Институт Теоретической и Экспериментальной Физики

2 – 03

ITEP-2-03

П. Р. Зенкевич, А. Е. Большаков,
Н. Р. Мустафин.

FERMILAB
FEB 6 2004
LIBRARY

Динамика частиц в модифицированном накопительном кольце ИТЭФ.

Москва 2003

УДК 621.384.6 М - 16

ДИНАМИКА ЧАСТИЦ В МОДИФИЦИРОВАННОМ НАКОПИТЕЛЬНОМ КОЛЬЦЕ ИТЭФ: Препринт ИТЭФ 2 – 03/
П. Р. Зенкевич, А. Е. Большаков, Н. Р. Мустафин – М., 2003 - 18с.

Предложены варианты модернизации накопительного кольца комплекса ТВН (Терраваттный Накопитель), позволяющей разместить систему электронного охлаждения пучка (СЭО). Разработана схема вставки с улучшенным согласованием и проведено детальное исследование динамики частиц в существующей магнитной системе и в двух модифицированных структурах (с одной согласованной вставкой и с 4-мя вставками), сравнение их характеристик и выбор оптимальной структуры. Включение СЭО с удлиненным промежутком и кольцевым электронным пучком позволит резко повысить фазовую плотность накопленного пучка и, что особенно важно, подавить потери частиц и связанную с ними вакуумную неустойчивость. Появляются также новые экспериментальные возможности установки (например, при исследовании резонансных реакций).

BEAM DYNAMICS IN MODYFIED ITEP STORAGE RING.
P. R. Zenkevich, A. E. Bolshakov, N. R. Mustafin.

Variants of modernization of a storage ring of TWAC complex are offered , allowing to place system of electronic cooling of beam (ECS). The scheme of an insertion with the improved matching is developed and detailed research of dynamics of particles in existing magnetic system and in two modified structures (with one coordinated insert and with 4-мя inserts), comparison of their characteristics and a choice of optimum structure is carried out. Insertion of ECS with the lengthened space and a ring electronic beam will allow to increase sharply phase density of the storaged beam and, that is especially important, to suppress losses of particles and the vacuum instability connected to them. There are also new experimental opportunities of TWAC complex (for example, at research of resonant reactions).

Рис. – 17, список лит. – 10 наим.

© Институт теоретической и экспериментальной физики, 2003

Введение

Применение системы электронного охлаждения (СЭО) в Терраваттном Накопителе (ТВН) позволяет значительно уменьшить потери частиц на стенках вакуумной камеры и повысить фазовую плотность накопленного пучка [1]. Такое повышение дает возможность уменьшить размер пятна на плазменной мишени и длительность сгустка и, тем самым, повысить удельное выделение энергии и удельную мощность выведенного пучка.

Предварительный анализ проекта системы электронного охлаждения [2] показал, что сравнительно небольшая длина свободного промежутка в накопительном кольце ИТЭФ (2,35 м) ограничивает эффективную длину системы электронного охлаждения до 55-60 см. Короткая длина СЭО снижает эффективность этой системы и ограничивает возможности ее применения. В работах [3, 4] было предложено для удлинения свободного промежутка до 4 м (длина СЭО, соответственно, увеличивается до 1,5 м) использовать структуру с четырьмя периодическими вставками. Эффективность СЭО может быть существенно повышена при применении кольцевого электронного пучка, предложенного в ИЯФ СО РАН им. Будкера [5].

Такая структура, однако, требует довольно большого числа элементов и заметной переделки вакуумной камеры. В данной работе рассмотрена альтернативная схема модификации кольца с одной согласованной вставкой. Вариант согласованной вставки с заменой четырех магнитов был рассмотрен в работе [6]. В этом варианте, включающем всего 4 квадрупольные линзы, однако, не удается достаточно хорошо согласовать дисперсионную функцию.

Цель данной работы: 1) разработка схемы вставки с улучшенным согласованием; 2) детальное исследование динамики частиц в существующей магнитной системе и в двух модифицированных структурах (с одной согласованной вставкой и с четырьмя вставками), сравнение их характеристик и выбор оптимальной структуры.

1. Схемы модификации магнитной структуры кольца

В настоящее время магнитная структура кольца включает два типа магнитных блоков [7]: 1) С-блоки (стандартные фабричные С-образные блоки с совмещенными функциями, имеющие помещенный снаружи нейтральный полюс); 2) Е-блоки (в этих блоках камера накопителя и нейтральный полюс находятся внутри магнита). Магнитная структура состоит из 8 периодов; каждый период включает 11 С-блоков и 1 Е-блок.

Мы рассмотрели два варианта модификации структуры, позволяющие увеличить длину прямолинейного промежутка до 3,5-4 м (такая длина является типичной для уже существующих колец с системами электронного охлаждения):

1) схема с одной согласованной вставкой.
2) схема линейной структуры с 4 несогласованными одинаковыми вставками.

Параметры согласованной вставки, включающей промежуток с длиной около 4 м, должны выбираться так, чтобы выполнить следующие условия:

- замкнуть орбиту;
- согласовать параметры Твисса для горизонтальной и вертикальной степеней свободы ($\beta_x, \alpha_x, \beta_y, \alpha_y$);
- согласовать дисперсионную функцию D_x, D'_x.

Расчет каждого из вариантов структуры включал два этапа: 1) подбор длин свободных промежутков и углов поворота магнитов для замыкания орбиты с помощью программы AGILE [9]; 2) согласование параметров ($\beta_x, \alpha_x, \beta_y, \alpha_y, D_x, D'_x$) путем подбора сил квадрупольных линз (этот расчет выполнялся с помощью программы MAD [8]). При расчете согласования накладывались дополнительные ограничения на значения бетатронных функций внутри вставки (β_x<15, β_y<20). Эти ограничения необходимы для разумного выбора диаметра линз, не сокращающего аксептанс камеры. Заметим, что для подбора 6 параметров система должна включать не менее 6 квадрупольных линз; для более гибкой работы вставки (например, для регулировки бетатронных частот) желательно наличие дополнительных свободных параметров.

Поэтому мы выбрали вариант согласованной вставки с заменой шести магнитов. Вставка находится между 10-м и 5-м магнитом основной структуры. Участок кольца, содержащий 6 С-образных магнитов (с номерами 11,12,1,2,3, 4) заменен новой структурой, содержащей 4 одинаковых Ш-образных дипольных магнита без градиента, 2 аналогичных укороченных магнита и 6 квадрупольных линз. Схема вставки изображена на рис.1.

Найденное согласование по бета - функции близко к идеальному. Дисперсионная функция согласована не совсем точно, что приводит к дополнительным ее колебаниям с амплитудой около 0,2 м. Рабочая точка в новой структуре близка к рабочей точке старого кольца; аксептанс кольца при номинальных значениях параметров практически не изменяется. Длина промежутка в новой структуре составляет 3,82 м.

Во второй схеме второй промежуток каждого второго периода удлиняется до 4 м путем замены двух С-образных магнитов, расположенных в этом промежутке, на два магнита с нулевым градиентом и две квадрупольные линзы. При этом модифицированное кольцо имеет 4 суперпериода. Рабочая точка в новой структуре также близка к рабочей точке старого кольца. Однако при суперпериодичности равной 4 внутри клетки возникают структурные резонансы на квадратичной нелинейности $pQ_x + (3-p)Q_y = 28$. Основной вклад в силу

резонансов третьего порядка в кольце дают Е-блоки. Схема суперпериода изображена на рис.2.

Данные о требуемом оборудовании приведены в табл.1. Максимальная индукция магнитного поля в линзах и магнитах составляет 1,8 Тл. Заметим, что данные об апертуре и длине элементов являются предварительными и должны быть уточнены при конструировании этих элементов.

Таблица 1. Дополнительное оборудование для различных схем модификации структуры накопительного кольца

Наименование элемента	Количество	Длина элемента, *м*	Апертура $x \cdot y, мм^2$ или $r_0, мм$
Дипольный магнит (1)	4	1,187	150·100
Дипольный магнит (1)	2	0,475	150·100
Квадрупольная линза (1)	6	0,7	60
Дипольный магнит (2)	8	1,043	210·105
Квадрупольная линза (2)	8	0,925	60

2. Основные характеристики структур в номинальном режиме

На средних магнитных полях, при которых и происходит накопление, С-блоки имеют сравнительно небольшую нелинейность, данные о которой отсутствуют. Значения магнитного поля в С-блоках рассчитывались путем решения двумерного уравнения Лапласа для магнитостатического потенциала с использованием программы "POISSON" [7]. Зависимость вертикального магнитного поля в медианной плоскости $\frac{\Delta B_y}{B_0}$ от горизонтальной координаты x аппроксимировалось рядом Тейлора

$$\frac{B_y}{(B\rho)} = \frac{B_0}{(B\rho)} + \sum_{n=1}^{n_0} \frac{C_n}{n!} x^n . \qquad (1)$$

Коэффициент n_0 был выбран равным 6 (при этом отклонение от точного расчета не превышает 0,1%).

Напротив, Е-блоки, изготовленные в мастерских ИТЭФ, имеют заметные флуктуации, которые были измерены (результаты измерений приведены на

рис.2). Расчетные значения коэффициентов разложения для Е-блоков находились с помощью метода наименьших квадратов. Значения всех коэффициентов C_n для С-блоков, а также для каждого из Е-блоков приведены в табл. 2.

Основные параметры накопительного кольца для существующей структуры и двух модифицированных структур приведены в табл. 3. При расчете предполагалось, что все С-блоки имеют одинаковую нелинейность; параметры Е-блоков выбирались в соответствии с табл.2.

Таблица 2. Значения коэффициентов нелинейности магнитного поля блоков накопительного кольца

	$C_1\,[m^{-2}]$	$C_2\,[m^{-3}]$	$C_3\,[m^{-2}]$	$C_4\,(m^{-5}10^4)$	$C_5\,(m^{-6}10^6)$	$C_6\,(m^{-7}10^8)$
С - блок	0.3241	-0.0755	-9.389	-0.0845	-0.0721	-0.0761
Е 108	0.3133	1.1100	81.95	-1.836	-1.108	1.208
Е 208	0.3084	1.1640	88.21	-1.666	-1.138	1.033
Е 308	0.3173	0.7134	-9.50	-1.328	0.1061	0.1758
Е 408	0.3222	-0.2931	-29.52	0.1204	0.1715	-1.164
Е 508	0.3198	0.5234	-24.65	-0.5186	0.5505	-1.208
Е 608	0.3099	0.7038	136.1	-1.803	-2.343	2.417
Е 708	0.3153	0.9153	68.80	-1.986	-0.9779	1.340
Е 808	0.3106	0.8897	105.7	-1.879	-1.405	1.472

Горизонтальный и вертикальный аксептанс рассчитывались по формулам:

$$\begin{cases} E_x(I,\frac{\Delta p}{p}) = \min \dfrac{[A_x(s) - A_x^{forc} - D_x(s,I)\frac{\Delta p}{p}]^2}{\beta_x(s,I)} \\ E_y(I) = \min \dfrac{[A_y(s) - A_y^{forc}]^2}{\beta_y(s,I)} \end{cases} \qquad (2)$$

Здесь $E_x(I,\frac{\Delta p}{p}), E_y(I)$ - соответственно, горизонтальный и вертикальный аксептанс, I - ток пучка; $\frac{\Delta p}{p}$ - отклонение по импульсу; $A_{x,y}(s)$ - размеры вакуумной камеры; $A_{x,y}^{orb}$-амплитуды колебаний замкнутой орбиты. При расчете были выбраны следующие значения параметров: в основной структуре A_x=0,055 м, A_y=0,040 м; во вставке $A_x = A_y$= 0.1 м (с тем, чтобы не ограничивать аксептанса), $A_x^{orb} = A_y^{orb}$=0.01 м. Таким образом, при размере камеры 55×40 мм максимальная горизонтальная апертура кольца равна 45 мм, а максимальная вертикальная апертура – 30 мм. Первые значения параметров соответствуют идеальной структуре кольца, вторые значения (отделенные косой скобкой)

рассчитаны с учетом средней нелинейности С-блоков и измеренных значений нелинейности в Е-блоках.

Табл. 3. Основные параметры накопительного кольца

Название параметра	Старая структура	1 согл. вставка	4 вставки
Периметр орбиты, *м*	251,184	251,179	250,984
Бетатронная частота, Q_x	9,215/9,213	9,250/9,296	9,231/9,271
Бетатронная частота, Q_y	9,347/9,346	9,247/9,229	9,265/9,243
Максимальная бета-функция β_x, *м*	14,9/15,00	14,6/15,0	14,23/15,7
Максимальная бета-функция β_y, *м*	15,1/15,2	15,55/15.50	14,24/14,1
Максимальная дисперсия D_x, *м*	2,02/2,26	2,3/2,45	2,7/3,0
Горизонтальный аксептанс, $A_x(\Delta p/p=0)$, *мм·мрад*	126,1/135,7	126,1/130,7	183,3/141
Вертикальный аксептанс, A_y, *мм·мрад*	45,9/59,1	45,9/58,0	87,6/67,5
Горизонтальный хроматизм $\partial Q_x/(\Delta p/p)$	-1,11/-2,17	-10,7/-5,68	-11.6/-0.16
Вертикальный хроматизм $\partial Q_y/(\Delta p/p)$	-16,1/-13,9	-11,7/-11,23	-20,0/-13,52
Критическая энергия γ_{tr}	7,143/7,138	7,276/7,403	7,2/7,19
Максимальная магнитная жесткость $B\rho$, $T\cdot м$	35	26.8	26.8

Графики бета-функций и дисперсионной функции для основной структуры и двух схем модификации приведены на рис. 3-5. Из рисунков видно, что в структуре с одной вставкой в номинальном режиме максимальные значения бета-функций и дисперсионной функции (за исключением вставки) практически совпадают с соответствующими значениями для старой структуры.

3. Анализ кулоновского эффекта в линейном приближении

В линейном приближении увеличение тока пучка приводит к трём эффектам: 1) некогерентному сдвигу бетатронной частоты $\Delta Q_{inc}(I)$; 2) изменению бета - функции; 3) изменению дисперсионной функции. Как известно [10], аналитическое исследование кулоновских эффектов показывает, что в линейном приближении возмущения бета – функции

$$\Delta\beta/\beta \sim C_k/[Q_0 - \frac{k}{2} - \Delta Q_{coh}(I)], \qquad (3)$$

где C_k - амплитуда резонансной гармоники с номером k, $\Delta Q_{coh}(I)$ - когерентный сдвиг бетатронной частоты. Возмущения дисперсионной функции

$$\Delta\Psi/\langle\Psi\rangle \sim B_k/[Q_0 - k - \Delta Q_{inc}(I)], \qquad (4)$$

где B_k - амплитуда резонансной гармоники с номером k. Из этих формул мы видим, что для любой неидеальной структуры, в которой $C_k, B_k \neq 0$, именно второй из эффектов ограничивает максимальное значение тока (известно, что $\Delta Q_{inc}(I) > \Delta Q_{coh}(I)$).

Численное исследование кулоновских эффектов выполнялось с помощью программы AGILE [9]. При расчете были приняты нижеследующие исходные предположения. Пучок имеет К-В распределение в фазовом пространстве. Среднеквадратичные эмиттансы пучка равны E_x=15 мм*мрад, E_y=10 мм*мрад. Среднеквадратичный разброс по импульсу равен нулю. На рис. 6-8 для различных структур построена расчетная зависимость некогерентных бетатронных частот от тока пучка. Следует подчеркнуть, что алгоритм численного решения системы уравнений Капчинского-Владимирского в программе AGILE перестает сходиться при некотором токе пучка из-за приближения к некогерентному резонансу. Эти токи и были выбраны в качестве предельных на этих рисунках.

Одновременно была изучена зависимость аксептанса камеры от тока пучка и отклонения частицы по импульсу.

Расчеты показали, что зависимость от тока параметров $E_x(I,0)$ и $E_y(I)$ пренебрежимо мала (вероятно, этот эффект связан с меньшим значением когерентного сдвига частоты). Расчетные графики зависимости $E_x(I,\frac{\Delta p}{p})$ для двух значений $\frac{\Delta p}{p}$, равных 0,005 и 0,01, и различных структур даны на рис. 9-11. Из рисунков видно, что аксептанс камеры для данных значений импульсов заметно падает с ростом тока; этот эффект особенно резко выражен для структуры с одной вставкой. Наблюдаемое уменьшение аксептанса связано с нарушением согласования по дисперсионной функции при росте тока.

4. Нелинейные эффекты при нулевом токе пучка

Нелинейности поля приводят к появлению нелинейных резонансов и сокращению динамической апертуры кольца. Сетка нелинейных резонансов изображена на Рис.12.

Влияние линейных и нелинейных флуктуаций поля в Е-блоках на динамическую апертуру кольца с основной структурой исследовано в работе [7]. Расчеты показали, что динамическая апертура значительно меньше физической апертуры и отличается резко выраженной зависимостью от бетатронных частот, а также от отклонения импульса от равновесного значения. Дальнейшее сокращение апертуры происходит при увеличении тока пучка.

Исследование динамической апертуры новых структур было проведено с помощью программы MAD. При расчете динамической апертуры мы пренебрегли флуктуациями и предполагали, что магнитное поле во всех С-блоках одинаковое. Нелинейности в новых блоках также предполагались пренебрежимо малыми. Результаты расчета динамической апертуры для существующей

структуры и для вариантов с одной и четырьмя вставками даны на рис.13-15. (для равных фазовых объемов по вертикали и горизонтали). На рис.16 и в табл. 4 приведены результаты расчета для равных фазовых объемов по вертикали и горизонтали. На рис.17 показана зависимость динамической апертуры от числа оборотов N как параметра для программы MAD. Для рассматриваемых вариантов расчета достаточно выполнения условия $N \geq 10000$.

Мы видим из рисунков, что влияние флуктуаций нелинейности приводит к заметному сокращению динамической апертуры кольца. Выходом из положения является полная замена Е-блоков. В структуре с четырьмя вставками 4 из 8 Е-блоков могут быть заменены на снятые из 4 промежутков 4 фокусирующих С-блока. Кроме того, должны быть дополнительно изготовлены 4 новых фокусирующих магнита с поворотным полем, градиентом и обратным направлениям ярма. Эти новые блоки будут размещены в нечетных периодах с тем, чтобы не мешать трассам вывода и инжекции; С-блоки будут размещены в четных периодах, в которых и будут находиться удлиненные промежутки с длиной около 4 м. В структуре с одной вставкой замена Е-блоков практически не увеличивает динамическую апертуру, которая, однако, оказывается приемлемой и при наличии Е-блоков.

Таблица 4. Динамическая апертура для различных структур ($E_x = E_y$)

Название структуры	Ex(мм*мрад)
Старая структура без Е-блоков	141,459
Старая структура с Е-блоками	70,657
Модифицированная структура с 4-мя периодами без Е-блоков	108,624
Модифицированная структура с 4-мя периодами с Е-блоками	37,149
Модифицированная структура с 1-им периодом без Е-блоков	77,304
Модифицированная структура с 1-им периодом с Е-блоками	75,858

5. Заключение

Структура ускорителя У-10 далека от истинной периодичности вследствие включения Е-блоков, имеющих большие флуктуации градиента и нелинейности. Поэтому включение одной согласованной вставки в существующую структуру не слишком сильно влияет на ее параметры (аксептанс, динамическую апертуру и т.д.). В номинальном режиме и при нулевом отклонении импульса согласование по бета-функциям близко к идеальному; согласование по дисперсионной функции также - удовлетворительно. Однако с ростом тока возникают колебания дисперсионной функции, сокращающие апертуру для частиц с неравновесным импульсом. Эти эффекты могут быть в известной мере скомпенсированы путем выбора рабочей точки, коррекции 18-й гармоники горизонтального параметрического резонанса и т.д.

Следует подчеркнуть, что при накоплении разброс частиц по импульсу мал (порядка 10^{-3}) и сокращение аксептанса для частиц с большим $\Delta p / p$

представляется несущественным. Ситуация, однако, изменяется при компрессии пучка, когда $\Delta p/p$ увеличивается на порядок. Для проверки этого эффекта желательно выполнить расчет поперечного движения частиц при компрессии.

В случае замены Е-блоков на магниты с хорошими характеристиками вариант с четырьмя вставками, сохраняющий суперпериодичность, представляется предпочтительным.

Реализация обоих вариантов модификации требует остановки ускорителя на длительное время (более полугода) и довольно больших материальных затрат (по-видимому, несколько меньших для случая согласованной вставки). Кроме того, максимальная энергия ускоренных ионов в модифицированной структуре будет несколько понижена (на 10-15%).

Однако, включение СЭО с удлиненным промежутком и кольцевым электронным пучком позволит резко повысить фазовую плотность накопленного пучка и, что особенно важно, подавить потери частиц и связанную с ними вакуумную неустойчивость. Следует указать также на новые экспериментальные возможности установки (например, при исследовании резонансных реакций).

Рис.1. Схема согласованной вставки (прямоугольники, не пересекающие ось - магниты, квадраты, касающиеся оси, - квадрупольные линзы).

Рис.2. Схема периода в структуре с четырьмя вставками. Блоки основной структуры поделены на 4 части.

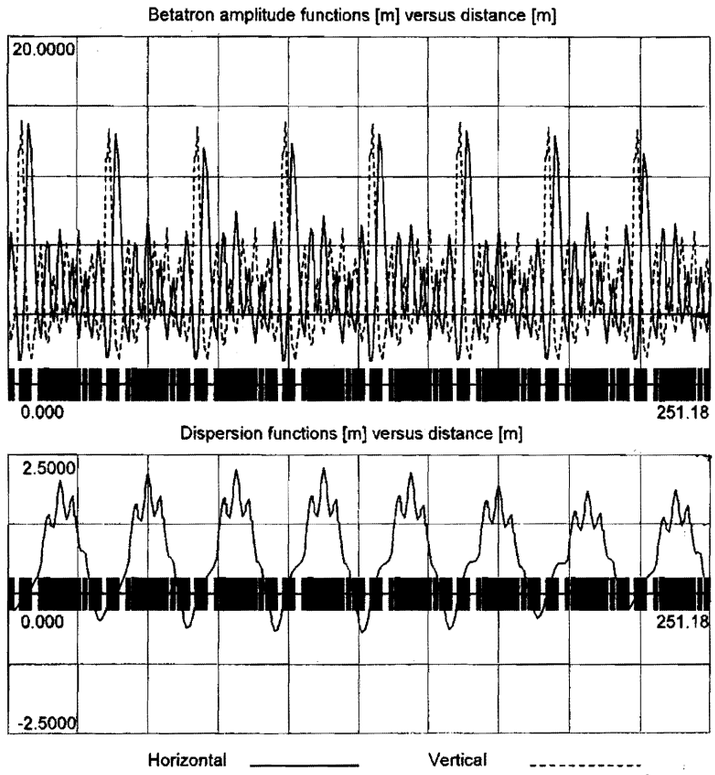

Рис.3. Бета - функции и дисперсионная функция в номинальном режиме для существующей структуры У-10. Градиенты в Е-блоках соответствуют табл. 2, ток равен нулю.

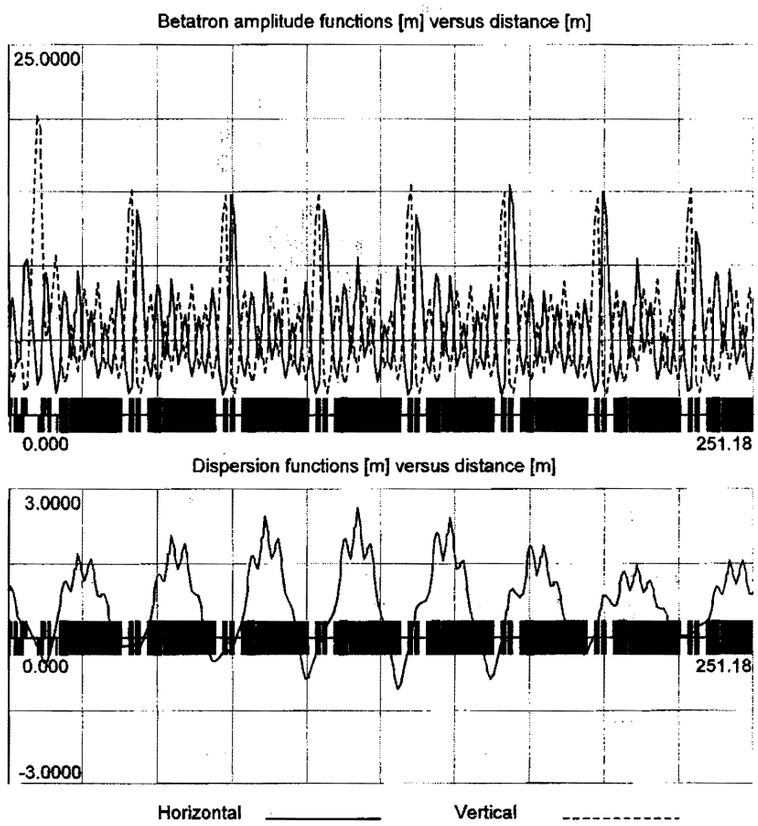

Рис.4. Бета - функции и дисперсионная функция в номинальном режиме для модифицированной структуры с одной вставкой. Градиенты в Е-блоках соответствуют табл. 2, ток равен нулю.

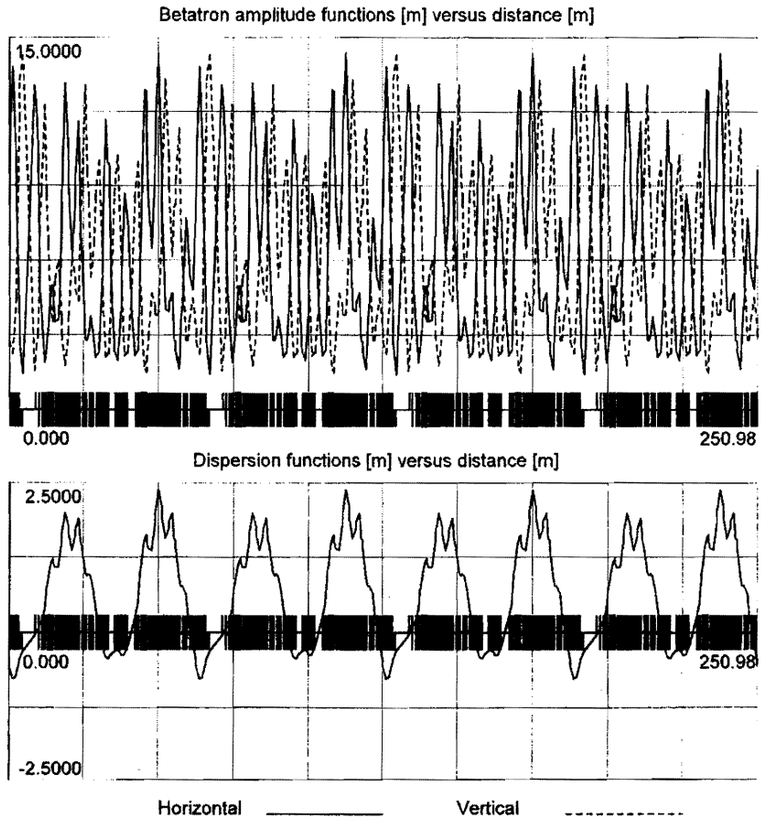

Рис.5. Бета - функции и дисперсионная функция в номинальном режиме для модифицированной структуры с четырьмя вставками. Градиенты в Е-блоках соответствуют табл. 2, ток равен нулю.

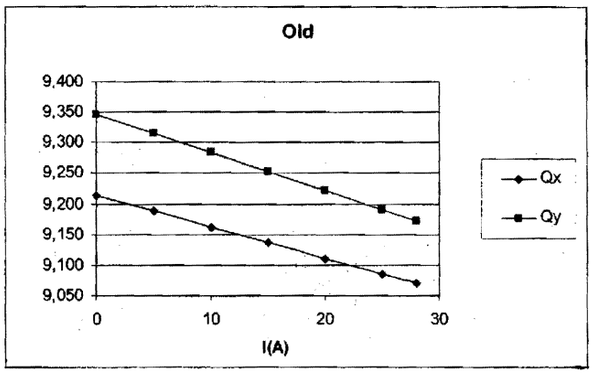

Рис. 6. Зависимость некогерентных бетатронных частот от тока пучка для немодифицированной структуры.

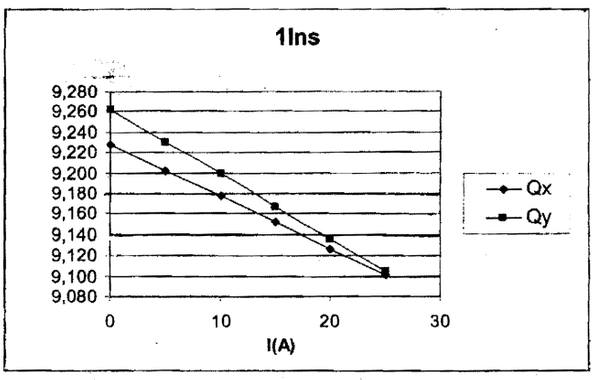

Рис. 7. Зависимость некогерентных бетатронных частот от тока пучка для модифицированной структуры с одной вставкой.

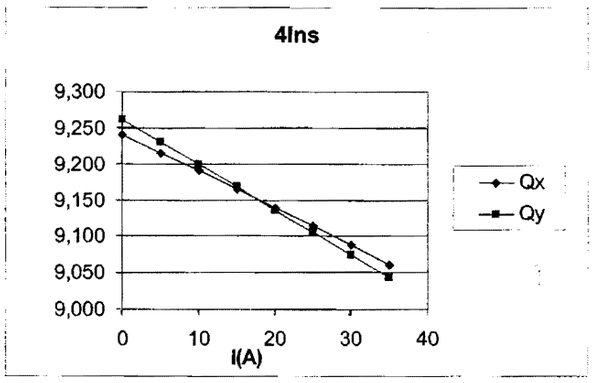

Рис. 8. Зависимость некогерентных бетатронных частот от тока пучка для модифицированной структуры с четырьмя вставками.

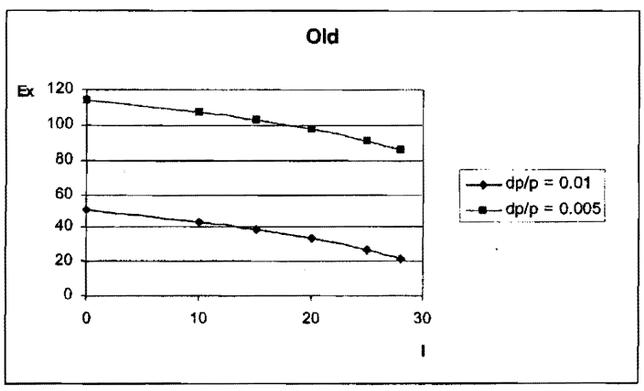

Рис.9. Зависимость горизонтального аксептанса камеры от тока пучка для различных значений отклонения по импульсу (основная структура).

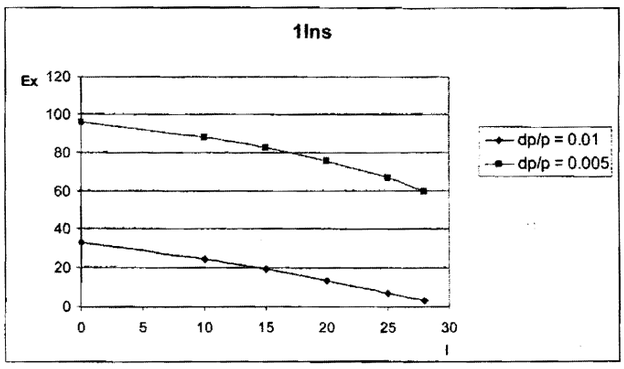

Рис.10. Зависимость горизонтального аксептанса камеры от тока пучка для различных значений отклонения по импульсу (структура с одной вставкой).

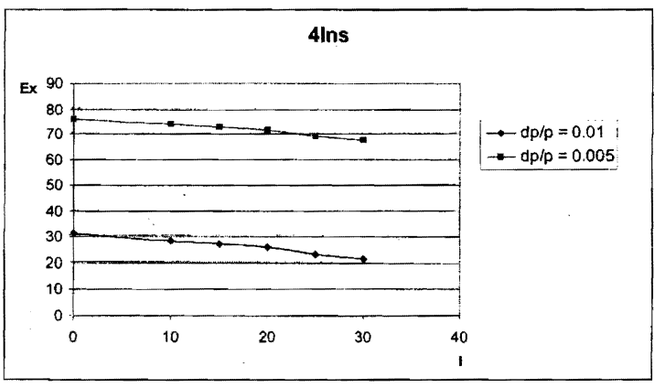

Рис.11. Зависимость горизонтального аксептанса камеры от тока пучка для различных значений отклонения по импульсу (структура с четырьмя вставками).

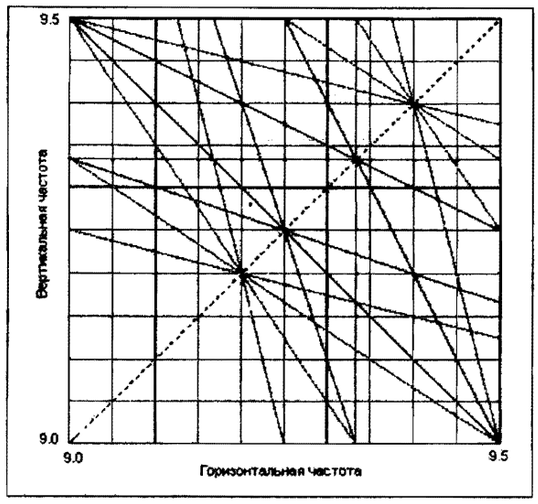

Рис. 12. Резонансы в рабочей клетке накопителя ИТЭФ (вплоть до 5-го порядка).

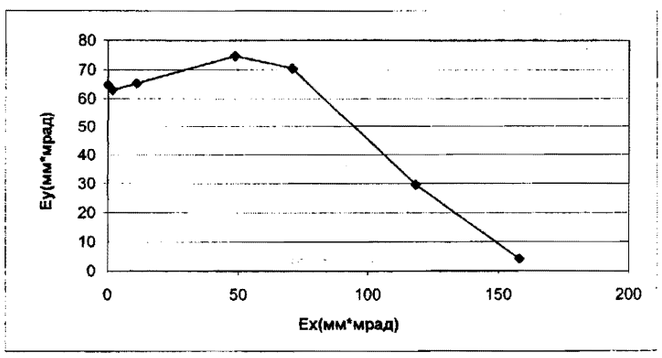

Рис.13.Динамическая апертура по двум степеням свободы для немодифицированной структуры (dp/p=0, I=0).

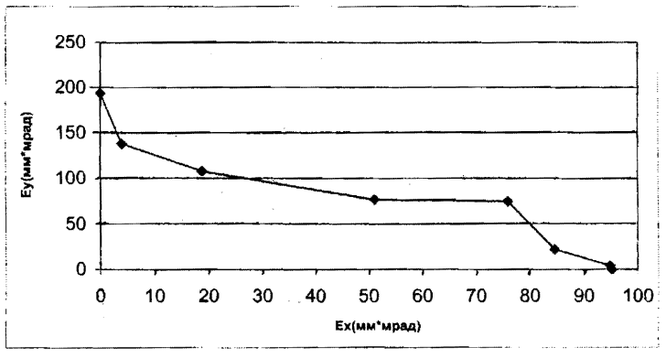

Рис.14.Динамическая апертура по двум степеням свободы для модифицированной структуры с одной вставкой (dp/p=0, I=0).

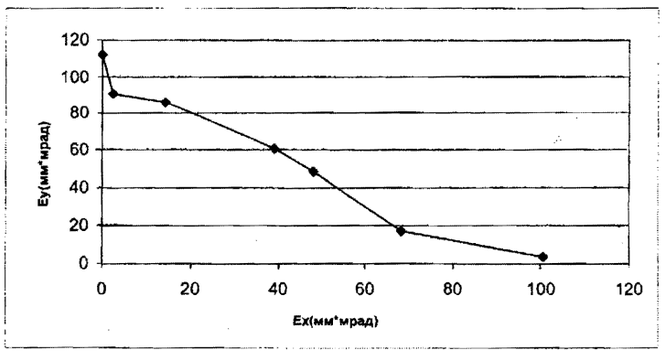

Рис.15.Динамическая апертура по двум степеням свободы для модифицированной структуры с четырьмя вставками (dp/p=0, I=0).

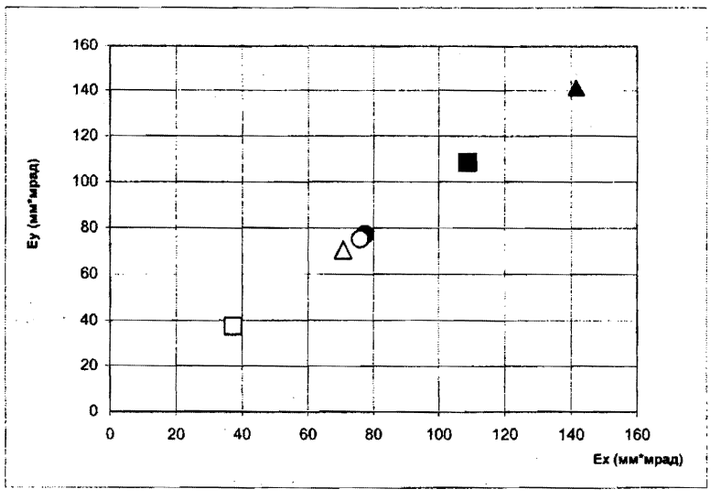

Рис.16. Динамическая апертура для равных фазовых объемов по вертикали и горизонтали.

▲ - старая структура без Е-блоков; Δ - старая структура с Е-блоками;
■ - модифицированная структура с четырьмя периодами без Е-блоков;
□ - модифицированная структура с четырьмя периодами с Е-блоками;
● - модифицированная структура с одним периодом без Е-блоков;
○ - модифицированная структура с одним периодом с Е-блоками.

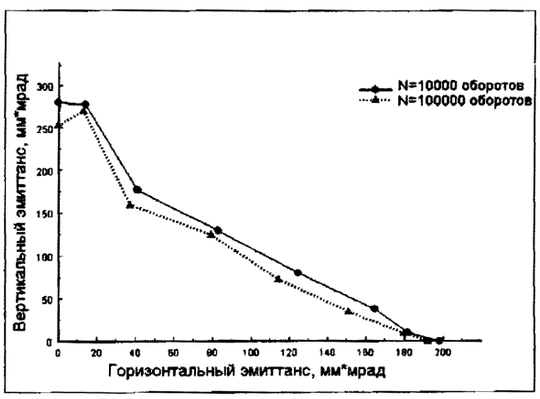

Рис. 17. Динамическая апертура модифицированной структуры с четырьмя вставками без Е-блоков для различного числа оборотов.

Литература

1. P. R. Zenkevich et al. "Strategy of intense ion beam accumulation by use of charge exchange injection", NIM A, 464 (2001), p. 616-620.
2. Zenkevich P. R. et al, "Electron cooling system for ITEP ion storage ring", Laser and Particle Beams, forthcoming.
3. Д. Г. Кошкарев, Н. Н. Алексеев, А. В. Бархударян, "Новая магнитная система У-10", М., Препринт ИТЭФ, 2001,№ 32.
4. П. Р. Зенкевич, Н. Н. Алексеев и др., "Перспективы применения электронного охлаждения в накопителе ионов ИТЭФ", доклад на Российском совещании по ускорителям, Обнинск, 2002.
5. V.V.Parkhomchuk, "Stability limits of cooled beams", Proc. Of Workshop on "Beam Cooling and Related Topics", 255 International WE-Heraus Seminar 14-18 May 2001, Bad-Honnef, Germany.
6. Д. Г. Кошкарев, Н. Н. Алексеев, А. В. Бархударян, "Оптимизация магнитной структуры У-10", М., Препринт ИТЭФ, 2002, № 27.
7. А. Е. Большаков, П. Р. Зенкевич, "Динамическая апертура накопителя в проекте ТВН", М., Препринт ИТЭФ, 2000, № 26.
8. H. Grote, C. Iselin, The MAD Program, CERN/SL/90-13.
9. HTTP://bryant.home.cern.ch/bryant/.
10. "Theoretical aspects of the behavior of beams in accelerators and storage beams", Proc. of the First Course of the Int. School of Particle Accelerators, Geneva, 1977.