \pm 0.003 \quad \pm 0.004 \quad \pm 0.03 \quad \pm 0.03$ мм.

Осадки реперов указаны относительно первого цикла наблюдений.

4. Интенсивность.

Продолжалась работа по исследованию динамики пучка и оптимизации режима инжекции и корректирования магнитного поля. Проведено два сеанса, и в обоих достигнута интенсивность более 1.0×10^{12} протонов в цикле после 100 нс ускорения. При этом инжектор настраивался на режим получения минимальных амплитуд свободных колебаний в течение всего времени инжектирования, а корректирование магнитного поля было направлено на подавление существующих искажений в показателе магнитного поля n . Магнитные измерения при четырёхкратной скорости изменения поля показали, что характер искажений показателя магнитного поля n в рабочей области ускорителя зависит от ширины медных шин, проложенных в камере. Эти искажения, уменьшенные \sim в 4 раза, остаются и при нормальной скорости изменения магнитного поля (Рис.8).

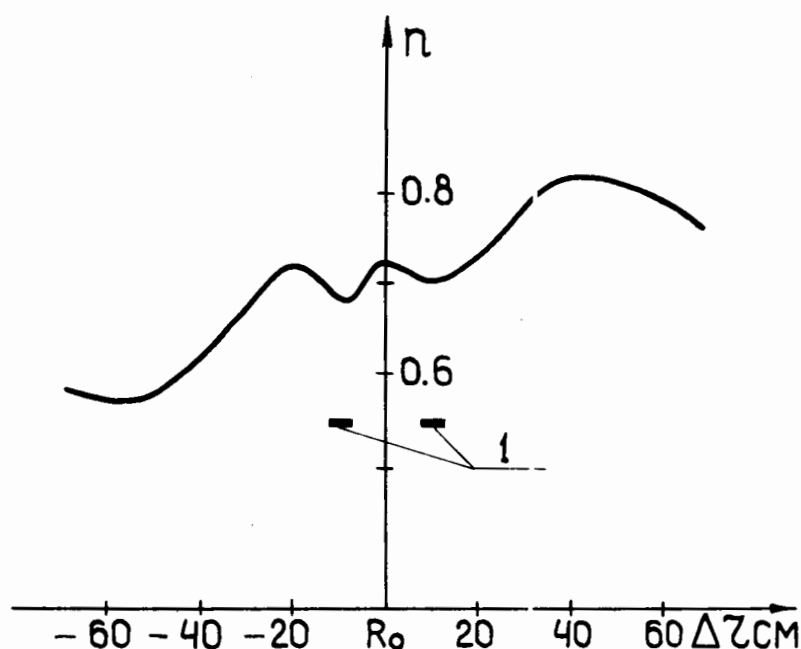


Рис.8. $n = f(\Delta z)$. Квадрант II, полюс 37.
 $B = 230$ Гс, $\dot{B} = 4.0 \text{ кГс/с}$.

Измерения проводились с помощью ГК и прецизионной электронной аппаратуры. Из рис. видно, что в районе нахождения

рабочих шин сечением $\Delta L \times \Delta L = 25 \times 5 \text{ мм}^2$ в кривой показателя поля $n = f(\Delta L)$ появляются характерные искажения. В районе R_0 появляются высшие производные $\frac{\partial^m n}{\partial \Delta L^m}$, из числа которых первая — $\frac{\partial n}{\partial \Delta L} = 5.0 \times 10^{-3} \text{ 1/см}$. Принимая во внимание тот факт, что медные шины резонансных обмоток по азимуту квадрантов уложены неравномерно (см. рис.9) можно утверждать, что создаются благоприятные условия для возникновения азимутальных гармоник составляющих магнитного поля с амплитудами — , которые ответственны за возбуждение резонансов $2 - = 1 \text{ и } 2 + 2 = 3$,
 $3 - = 1 \text{ и } 3 - = 2 \text{ /5/}$.

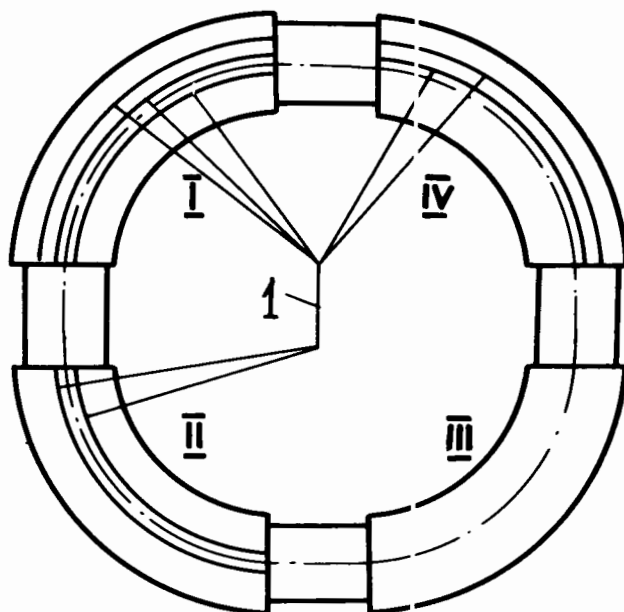


Рис. 9. Схема расположения широких шин резонансных обмоток в рабочей области

I — шины $\Delta L \times \Delta L = 25 \times 5 \text{ мм}^2$.

В связи с изложенным выше была предпринята попытка произвести частичную коррекцию влияния широких медных шин с помощью системы обмоток РЗМ. Необходимо отметить, что полную компенсацию влияния этих шин на показатель поля n осуществить

невозможно потому, что, во-первых, в некоторых квадрантах, например, втором, нарушена симметрия расположения шин относительно центрального радиуса R_0 и плоскости Z_0 . Во-вторых, шина, расположенная на радиусе $R_0 + 30$ см не имеет в этой области эффективных корректирующих проводников ГЗМ.

В сеансе работы 28 и 29 июня с.г. было собрано дополнительно 14 обмоток для корректирования n , чтобы скомпенсировать влияние центральных шин на радиусах $R_0 \pm 10$ см в I, II и IV квадрантах. Эта работа проходила одновременно с опробованием в управляющей электронике новой системы связи частоты ускоряющего напряжения с магнитным полем усилителя. Характерным отличием этой системы является способность удерживать ускоренный пучок на заданном радиусе в течение времени ускорения.

После подбора оптимальных токов в обмотках коррекции и удержании ускоряемого пучка на центральном радиусе с высокой точностью была получена следующая интенсивность после 100 нс ускорения:

$$\begin{aligned} J_{3.0 \text{ нс}} &= 3.8 \times 10^{12} \text{ прот./мм} \\ J_{20.0 \text{ нс}} &= 2.4 \times 10^{12} \quad - \quad " \quad - \\ J_{100.0 \text{ нс}} &= 1.6 \times 10^{12} \quad - \quad " \quad - . \end{aligned}$$

Для квазистационарного режима была характерна следующая величина:

$$N_\beta = 3.0 \times 10^{12} \quad - \quad " \quad - .$$

Направляется вывод о необходимости заменить широкие медные шины на шины меньших размеров в радиальном направлении, что позволит устранить азимутальные гармоники $\frac{\partial^m B_z}{\partial r^m}$ и тем самым повысит стабильность работы ускорителя при максимальной интенсивности, т.к. в этом случае снимаются требования к величине амплитуд свободных колебаний при прохождении резонансов и упрощается корректирование показателя поля n .

5. Выведенные пучки.

Проведена настройка режима и осуществлён медленный и быстрый вывод (МВ и БВ) пучка при остановленном магнитном поле на уровне $B = 10.0$ кГс по соответствующим направлениям. Заброс пучка в форсистему (ФС) МВ производится при положении орбиты пучка вблизи центрального радиуса R_0 . При этом ФС располагается на радиусе $R_0 + 40$ см. В течение 300 мс выводится около 90% циркулирующего пучка, а затем подается команда на отключение тока в резонансной обмотке РОН-1. Манипуляция высокой частоты (ВЧ), которая осуществляется с помощью прецизионного генератора, перемещает пучок во внутреннюю часть камеры ускорителя в область радиусов $R_0 - 15$ см, после чего в обмотку РОН-1 дается короткий импульс тока (~ 1 мс), и пучок забрасывается в магнит - дефлектор БВ. Длительность БВ составляет 600 мкс.

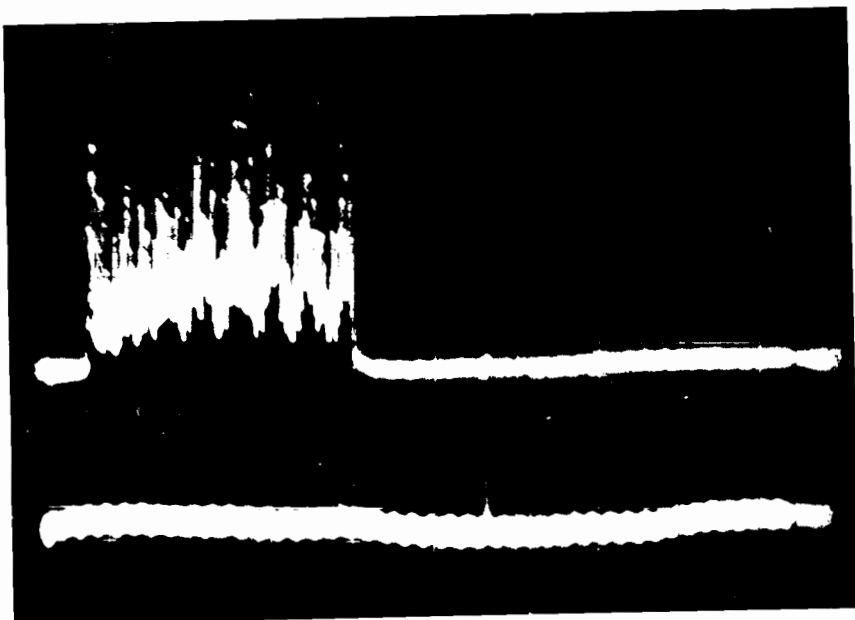


Рис. 10. Совместный режим МВ и БВ

$$P = 50 \text{ мс/см}$$

На нижнем луче осциллограммы показан сигнал в канале МВ, на верхнем - в канале БВ.

Продолжались работы по подготовке прибора и формулизи

с водяным охлаждением для новой (фор)системы, установка которой планируется в II квартале с.г.

6. Управление электроникой.

В течение квартала заданная электроника работала в режиме нормальной эксплуатации по ускорению протонов и ядер гелия, обеспечивала магнитные измерения и исследовательские работы по оптимизации режима ускорения при различных программах корректирования показателя поля n с помощью РСМН-2. Продолжались работы по сокращению режима МВ и НВ в одном цикле ускорения при остановленном магнитном поле; получен результат.

Был осуществлён пробный запуск новой системы связи f и n . Получено ускорение во всём цикле, и реализовано ускорение во всём цикле на центральном радиусе R_0 .

Исследовалось влияние девиации частоты ускоряющего напряжения на структуру выведенного пучка. Гармонический анализ показал, что наибольшая гармоническая составляющая - 50 Гц - вызывает радиальную разбавку пучка с размахом 0.35 см, т.е. $\sim \pm 2$ мм, что не может служить основной причиной больших структурных искажений в выведенном пучке. Измерения радиальных возмущений проводилось с помощью датчиков, дающих информацию о положении орбиты пучка.

Экспериментальный модуль информационной системы на базе ТИА 1001 на протяжении квартала работал в режиме намеренный контроль интенсивности при ускорении, радиального положения пучка. Также измерялась стабильность уровней интенсивности при проведении исследований, связанных с оптимизацией режимов ускорения, проводилось изучение структуры выведенного пучка и малоформатная система измерения малых уровней интенсивности.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.П. Заболотин и др. ОИЯИ, В2-9-9811, Дубна, 1976г.
2. В.Д. Безногих и др. ОИЯИ, В1-9-8460, Дубна, 1974 г.
3. В.Д. Безногих и др. ОИЯИ, В2-9-9581, Дубна, 1976г.
4. Н.Н. Греков и др. ИТЭ, В2, 29, 1956г.
5. В.Д. Безногих и др. ОИЯИ, Р-9-9120, Дубна, 1975г.