

92-226



**сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна**

P9-92-226

**С.Б.Ворожцов, В.П.Дмитриевский, Г.А.Карамышева,  
И.И.Петренко\*, П.Н.Чирков\***

**ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В СТРУКТУРЕ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ УНК-1  
НА БЕТАТРОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ**

---

\*Институт физики высоких энергий, Протвино

**1992**

## Введение

Сооружаемый в ИФВЭ Ускорительно-накопительный комплекс (УНК) состоит из трех ступеней (УНК-I, II, III), размещаемых в одном туннеле. Из существующего ускорительного комплекса (Бустер, У-70) протоны будут инжектироваться в первую ступень, использующую обычные магниты, и ускоряться там от 70 до 400-600 ГэВ. Вторая и третья СП-ступени рассчитаны на дальнейшее увеличение энергии протонов от 400 до 3000 ГэВ, организацию выведенных и встречных пучков.

УНК явится основной экспериментальной базой физики высоких энергий СНГ и представляет из себя сложнейшую установку в смысле жестких допусков при огромной протяженности отдельных узлов и конструкций.

Проводимые в ОИЯИ расчетные работы по основным динамическим характеристикам УНК посвящены анализу влияния нелинейности в структуре магнитного поля на сдвиг собственных частот и исследованию динамической и линейной апертуры.

Необходимость выполнения этих работ в ОИЯИ связывается со следующими обстоятельствами:

- проведение независимых расчетов по отличным от существующих в ИФВЭ программам позволило сделать численную проверку аналитических результатов, полученных в ОУНК ИФВЭ;
- выполнение работ по отдельным аспектам динамики пучка УНК в сотрудничестве с ИФВЭ привело к получению новых результатов в рассматриваемой области.

В данной работе исследовалось влияние систематических и случайных нелинейностей второго и третьего порядка поля диполей на динамические характеристики I ступени УНК.

Численные расчёты проводились по двум программам: MAD версии 7.2 /1/ на ЭВМ VAX - 8350 и UNK, интегрирующей систему уравнений движения численным методом Робертсона. Для вычисления частот бетатронных колебаний в обеих программах использовалась подпрограмма, вычисляющая частоты по совпадающим точкам, до замыкания траектории на фазовой плоскости /2/ (MAD без этой подпрограммы считает только линейные частоты).

## Влияние систематической квадратической нелинейности поля диполей на бетатронные колебания

При исследовании влияния квадратической нелинейности поля на динамические характеристики I ступени УНК, использовалась структура, включающая согласованные промежутки с обводными каналами /3/.

Частоты бетатронных колебаний около равновесной орбиты в данной структуре в идеальном поле (поле без нелинейностей) составили:

$$Q_x = 56.701, \quad Q_z = 56.719.$$

Естественная линейная хроматичность этой структуры равна:

$$\xi_x = -77.183, \quad \xi_z = -75.118.$$

Сила секступольных корректоров подбиралась для обеспечения малой положительной хроматичности. При компенсации естественной хроматичности ускорителя в расчётах использовались две пары сил корректоров:

$$\left. \begin{aligned} K_{2F} &= -4.35 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-3} \\ K_{2D} &= 7.93 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-3} \end{aligned} \right\} \text{соответствуют } \xi_x = \xi_z = 5,$$

$$\left. \begin{aligned} K_{2F} &= -4.24 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-3} \\ K_{2D} &= 7.73 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-3} \end{aligned} \right\} \text{соответствуют } \xi_x = \xi_z = 3,$$

где  $K_2$  - секступольный коэффициент, равный  $1/(N \cdot \rho) \cdot (\partial^2 H_z / \partial x^2)$ ,  $H$  - идеальное поле диполей,  $\rho$  - радиус кривизны. Длина корректора принималась равной 0.57 м.

Была произведена оценка сдвига частот бетатронных колебаний, вызванного только системой коррекции хроматичности для  $I_{\max} = 0.65$  ( $I_{\max} = \max(I_x + I_z)$  и  $I_{x,z}$  - отношение квадрата амплитуды бетатронных колебаний в точке нормальной структуры с максимальной  $\beta$ -функцией к квадрату радиуса нормализации  $r = 35 \text{ мм}$  /4/). Для сил корректоров, обеспечивающих  $\xi_x = \xi_z = 3$ , сдвиг частот не превышает 0.004, а для  $\xi_x = \xi_z = 5$  не превышает 0.007. Исходя из результатов работы /4/, величина сдвига для  $I = 0.65$  и  $\xi_x = \xi_z = 3$  составит 0.011.

На рис.1 приведена зависимость сдвига частот, вызываемого только системой коррекции хроматичности (обеспечивающей  $\xi_x = \xi_z = 5$ ), от амплитуд. Для  $I = 0.33$  сдвиг не превышает 0.004. Проведено исследование влияния постоянной квадратической нелинейности магнитного поля поворотных магнитов на бетатронное движение частиц с равновесным и неравновесным импульсом. Нелинейная добавка к полю вводилась только в диполи, пренебрегая влиянием нелинейности поля квадруполей, так как общая длина диполей в магнитной структуре ускорителя существенно больше общей длины квадруполей. Под квадратической нелинейностью  $\Delta H_2/H$  подразумевается относительная нелинейная добавка к полю на расстоянии радиуса нормализации  $r$ . При равновесном импульсе влияние квадратичной нелинейности сводится к сдвигу бетатронных частот, зависящему от амплитуд колебаний. На рисунке 2 приведена зависимость сдвига частот бетатронных колебаний около равновесной орбиты от амплитуд для  $\Delta H_2/H = -5.2 \cdot 10^{-4}$ , равной систематическому значению квадратической нелинейности, вычисленному по результатам магнитных измерений первых 344 диполей /5/. Видно, что сдвиг бетатронных частот для  $A_x = A_z = 1.4 \text{ см}$  не превышает 0.005, что практически совпадает с аналитической оценкой, приведенной в работе /5/.

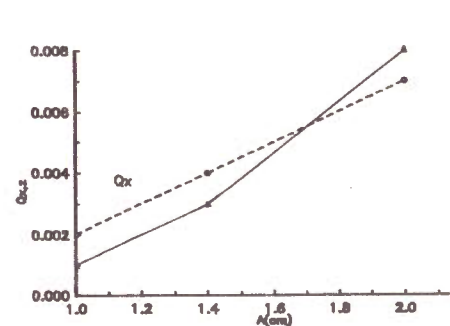


Рис.1 Зависимость сдвига частот, создаваемого системой коррекции хроматичности, от амплитуд:

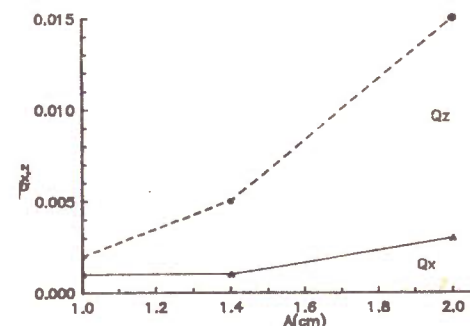


Рис.2 Зависимость сдвига частот бетатронных колебаний частицы с равновесным импульсом от амплитуд для  $\Delta H_2/H = -5.2 \cdot 10^{-4}$ .

При действии квадратической нелинейности на частицы с неравновесным импульсом к малому сдвигу частот, зависящему от амплитуд, добавляется сдвиг, пропорциональный  $\Delta P/P$ , дающий добавку к естественной хроматичности ускорителя.

На рисунке 3 представлены результаты расчётов для следующих начальных значений:

1) двух относительных отклонений импульса от равновесного значения:

$\Delta P/P = 2 \cdot 10^{-3}$  отмечены цифрой I,

$\Delta P/P = -2 \cdot 10^{-3}$  отмечены цифрой II;

2) двух сил секступольных корректоров, обеспечивающих линейную хроматичность:

$\xi_x = \xi_z = 5$  соответствуют точки, отмеченные X

$\xi_x = \xi_z = 3$  соответствуют точки, отмеченные O

3) амплитуд бетатронных колебаний:  $A_x = A_z = 2$  см, что соответствует значению  $I_{\max} = 0.65$ ;

4) величин квадратической нелинейности поля диполей:

$\Delta H_2/H = 2.0 \cdot 10^{-4}$  соответствует цифре 1,

$\Delta H_2/H = 1.0 \cdot 10^{-4}$  соответствует цифре 2,

$\Delta H_2/H = 0.0$  соответствует цифре 3,

$\Delta H_2/H = -1.0 \cdot 10^{-4}$  соответствует цифре 4,

$\Delta H_2/H = -2.0 \cdot 10^{-4}$  соответствует цифре 5.

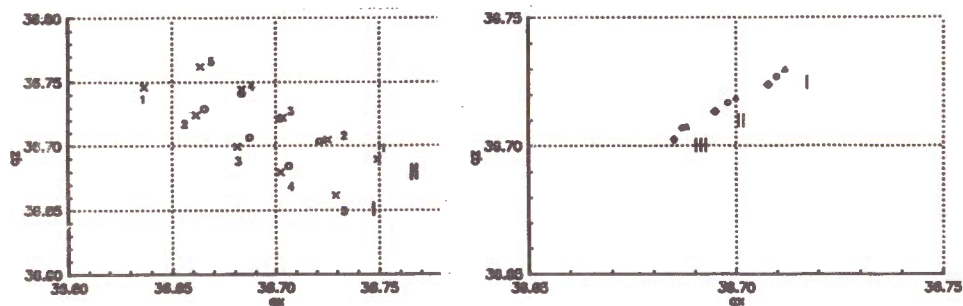


Рис. 3 Зависимость частот бетатронных колебаний от величины квадратической нелинейности поля (без коррекции).

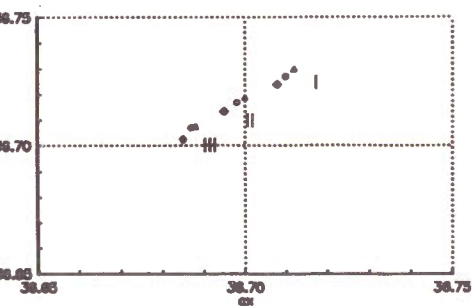


Рис. 4 Частоты бетатронных колебаний при наличии систематической квадратической нелинейности поля и коррекции.

Была произведена оценка вклада квадратичной нелинейности в хроматичность ускорителя. Для  $\Delta H_2/H = -5.2 \cdot 10^{-4}$  и  $\Delta P/P = 0.002$

изменения частот:  $\Delta Q_x = -0.114$  и  $\Delta Q_z = 0.099$ , следовательно  $\Delta \xi_x = -57$ ,  $\Delta \xi_z = 49.5$ . Оценки по формулам (9) работы /4/ дают для  $\Delta H_2/H = -5.2 \cdot 10^{-4}$  значения  $\Delta \xi_x = -57.72$ ,  $\Delta \xi_z = 50.44$ .

Далее влияние систематического значения квадратической нелинейности  $\Delta H_2/H = -5.2 \cdot 10^{-4}$  было скомпенсировано системой секступольных корректоров. Сила корректоров равна

$$\left. \begin{aligned} K_{2F} &= -6.35 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-3} \\ K_{2D} &= 5.13 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-3} \end{aligned} \right\} \text{соответствуют } \xi_x = \xi_z = 5$$

Результаты коррекции представлены на рис. 4 в виде точек на фазовой плоскости для различных амплитуд бетатронных колебаний и отклонений импульса от равновесного значения:

$\Delta P/P = -2 \cdot 10^{-3}$  отмечены цифрой I,

$\Delta P/P = 0$  отмечены цифрой II,

$\Delta P/P = 2 \cdot 10^{-3}$  отмечены цифрой III,

◇ соответствует  $A_x = A_z = 2$  см,

○ соответствует  $A_x = A_z = 1.4$  см,

△ соответствует  $A_x = A_z = 1$  см.

Проведенные расчёты подтверждают возможность компенсации существующей системой секступольной коррекции полной хроматичности ускорителя. Разброс частот, вызванный квадратической нелинейностью и системой коррекции хроматичности, согласно произведённым оценкам, не превысит  $-0.009$ , что меньше установленного допуска.

#### Влияние систематической кубической нелинейности поля диполей на бетатронные колебания

Программа MAD не позволяет учитывать кубическую нелинейность в диполях, поэтому в середину каждого диполя был добавлен короткий октуполь с силой, равной интегральной величине кубической нелинейности диполя. Расчет частот по программе MAD при одном наборе начальных значений занимает порядка 6 часов на ЭВМ VAX-8350, поэтому были посчитаны только несколько точек на фазовой плоскости для контроля программы UNK (на рисунке 5 точки, посчитанные по программе MAD, выделены звездой). Учитывая неточность введения кубической нелинейности в MAD, а также то обстоятельство, что при расчёте по

программе MAD использовалась структура с обводными каналами в согласованных промежутках /3/, а для программы UNK - структура без обводных каналов /7/, совпадение результатов с точностью до 0.004 можно признать хорошим (рис 5).

Так же как и при расчёте влияния квадратической нелинейности, систематическая кубическая нелинейность вводилась только в диполи, без учёта нелинейности поля квадруполей. Для оценок брались значения нелинейной добавки к полю на расстоянии  $g$ , равные величине проектного допуска, то есть  $-10^{-4}$  и  $10^{-4}$ . Расчёты проводились при отсутствии квадратической нелинейности и при наличии корректоров хроматичности, изменяющих линейную хроматичность ускорителя до  $\xi_x = \xi_z = 5$ . Рассматривались равновесный импульс  $\Delta P/P = 0$  (на рисунках 5,6 соответствует цифре II) и два отклонения от равновесного значения:

$\Delta P/P = 0.002$  соответствует цифре I,

$\Delta P/P = -0.002$  соответствует цифре III.

Амплитуды колебаний соответствовали значению  $I_{\max} = 0.33$  и равнялись

1.  $A_x = 2\text{см}$ ,  $A_z = 0.1\text{см}$  отмечены цифрой 1;
2.  $A_x = 1.41\text{см}$ ,  $A_z = 1.41\text{см}$  отмечены цифрой 2;
3.  $A_x = 0.4\text{см}$ ,  $A_z = 1.95\text{см}$  отмечены цифрой 3.

Расчёты сдвигов частот, вызванных кубической нелинейностью, произведены с достаточно большой погрешностью, так как действие разностного резонанса  $2Q_x - 2Q_z = 0$ , вызванного этой и секступольной нелинейностями, приводит к сильной модуляции амплитуд, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на частоты бетатронных колебаний. За 10 - 15 оборотов, нужных для определения частоты с точностью до 0.001, частоты (для частиц с  $\delta = Q_z - Q_x$  порядка 0.01) меняются на 0.003 - 0.007, что и определяет погрешность вычислений. Результаты расчётов представлены на рис. 5, из которого очевидна необходимость коррекции кубической нелинейности: разброс частот превышает допуск на разброс, обусловленный кубической нелинейностью, равный 0.01.

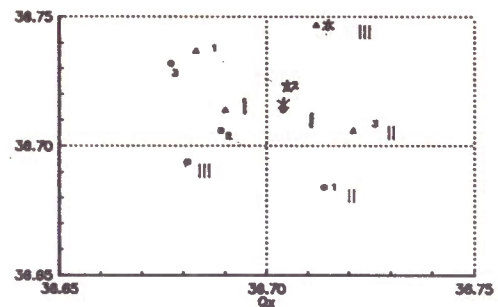


Рис.5 Зависимость частот бетатронных колебаний от кубической нелинейности поля диполей для различных  $\Delta P/P, A_{x,z}$  (без коррекции).

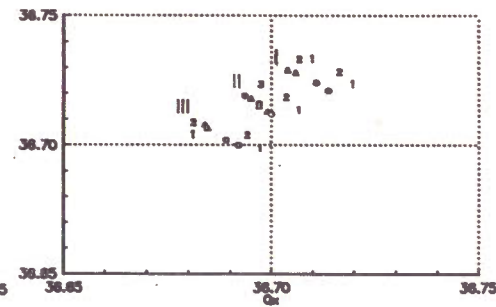


Рис.6 Зависимость частот бетатронных колебаний от кубической нелинейности поля диполей при наличии октупольных корректоров.

Система коррекции, проектируемая для I ступени УНК, подробно описанная в /6/, представляет собой группу октупольных корректоров, расположенных в СПП2,3,5,6 и примыкающих к ним участках подавления/восстановления дисперсии (рис.7).

Сила октупольных линз характеризуется величиной

$$C_j = \left( \frac{\Delta H_3}{H} s \right)_j,$$

где  $\Delta H_3$  - напряженность поля корректора на расстоянии  $g$  от оси,  $s$  - его длина в метрах,  $H$  - поле диполей.

Расчеты проводились для сил корректоров  $C_1, C_2, C_3$ , рекомендованных авторами /6/:

$$\begin{vmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} 257 \\ 251 \\ 675 \end{vmatrix} * (\Delta H_3/H)_{\text{дип}} \quad (1)$$

$(\Delta H_3/H)_{\text{дип}}$  - систематическая кубическая нелинейность диполей (равна проектному допуску, т.е.  $\pm 10^{-4}$ ).

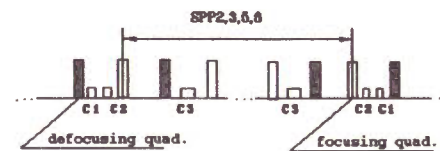


Рис.7 Схема системы октупольной коррекции.

Результаты расчетов коррекции кубической нелинейности октупольной системой показаны на рисунке 6, где на фазовой плоскости отмечены частоты бетатронных колебаний для различных амплитуд, отклонений импульса от равновесного значения, двух величин кубической нелинейности, при рассчитанных в /6/ силах октупольных корректоров. Видно, что сдвиг частот для частиц с равновесным импульсом, вызванный кубической нелинейностью поля диполей, компенсируется с точностью до 0.004, что не превышает допуска. Для частиц с неравновесным импульсом остаётся нескомпенсированный разброс частот, не превышающий, однако, 0.009, что также не превышает установленного для кубической нелинейности допуска.

Остаётся оценить силу резонанса связи  $2Q_x - 2Q_z = 0$ . Для этой цели были произведены расчёты при следующих начальных значениях:

кубическая нелинейность диполей -  $\pm 10^{-4}$ ,

силы октупольных корректоров равны значениям (1), импульс равновесный,

амплитуды колебаний  $A_z = A_x = 1.4$  см,

силы секступольных корректоров и величина квадратической нелинейности в диполях принимались равными нулю, так что резонанс определяется кубической нелинейностью и системой октупольной коррекции.

Рисунок 8 показывает изменение амплитуд колебаний для  $\Delta H_3/H = -10^{-4}$ . По оси абсцисс - номер оборота. Расстройка  $\delta = 0.02$ . Видно, что модуляция амплитуды составляет  $\Delta A/A = 2.8\%$ . Авторами /6/ дана следующая оценка силы резонанса  $2Q_x - 2Q_z = 0$ , вызванного систематической кубической нелинейностью диполей ( $\gamma$ ), и ослабленного системой октупольной коррекции ( $\Delta\gamma$ ):

$$\gamma_{\text{кор}} = \gamma + \Delta\gamma < 1.65 \times 10^{-3}.$$

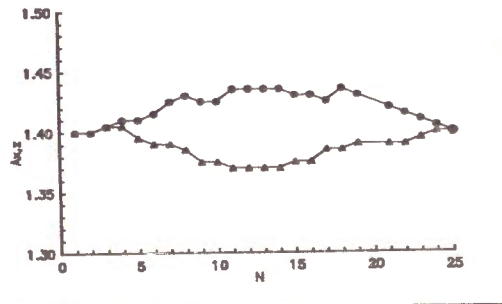


Рис. 8 Зависимость амплитуд колебаний от номера оборота.

Напомним,  $\gamma$  - коэффициент, входящий в усреднённый гамильтониан, равный /6/:

$$\gamma = \frac{3R_0}{8\rho r \beta_{\text{max}}} \left\langle \frac{\Delta H_3}{H} (-\beta_x \beta_z / 2 * e^{2i(x_z - x_x)}) \right\rangle$$

$x_{x,z}$  - периодическая часть фазы функции Флоке,  $R_0$  - средний радиус орбиты.

Для наших результатов также можно оценить  $\gamma_{\text{кор}}$ , воспользовавшись формулой (9) работы /6/:

$$\gamma = \Delta A/A * \delta / I_{\text{max}} \approx 1.7 \times 10^{-3},$$

то есть численные расчёты по программе UNK соответствуют оценкам, приведенным в работе /6/.

Таким образом, проектируемая система октупольной коррекции полностью справляется с задачей уменьшения разброса частот бетатронных колебаний, вызванного кубической нелинейностью поля диполей, и ослабления действия разностного резонанса  $2Q_z - 2Q_x = 0$ , определяемого этой нелинейностью.

#### Изучение линейной и динамической апертуры

При исследовании линейной и динамической апертуры первой ступени УНК использовалась структура ускорителя описанная в/3/. Учитывались квадратическая и кубическая нелинейности в диполях, значения взяты из работы /5/:

$$\overline{\Delta H_2/H_0} = -5.2 \times 10^{-4} \quad \langle \Delta H_2/H_0 \rangle = 0.8 \times 10^{-4},$$

$$\overline{\Delta H_3/H_0} = 0.0 \quad \langle \Delta H_3/H_0 \rangle = 0.2 \times 10^{-4},$$

где  $\overline{\Delta H_n/H_0}$  - систематические значения нелинейностей, а  $\langle \Delta H_n/H_0 \rangle$  - среднеквадратические величины разбросов.

Силы секступольных корректоров подбирались таким образом, чтобы скомпенсировать систематическую квадратическую нелинейность и обеспечить хроматичность ускорителя  $\xi_x = \xi_z = 5$ . Счёт производился по программе UNK. Для контроля по программе MAD было подсчитано значение динамической апертуры при наличии систематической квадратической нелинейности корректоров хроматичности. Однако счёт по программе MAD ограничен по времени: 100 оборотов заняло 3 часа. Значением же динамической апертуры,

определяемой из расчётов по программе UNK, считалась максимальной начальной амплитуда круглого пучка, при которой пучок совершал 500 оборотов в ускорителе. Предельная физическая апертура вокруг пучка не учитывалась. Понятие линейной апертуры определялось по величине относительного среднеквадратичного отклонения инварианта Куранта-Снайдера

$$S = \frac{\sqrt{1/(n-1) * \sum_{i=1}^n (J_i - \langle J \rangle)^2}}{\langle J \rangle}, \quad \text{где } J = J_x, J_z - \text{инвариант}$$

Куранта-Снайдера, n - номер оборота. В каждой плоскости предел отклонения был выбран 10%. Вклад неравновесного импульса оценивался без учёта синхротронных колебаний. Расчёты производились для двух отклонений импульса от равновесного значения:  $\Delta P/P = 0.002$ ,  $\Delta P/P = -0.002$ .

Результаты расчётов показали, что без учёта ошибок диполей, при наличии только корректоров хроматичности, динамическая апертура ускорителя весьма велика:

$A_{\text{дин}} = 32\text{см}$ , что значительно больше радиуса вакуумной камеры 3.5см.

Систематическая квадратическая нелинейность при наличии секступольной коррекции немного уменьшает значение динамической апертуры:  $A_{\text{дин}} = 26\text{см}$ .

Однако при учёте не только систематического, но и случайного значения квадратической нелинейности величина динамической апертуры падает уже до  $A_{\text{дин}} = 18\text{см}$ .

И, наконец, учёт полного значения квадратической и кубической нелинейностей снижает динамическую апертуру до

$A_{\text{дин}} = 13\text{см}$  (систематические значения скомпенсированы системой коррекции), что также существенно больше радиуса вакуумной камеры. Учёт неравновесного импульса приводит к следующим величинам динамической апертуры:

при  $\Delta P/P = -0.02$   $A_{\text{дин}} = 14\text{см}$ , при  $\Delta P/P = 0.02$   $A_{\text{дин}} = 12\text{см}$ .

Однако при работе ускорителя важно, чтобы движение частиц было легко управляемым, что имеет место при движении в практически линейных полях, когда влияние нелинейностей поля не влияет существенно на характер

движения частиц. Поэтому важно определение линейной апертуры. Расчёты показали, что для

$$\begin{aligned} \Delta P/P = 0.002 & \quad A_{\text{лин}} = 1.5\text{см}, \\ \Delta P/P = 0.0 & \quad A_{\text{лин}} = 1.7\text{см}, \\ \Delta P/P = -0.002 & \quad A_{\text{лин}} = 1.6\text{см}, \end{aligned}$$

что меньше радиуса камеры, но несколько больше планируемых амплитуд пучка. Для контроля правильности выбора критерия определения линейной апертуры, для равновесного импульса и амплитуд, соответствующих радиусу планируемого пучка, был произведён расчёт 800 оборотов в ускорителе, а затем, используя "стробоскопический метод"/8/, построен эллипс, неискажённая форма которого указывает на линейность движения частиц с заданными амплитудами (смотрите рисунок 9).

Напомним, что суть метода заключается в том, что из всех координат частицы, полученных в одной точке ускорителя с интервалом в один оборот, выбираются те, которые соответствуют одному и тому же значению вертикального фазового угла, то есть делается как бы сечение в точке  $\phi_z = \text{const}$ . По степени и характеру искажения полученного таким образом эллипса можно судить о влиянии нелинейности.

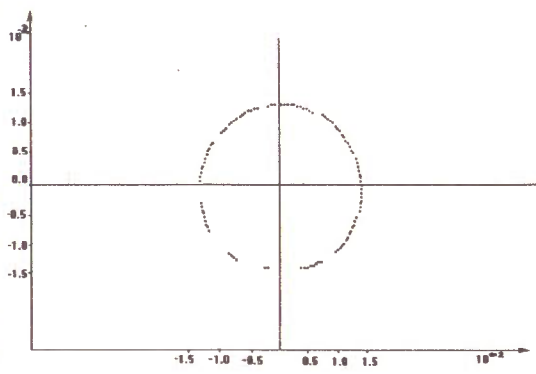


Рис.9 Использование "стробоскопического метода".

Итак, расчёты показывают, что динамическая и линейная апертуры ускорителя удовлетворительны, однако следует заметить, что в работе не учитывалось искажение равновесной орбиты, что по аналогии с /9/ может снизить значение линейной и динамической апертуры на максимальную величину нескорректированного отклонения орбиты - 4мм, а также не учитывалось влияние нелинейностей более высоких порядков.

### Заключение

численные расчеты, представленные в данной работе, подтверждают результаты аналитических вычислений, выполненных авторами работ /4/, /6/, на базе которых проектировались системы секступольной и октупольной коррекций. В результате использования программы UNK, позволившей на персональном компьютере типа IBM PC/AT-486 имитировать 500 оборотов частиц в ускорителе, были также получены значения динамической и линейной апертуры для рабочей точки ускорителя.

Авторы выражают свою благодарность В.А.Саенко за сотрудничество при проведении расчетов.

### Литература

1. Iselin F.C., The MAD Program, User's Reference Manual, CERN/LEP-88-38 (1988)
2. Дмитриевский В.П. и др. Динамические характеристики протонного синхротрона на энергию 70 ГэВ. Препринт ИФВЭ СКУ 68-47, Серпухов, 1968.
3. Балбеков В.И., Носочков Ю.М. Согласованные прямолинейные промежутки для встречных пучков УНК. Труды 11-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1989, т.1, с.397
4. Балбеков В.И., Чирков П.Н. Влияние секступольной и декапольной нелинейностей на бетатронное движение частиц в УНК. Препринт ИФВЭ 82-133, Серпухов, 1982.
5. Носочков Ю.М. и др. Характеристики магнитного поля диполей и квадрупольной I ступени УНК. Препринт ИФВЭ91-65, Протвино, 1991.
6. Балбеков В.И., Чирков П.Н. Система октупольной коррекции УНК. Препринт ИФВЭ 84-167, Серпухов, 1984
7. Балбеков В.И. и др. Структура магнитной системы УНК. Труды 8 Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1983, т.1, с.187.
8. Willeke F. Analysis of particle tracking data. CAS, CERN 90-04.
9. Galluccio F. et al. Studies on Linear and Dynamic Apertures in the LHC., Nice, 1991, p.1435.

Рукопись поступила в издательский отдел

28 мая 1992 года.

Ворожцов С.Б. и др.

P9-92-226

Влияние нелинейностей в структуре магнитного поля УНК-1 на бетатронные колебания

Приведены результаты численных исследований влияния квадратической и кубической нелинейностей магнитного поля диполей первой ступени УНК на бетатронные колебания. Произведена оценка линейной и динамической апертуры ускорителя, исходя из численных расчетов для рабочей точки ускорителя.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

### Перевод авторов

Vorozhtsov S.B. et al.

P9-92-226

Influence of Nonlinearities in the UNK-1 Magnetic Field Structure on Betatron Oscillations

The results of numerical investigations of the effect of the sextupole and octupole nonlinearities of the magnetic field on the betatron motion are presented. The particle-tracking simulations were carried out for the investigation of linear and dynamic apertures of the working point of the accelerator.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1992