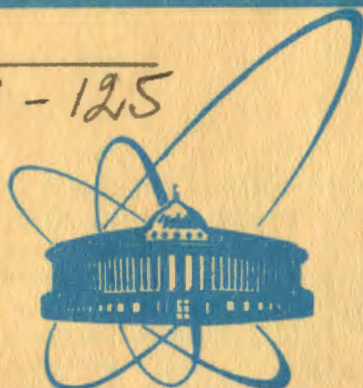


3-125



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

97

5783 / 2-81

23/4-81

9-81-562

В.П.Заболотин, А.С.Исаев, В.Н.Перфеев,
С.В.Федуков, Д.И.Шерстянов, И.Н.Яловой

О ПРИЧИНАХ ИСКАЖЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ
НЕОДНОРОДНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ
В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД УСКОРЕНИЯ

1981

Повышение интенсивности ускоренных в синхрофазотроне ядер продолжает оставаться актуальной задачей. Одним из вариантов уменьшения потерь пучка на остаточном газе при вакууме в камере ускорителя $/2-3/ \cdot 10^{-6}$ Торр является четырехкратное увеличение скорости нарастания магнитного поля в электромагните синхрофазотрона $/\dot{H} = 16000 \text{ Гс/с}/$. Но при повышении скорости нарастания магнитного поля (\dot{H}) более резко проявляется искажающее воздействие охватывающих магнитный поток контуров, возникающих из-за недостаточной электрической изоляции в элементах магнита и вакуумной камеры ускорителя, а также вихревых токов, развивающихся в элементах конструкций, размещенных в зазоре магнита.

Даже малые возмущения магнитного поля могут нарушать устойчивость колебаний частиц, если выполняется резонансное условие

$$k_x \nu_x + k_z \nu_z + q = 0$$

$/k_{x,z} q$ - целые числа, ν - частота бетатронных колебаний/.

Малые искажения магнитного поля вблизи линейных резонансов приводят к резкому возрастанию амплитуды бетатронных колебаний. Благодаря нелинейным эффектам, связанным с нелинейной зависимостью магнитного поля от координат, например от радиуса, бетатронные колебания при достаточно больших амплитудах могут стать неустойчивыми и вдали от резонансов. Во всех случаях оказывается существенным характер азимутальной зависимости возмущения, а не только его величина^{1/}.

Таким образом, имеющиеся искажения в магнитном поле могут привести к существенному снижению интенсивности ускоренного пучка и даже к нарушению работы синхрофазотрона.

Поэтому прежде чем перейти к работе с четырехкратной скоростью нарастания магнитного поля необходимо было убедиться в отсутствии недопустимых искажений последнего.

В 1974 году при исследовании характеристик магнитного поля в IV квадранте магнита синхрофазотрона при повышенной скорости нарастания магнитного поля было обнаружено, что в случае полей, близких к полю инъекции/160 Гс/, показатель неоднородности магнитного поля μ искажается в области среднего радиуса кольца магнита R_0 , а величина искажения увеличивается с ростом скорости нарастания магнитного поля (\dot{H}) и уменьшается с ростом величины поля $H^{2,3,4}$ /табл.1,рис.1/. Также было установлено от-

Таблица 1

а/ $n=f(r)$ на полюсе №33 IV квадранта в плоскости z_0 на полях 160, 320 и 480 Гс при $\dot{H}_p=4000$ Гс/с /без учета остаточного поля/

$\frac{\Delta\tau(\text{см})}{H(\text{Гс})}$	+60	+50	+40	+30	+20	+10	R_c	-10	-20	-30	-40	-50	-60
160	0,78	0,76	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69	0,66	0,63	0,60	0,57	0,55	0,54
320	0,76	0,74	0,72	0,70	0,69	0,68	0,67	0,65	0,62	0,59	0,56	0,54	0,53
480	0,76	0,74	0,72	0,70	0,69	0,68	0,67	0,65	0,63	0,60	0,57	0,55	0,54

б/ $\Delta n=f(r)$ на полюсе №33 IV квадранта в плоскости z_0 на полях 160, 320 и 480 Гс при $\dot{H}=8000$ и 16000 Гс/с относительно $\dot{H}_p=4000$ Гс/с

$\frac{\dot{H}}{H(\text{Гс})}$	$\frac{\Delta\tau(\text{см})}{H(\text{Гс})}$	+60	+50	+40	+30	+20	+10	R_c	-10	-20	-30	-40	-50	-60
$8 \cdot 10^3$	160	0	0	0	+0,01	+0,01	+0,03	+0,04	+0,02	+0,01	0	0	0	0
	320	0	0	0	+0,01	+0,01	+0,01	+0,02	+0,01	0	0	0	0	0
	480	0	0	0	0	0	0	+0,01	0	-0,01	-0,01	0	0	0
$16 \cdot 10^3$	160	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,01	+0,04	+0,08	+0,03	+0,01	-0,01	-0,01	0	0
	320	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02	-0,01	+0,02	+0,03	+0,02	0	-0,01	-0,01	0	0
	480	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	+0,01	+0,02	+0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0	0

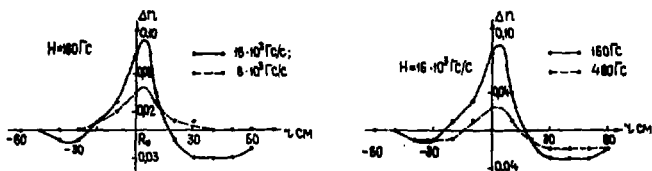


Рис. 1. $\Delta H = f(r)$, Квадрант IV, полюс №33, плоскость z_0 , поле $H = 160$ и 480 Гс, $\dot{H} = 8 \cdot 10^3$ и $16 \cdot 10^3$ Гс/с относительно $\dot{H}_p = 4 \cdot 10^3$ Гс/с.

существование контуров, охватывающих магнитный поток по длине квадрантов, и отсутствие ошибок в схемах соединений проводников и шин, уложенных в камере ускорителя.

Показатель λ измерялся с помощью двух жестко соединенных между собой катушек, расстояние между осями которых составляло 5 см, и баллистического гальванометра. Длина катушек равна длине полюса в азимутальном направлении. Их постоянные /произведение числа витков на площадь/ одинаковы с точностью до 0,05%. При включении катушек встречно измеряется величина разности полей ΔH на расстоянии $\Delta r = 5$ см, а при отключении одной катушки - величина поля H ; ΔH определяется дважды. При втором измерении катушки меняются местами /поворотом их на 180° вокруг вертикальной оси/ для уменьшения ошибки. Гальванометр отключается от схемы специальным устройством в момент подачи импульса от компаратора ведущего магнитного поля ускорителя. Точность измерения была не хуже $\pm 2\%$, шаг измерения по радиусу был принят равным 10 см.

Так как протяженность по радиусу областей искажений может быть меньше 10 см, то было решено в дальнейшем проводить измерения по радиусу с шагом 5 см, а не 10 см, как делалось раньше. И действительно, оказалось, что благодаря уменьшению шага были обнаружены малопротяженные искажения в распределении λ по радиусу /рис.2-5/, которые не могли быть зарегистрированы при шаге 10 см. А это помогло найти причины искажений λ , вызывавшие большие потери пучка при ускорении.

В 1975 году было исследовано распределение λ по радиусу при $H = 4000$ и 16000 Гс/с на 24 полюсах магнита в плоскости z_0 на поле 160 Гс и на 4 полюсах в плоскостях $z_0 \pm 8$ см на поле 230 Гс. Шаг измерения был равен 5 см.

Полученные данные, которые приведены в табл. 1-3 и на рис.2,3, показывают, что показатель λ искажается на радиусах $R_0 \pm 5$ см, $R_0 \pm 15$ см, $R_0 \pm 25$ см, $R_0 \pm 35$ см I, II и IV квадрантов магнита. При рабочей скорости нарастания магнитного поля

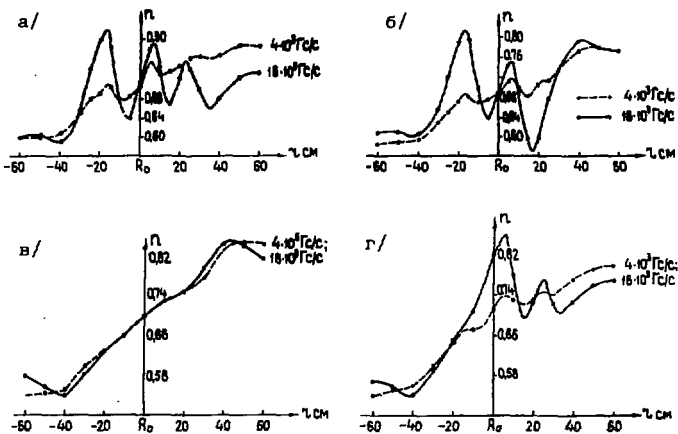
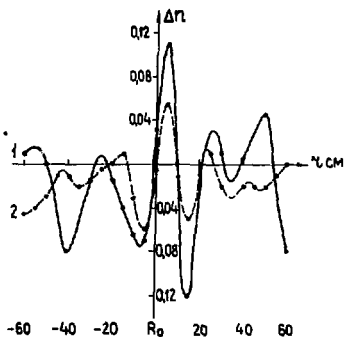


Рис. 2. $n = f(r)$ в плоскости z_0 , $H = 160$ Гс, $\dot{H} = 4 \cdot 10^8$ и $16 \cdot 10^8$ Гс/с. Усреднение по шести полюсам. а - квадрант I, б - квадрант II, в - квадрант III, г - квадрант IV.

Рис. 3. $\Delta n = f(r)$ в плоскостях $z_0 \pm 8$ см относительно плоскости z_0 . 1 - $z_0 - 8$ см, $H = 160$ Гс, $\dot{H} = 16 \cdot 10^8$ Гс/с, квадрант IV, полюс №33. 2 - $z_0 + 8$ см, $H = 230$ Гс, $\dot{H} = 4 \cdot 10^8$ Гс/с. Усреднение по кольцу магнита.



/ $\dot{H} = 4000$ Гс/с / эти искажения в области $R_0 \pm 20$ см составляют $\pm 0,02$ в плоскости z_0 и $\pm 0,05$ в плоскостях $z_0 \pm 8$ см, а при $\dot{H} = 16000$ Гс/с они доходят до $\pm 0,12$ в области $R_0 \pm 30$ см.

Величина искажений n для одного и того же радиуса несколько различная на разных квадрантах, а на III квадранте они практически отсутствуют.

Таблица 2

Значения $n = f(r)$ в плоскости z_0 при $H = 160$ Гс,
 $(\dot{H}) = 4000 \quad 16000$ Гс/с, усредненные по шести полюсам
на каждом квадранте

\dot{H} Гс/с	4000				16000				
	кв-т	I	II	III	IV	I	II	III	IV
r_c (см)									
+65	0,76	0,75	0,84	0,80	0,735	0,765	0,825	0,79	
+60	0,785	0,77	0,85	0,80	0,73	0,77	0,82	0,77	
+50	0,785	0,78	0,855	0,79	0,72	0,775	0,845	0,755	
+40	0,765	0,77	0,84	0,77	0,68	0,79	0,85	0,725	
+30	0,765	0,735	0,785	0,74	0,70	0,73	0,80	0,725	
+25	0,76	0,71			0,74	0,675			
+20	0,745	0,705	0,75	0,73	0,72	0,595	0,75	0,725	
+15	0,735	0,68			0,67	0,595			
+10	0,73	0,70	0,73	0,73	0,735	0,69	0,73	0,78	
+5	0,755	0,71			0,78	0,74			
R_0	0,705	0,685	0,70	0,71	0,71	0,69	0,695	0,82	
-5	0,685	0,675			0,64	0,64			
-10	0,68	0,67	0,66	0,67	0,68	0,70	0,655	0,705	
-15	0,705	0,68			0,785	0,795			
-20	0,69	0,67	0,635	0,645	0,80	0,79	0,63	0,65	
-25	0,68	0,65			0,74	0,72			
-30	0,65	0,63	0,60	0,60	0,655	0,655	0,585	0,59	
-40	0,61	0,595	0,555	0,56	0,59	0,605	0,54	0,54	
-50	0,60	0,59	0,545	0,55	0,605	0,61	0,56	0,56	
-60	0,60	0,585	0,54	0,54	0,60	0,61	0,575	0,57	
-65	0,60	0,595	0,52	0,53	0,595	0,595	0,55	0,56	

Таким образом, искажения n распределяются как по радиусу, так и по азимуту и могут приводить к потерям пучка при ускорении.

Анализ этих данных позволил заключить, что искажения n на трех квадрантах магнита вызваны токами, протекающими у поверхности верхних и нижних полюсов магнита по всей длине квадрантов. Магнитное поле этих токов противоположно основному магнитному полю H_z в зазоре магнита и распределено по радиусу в ограниченных интервалах с максимальными значениями на радиусах $R_0 \pm 10$ см, $R_0 \pm 20$ см, $R_0 \pm 30$ см, $R_0 \pm 40$ см и $R_0 \pm 50$ см.

Таблица 3

$\Delta n = f(r)$ в плоскостях $z_0 \pm 8$ см относительно плоскости z_0
 на $H = 160$ Гс при $\dot{H} = 16 \cdot 10^3$ Гс/с и $H = 230$ Гс при
 $\dot{H} = 4 \cdot 10^3$ Гс/с

z (см)	Полюс №33, IV квадрант		Усредненные значения по четырем полюсам	
	$H = 160$ Гс, $\dot{H} = 16000$ Гс/с		$H = 230$ Гс, $\dot{H} = 4000$ Гс/с	
	$z_0 \pm 8$ см	$z_0 - 8$ см	$z_0 + 8$ см	$z_0 - 8$ см
+65			+0,01	+0,01
+60		-0,005	0	-0,015
+55			-0,01	-0,03
+50		+0,005	-0,02	-0,005
+45			-0,02	+0,02
+40		+0,005	-0,02	-0,005
+35			-0,03	-0,02
+30	0	+0,01	-0,02	-0,015
+25			+0,01	+0,005
+20	-0,005	-0,015	-0,01	-0,005
+15	-0,13	-0,12	-0,05	-0,04
+10	0	0	-0,01	-0,02
+5	+0,10	+0,11	+0,055	+0,05
R_0	+0,04	+0,03	-0,005	-0,015
-5	-0,06	-0,07	-0,06	-0,055
-10	-0,065	-0,065	-0,03	-0,025
-15	-0,04	-0,04	+0,01	-0,01
-20	-0,015	-0,015	0	0
-25			-0,005	+0,005
-30	-0,015	-0,015	-0,015	-0,02
-35			-0,02	-0,025
-40		-0,005	-0,01	-0,02
-45			-0,01	-0,02
-50		0	-0,03	-0,02
-55			-0,04	+0,015
-60		+0,01	-0,045	+0,005
-65			-0,05	-0,005

Но на этих радиусах у поверхности верхних и нижних полюсов магнита на I, II и IV квадрантах уложены медные шины обмотки резонансного вывода ускоренного пучка размером $\Delta r \times \Delta z =$

$= 24 \times 4 \text{ мм}^2 / 24 \text{ мм}$ - размер шины в радиальном направлении/, а у поверхности нижних полюсов по всему кольцу магнита на радиусах $R_0 \pm 50 \text{ см}$ уложены рельсы из уголка дюрала размерами $30 \text{ мм} \times 30 \text{ мм}$ / на каждом полюсе закреплен отрезок рельса/. На III квадранте медные шины имеют сечение намного меньше / $\Delta r \times \Delta z = 10 \times 5 \text{ мм}^2$ /.

Исходя из вышесказанного, был сделан следующий вывод^{1/5/}:

1/ Вероятной причиной искажения показателя неоднородности магнитного поля являются вихревые токи, развивающиеся в медных шинах обмотки медленного вывода пучка и особенно в шинах сечением $24 \times 4 \text{ мм}^2$;

2/ Благодаря отсутствию на III квадранте магнита шин сечением $24 \times 4 \text{ мм}^2$ в магнитное поле этого квадранта вносятся незначительные искажения от шин сечением $10 \times 5 \text{ мм}^2$;

3/ Учитывая, что шины имеют разное удельное сопротивление из-за различия марок меди и термической обработки, то и вносимые ими искажения отличаются по величине.

Чтобы подтвердить высказанное предположение о причинах искажения μ было предложено удалить на одном из полюсов I или II квадрантов несколько шин сечением $24 \times 4 \text{ мм}^2$, измерив распределение μ по радиусу до и после этой операции^{1/5/}.

Из-за трудоемкости удаления шин на одном из полюсов III квадранта магнита, в котором не обнаружено значительных искажений μ , были уложены дополнительно 3-метровые отрезки медных шин сечением $\Delta r \times \Delta z = 24 \times 4 \text{ мм}^2$ сверху и снизу на радиусах $R_0 \pm 10 \text{ см}$, $R_0 \pm 20 \text{ см}$ и $R_0 - 30 \text{ см}$ и измерено распределение μ по радиусу до и после укладки отрезков шин в плоскости z_0 на поле 160 Гс при $\dot{N} = 4000$ и 16000 Гс/с . После этого было проверено влияние дополнительных шин сечением $\Delta r \times \Delta z = 4 \times 25 \text{ мм}^2$ /отрезки шин сечением $25 \times 4 \text{ мм}^2$ были повернуты на 90° /.

Данные измерений, приведенные в табл. 4 и на рис. 4, показывают, что дополнительно уложенные отрезки медных шин сечением $25 \times 4 \text{ мм}^2$ вызывают искажение в распределении μ по радиусу во всей рабочей области камеры ускорителя / $R_0 \pm 60 \text{ см}$ / с наибольшими значениями на радиусах $R_0 + 7 \text{ см}$, $R_0 + 22 \text{ см}$, $R_0 - 5 \text{ см}$, $R_0 - 12 \text{ см}$, $R_0 - 25 \text{ см}$, $R_0 - 40 \text{ см}$. Величина искажения показателя магнитного поля $\Delta \mu$ доходит до $+0,12$ на радиусе $R_0 + 7 \text{ см}$ и $-0,20$ на радиусе $R_0 + 22 \text{ см}$. При повороте отрезков шин на 90° сечение их становится равным $4 \times 24 \text{ мм}^2$ и вносимое ими искажение на этих радиусах резко уменьшается. Наибольшая его величина равна $-0,05$ на радиусе $R_0 + 22 \text{ см}$.

Данный эксперимент подтвердил наше предположение, что основные искажения в распределении μ по радиусу вносятся вихревыми

Таблица 4

$n=f(r)$ на полюсе №25 III квадранта в плоскости z_0
при $H=160$ Гс и $\dot{H}=4000$ и 16000 Гс/с с дополнительными
шинами и без них

r (см)	Без дополнительных шин		Дополнит. шины уложены на $R_0 \pm 10$ см, $R_0 \pm 20$ см, $R_0 - 30$ см	
	$\dot{H} = 4000$ Гс/с	$\dot{H} = 16000$ Гс/с	$\dot{H} = 16000$ Гс/с	
	сечение шин: $\Delta r \times \Delta z$			
			24 мм x 4 мм	4 мм x 24 мм
+65	0,75	0,75	0,77	0,74
+60	0,77	0,76	0,77	0,75
+55	0,76	0,77	0,78	0,76
+50	0,79	0,79	0,79	0,77
+45	0,80	0,80	0,80	0,80
+40	0,79	0,82	0,76	0,81
+35	0,77	0,79	0,70	0,79
+30	0,75	0,77	0,62	0,72
+25	0,73	0,75	0,56	0,70
+20	0,72	0,73	0,53	0,70
+15	0,71	0,72	0,71	0,71
+10	0,69	0,71	0,81	0,71
+5	0,69	0,71	0,81	0,71
R_0	0,68	0,69	0,73	0,67
-5	0,67	0,67	0,65	0,65
-10	0,66	0,66	0,69	0,65
-15	0,64	0,65	0,70	0,65
-20	0,64	0,64	0,65	0,63
-25	0,63	0,63	0,59	0,62
-30	0,59	0,60	0,61	0,61
-35	0,60	0,58	0,68	0,59
-40	0,57	0,57	0,70	0,57
-45	0,56	0,59	0,67	0,58
-50	0,57	0,59	0,66	0,60
-55	0,56	0,60	0,64	0,61
-60	0,59	0,61	0,63	0,61
-65	0,60	0,61	0,62	0,61

токами, развивающимися в медных шинах обмотки вывода пучка
размером $\Delta r \times \Delta z = 24 \times 4$ мм^{2/8/}.

В апреле 1977 года после замены медных шин сечением $\Delta r \times \Delta z =$
 $= 24 \times 4$ мм² на медные шины сечением 1×10 мм² на II квадранте маг-
нита снова было проведено измерение распределения n по радиусу
в плоскостях z_0 и $z_0 - 8$ см на поле 160 Гс при $\dot{H} = 4000$ и
 16000 Гс/с.

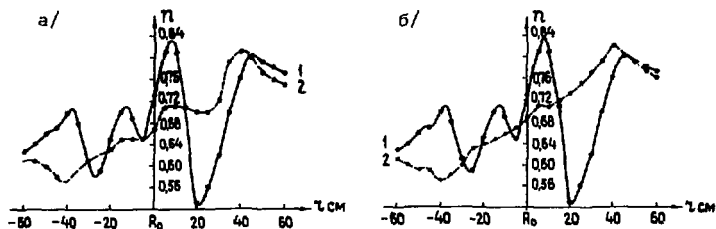


Рис. 4. $n = f(r)$, квадрант III, полюс №25, плоскость z_0 , $\dot{H} = 160$ Гс, $\dot{H} = 16 \cdot 10^3$ Гс/с. а/ 1 - на радиусах $R_0 \pm 10$ см, $R_0 \pm 20$ см, $R_0 \pm 30$ см уложены дополнительные шины сечением $\Delta r \times \Delta z = 24 \times 4$ мм². 2 - дополнительные шины сняты. б/ На радиусах $R_0 \pm 10$ см, $R_0 \pm 20$ см, $R_0 \pm 30$ см уложены дополнительные шины. 1 - сечение шин $\Delta r \times \Delta z = 24 \times 4$ мм², 2 - сечение шин $\Delta r \times \Delta z = 4 \times 24$ мм².

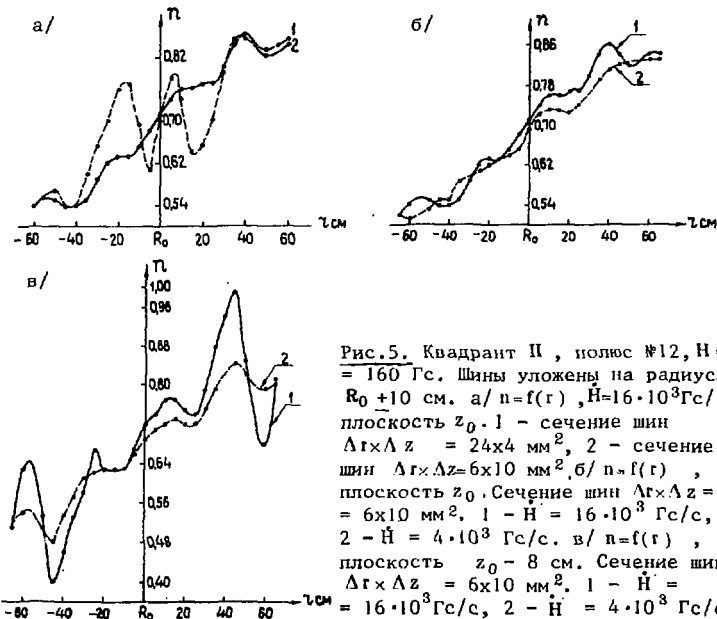


Рис. 5. Квадрант II, полюс №12, $H = 160$ Гс. Шины уложены на радиусах $R_0 \pm 10$ см. а/ $n = f(r)$, $\dot{H} = 16 \cdot 10^3$ Гс/с, плоскость z_0 . 1 - сечение шин $\Delta r \times \Delta z = 24 \times 4$ мм², 2 - сечение шин $\Delta r \times \Delta z = 6 \times 10$ мм², б/ $n = f(r)$, плоскость z_0 . Сечение шин $\Delta r \times \Delta z = 6 \times 10$ мм². 1 - $\dot{H} = 16 \cdot 10^3$ Гс/с, 2 - $\dot{H} = 4 \cdot 10^3$ Гс/с. в/ $n = f(r)$, плоскость $z_0 - 8$ см. Сечение шин $\Delta r \times \Delta z = 6 \times 10$ мм². 1 - $\dot{H} = 16 \cdot 10^3$ Гс/с, 2 - $\dot{H} = 4 \cdot 10^3$ Гс/с.

Таблица 5

$n=f(r)$ на полюсе №12 II квадранта в плоскостях z_0 и $z_0 - 8$ см при $N=160$ Гс и $N=4000$ и 16000 Гс/с после замены шин на радиусе $r=R_0+10$ см сечением 24 мм \times 4 мм на сечение 6 мм \times 10 мм

N Гс/с z (см)	Сечение шин на $R_0 \pm 10$ см = 6 мм \times 10 мм		Данные от Ю.Х.75 г. Сечение шин на $R_0 + 10$ см = 24 мм \times 4 мм		
	z_0		$z_0 - 8$ см		z_0
	4000	16000	4000	16000	16000
+65	0,83	0,84	0,80	0,81	0,85
+60	0,83	0,84	0,79	0,68	0,85
+50	0,825	0,82	0,82	0,85	0,83
+45	0,82	0,84	0,845	0,99	
+40	0,81	0,86	0,82	0,94	0,85
+35	0,79	0,84	0,79	0,88	
+30	0,76	0,80	0,75	0,79	0,79
+25	0,74	0,77	0,72	0,74	0,70
+20	0,725	0,77	0,72	0,75	0,65
+15	0,73	0,76	0,73	0,77	0,64
+10	0,73	0,76	0,72	0,77	0,74
+5	0,725	0,74	0,71	0,74	0,78
R_0	0,69	0,71	0,69	0,72	0,70
-5	0,65	0,68	0,66	0,67	0,61
-10	0,64	0,65	0,63	0,63	0,69
-15	0,63	0,63	0,63	0,63	0,77
-20	0,62	0,63	0,63	0,63	0,76
-25	0,61	0,62	0,62	0,67	0,70
-30	0,60	0,59	0,61	0,58	0,65
-35	0,59	0,55	0,57	0,53	
-40	0,55	0,54	0,53	0,46	0,54
-45	0,55	0,54	0,48	0,40	
-50	0,53	0,55	0,51	0,53	0,57
-60	0,51	0,54	0,54	0,63	0,54
-65	0,52	0,52	0,52	0,51	0,52

Данные измерений, приведенные в табл.5 и на рис.5, показывают, что после замены шин размером 24×4 мм² на шины размером 6×10 мм² искажение показателя магнитного поля уменьшилось с $+0,14$ до $+0,04$. Это позволило сделать следующие выводы^{1/}:

1/ медные шины обмотки резонансного вывода пучка размером $\Delta r \times \Delta z = 6 \times 10$ мм² вносят незначительные искажения в распределение n по радиусу при $N = 16000$ Гс/с, которые нетрудно скорректировать;

2/ искажения показателя неоднородности магнитного поля, вносимые вихревыми токами, развивающимися при $\dot{H} = 16000$ Гс/с в дюралевых рельсах, уложенных у поверхности нижних полюсов магнита на радиусах $R_0 \pm 50$ см, трудно скорректировать, и наилучшим способом устранения этих искажений является замена рельсов из дюрала на рельсы из нержавеющей стали с большим удельным сопротивлением.

В 1978 году, после замены по всему кольцу магнита медных шин сечением 24×4 мм² на медные шины сечением 6×10^2 интенсивность ускоренного пучка заметно возросла и потребовалась незначительная коррекция магнитного поля в начальный период ускорения.

Таким образом, итогом данного исследования является следующее:

1. Установлено наличие недопустимых искажений в магнитном поле синхрофазотрона и измерено распределение их величины в рабочей области камеры ускорителя.

2. Определена причина искажений.

3. Предложен путь устранения этих искажений, реализация которого привела к заметному повышению интенсивности ускоренного пучка при рабочей скорости нарастания магнитного поля $\dot{H}_p = 4000$ Гс/с. Это позволяет после замены рельсов из дюрала в камере ускорителя на рельсы из нержавеющей стали начать работы по ускорению пучка при четырехкратной скорости нарастания магнитного поля $\dot{H}_p = 16000$ Гс/с.

Авторы выражают благодарность доктору технических наук Л.П.Зиновьеву за ценные советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коломенский А.А., Лебедев А.Н. Теория циклических ускорителей. ГИФМЛ, М., 1962.
2. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, 61-9-8460, Дубна, 1974.
3. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, 62-9-8513, Дубна, 1974.
4. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, 62-9-8999, Дубна, 1975.
5. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, 62-9-9581, Дубна, 1975.
6. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, 62-9-10141, Дубна, 1976.
7. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, 63-9-11063, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 сентября 1981 года.