

УДК 539.1.076

ВЛИЯНИЕ НЕИДЕАЛЬНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДИПОЛЬНЫХ МАГНИТОВ РЕЦИРКУЛЯТОРА SALO НА ПАРАМЕТРЫ ПУЧКА

И.С. Гук, С.Г. Кононенко, А.С. Тарасенко

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»

Украина, 61108, Харьков ул. Академическая, 1

E-mail: guk@kipt.kharkov.ua

Поступила в редакцию 1 июня 2010 г.

По данным измерений характеристик магнитного поля дипольных магнитов EUTERPE [1] вычислены ожидаемые характеристики проектируемых дипольных магнитов рециркулятора SALO [2]. Методом математического моделирования с учетом ожидаемых характеристик дипольных магнитов исследовано влияние геометрических аберраций на параметры пучка в рециркуляторе SALO и в точке вывода его с максимальной энергией. Проведено сравнение результатов, полученных с помощью вычислительной программы TRANSPORT для различных порядков вычислений, с результатами вычислений по траекториям частиц с помощью программы MAD-X для идеальной и неидеальной магнитооптической системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рециркулятор, ускоритель электронов, аберрация, порядок вычислений.

ВПЛИВ НЕІДЕАЛЬНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ДИПОЛЬНИХ МАГНІТІВ РЕЦІРКУЛЯТОРА SALO НА ПАРАМЕТРИ ПУЧКА З УРАХУВАННЯМ ВІЩИХ ПОРЯДКІВ ПІДРАХУНКІВ

I.С. Гук, С.Г. Кононенко, О.С. Тарасенко

Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»

Україна, 61108, Харків, вул. Академічна, 1

По даним вимірювань характеристик магнітного поля дипольних магнітів EUTERPE [1] обраховані очікувані характеристики проектованих дипольних магнітів рециркулятора SALO [2]. Методом математичного моделювання з урахуванням очікуваних характеристик дипольних магнітів вивчений вплив геометричних аберрацій на параметри пучка в рециркуляторі SALO та в точці виводу його з максимальною енергією. Проведено порівняння результатів, одержаних з допомогою програми TRANSPORT для різних порядків розрахунків, з результатами підрахунків по траєкторіях частинок з допомогою програми MAD-X для ідеальної та неідеальної магнітооптичної системи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: рециркулятор, прискорювач електронів, аберрація, порядок обрахувань.

INFLUENCE OF UNIDEALITY OF MAGNETIC FIELD OF SALO RECIRCULATOR BENDING MAGNETS ON PARAMETERS OF THE BEAM WITH TAKING INTO ACCOUNT HIGHER ORDERS OF CALCULATIONS

I.S. Guk, S.G. Kononenko, A.S. Tarasenko

National Scientific Centre "Kharkov Institute of Physics and Technology"

Ukraine, 61108, st. Akademichna, 1, Kharkiv

With using the results of measuring the parameters of EUTERPE dipole magnets, the expected parameters of designed for recirculator SALO dipole magnets are calculated. By the mathematical simulation method with taking into account the expected parameters of dipole magnets the influence of geometrical aberrations on parameters of beam in recirculator SALO in the point of its extraction with maximum energy was investigated. The comparison of the results obtained with TRANSPORT code for various orders of calculations, with ones obtained by tracking with MAD-X code for an ideal and unideal magnetooptical system is carried out.

KEY WORDS: recirculator, electron accelerator, aberration, calculations order.

Неидеальность дипольных магнитов обуславливается следующими факторами: наличием краевых полей на торцах магнитов и поперечной неоднородностью ведущего магнитного поля. Первый фактор достаточно хорошо изучен для различных типов срезов магнитов [3, 4] и может быть учтен при расчетах, второй же изучен гораздо слабее из-за большого количества параметров, влияющих на него: от конкретной конструкции магнита до качества материала, из которого он изготовлен, качества его обработки, качества сборки и т.п. Поэтому в расчетах обычно используются результаты измерений магнитных полей конкретных магнитов.

В свою очередь, неидеальность дипольных магнитов является одной из причин различных аберраций магнитооптической системы (МОС), существенно влияющих на параметры пучка в месте вывода его из рециркулятора. Из-за наличия дипольных магнитов МОС проектируемого рециркулятора не является аксиальносимметричной. В связи с этим, в ней могут иметь место аберрации второго порядка, которые необходимо учитывать при расчете характеристик пучка, тем более что для набора максимальной энергии 730 МэВ пучок должен пройти 34 дипольных магнита [2,10].

Поскольку на проектируемом рециркуляторе предполагается иметь несколько каналов вывода пучка и к качеству пучка на физических мишениях предъявляются довольно жесткие требования [5], то очевидна необходимость исследования влияния аберраций МОС на параметры выводимого пучка.

Еще одним фактором, на который следует обратить внимание, является порядок вычислений [6]. При

вычислении координаты и угла частицы на выходе дипольного магнита обычно предполагается, что x/ρ и x'/α (x -отклонение частицы от равновесной траектории, ρ - радиус кривизны равновесной траектории частицы в магните, x' -угол между импульсом частицы и касательной к равновесной траектории, α -угол поворота частицы в магните) являются малыми параметрами, по которым может быть произведено разложение и достаточно удерживать лишь линейные члены. Однако для более точного расчета при значительных углах поворота и количестве дипольных магнитов необходимо удерживать члены разложения более высокого порядка, как правило, до третьего.

Целью настоящей работы является исследование влияния геометрических aberrаций МОС на характеристики пучка, выводимого из проектируемой установки SALO при максимальной энергии.

Исследование проводилось методом численного моделирования с помощью программ TRANSPORT [7] и MAD-X [8] при следующих параметрах инжектируемого пучка: полуширина пучка по горизонтали и вертикали 0,2 см, горизонтальная и вертикальная расходимости $\pm 0,03$ мрад., продольный размер пучка $\pm 0,41$ см, начальная энергия 9,5 МэВ. Такие параметры являются типичными для сверхпроводящих инжекторов [9,11], выбранных для рециркулятора SALO в качестве прототипа.

КРАЕВЫЕ ПОЛЯ, НЕЛИНЕЙНОСТЬ ВЕДУЩЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ДИПОЛЬНЫХ МАГНИТАХ И ВЫСШИЕ ПОРЯДКИ ВЫЧИСЛЕНИЯ

На рис. 1 показаны планируемые каналы вывода пучка из рециркулятора [2,10]. В работе исследовалось влияние краевых полей и неоднородности магнитного поля дипольных магнитов на величину огибающей пучка и на характеристики пучка в точке его вывода с максимальной энергией 730 МэВ (точка F) в зависимости от порядка вычислений [6].

В таблице 1 приведены основные параметры дипольных магнитов, применяемых в рециркуляторе SALO,

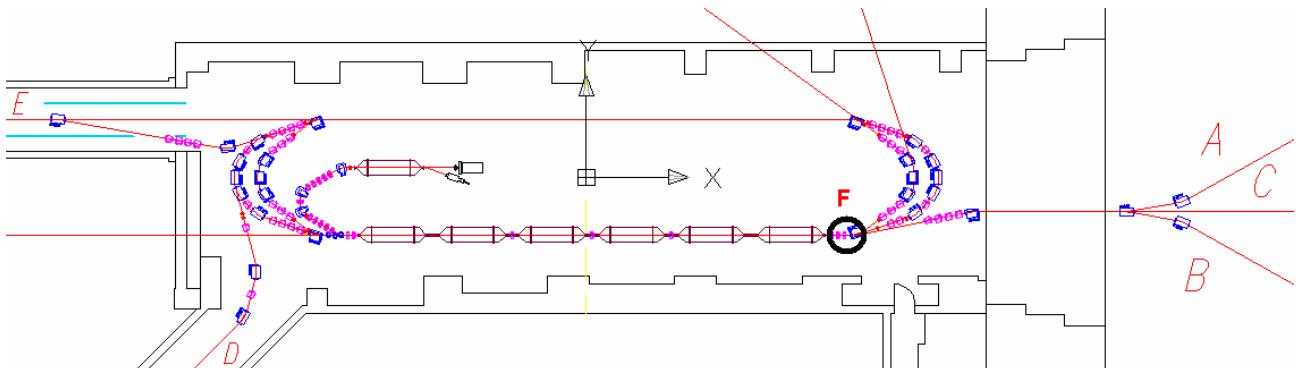


Рис.1. Общий вид комплекса SALO.
A,B,C,D,E – каналы вывода пучка на экспериментальные установки

Таблица 1

Основные параметры дипольных магнитов, применяемых в проекте SALO

Параметры \ Тип магнита	Инжекционный С-образный	Первый оборот С-образный типа EUTERPE	Второй оборот Ш-образный
Высота зазора, мм	25	25	25
Ширина полюса, мм	110	110	110
Эффективная длина полюса L, мм	112,4 224,8	516	610
Напряженность магнитного поля, Т	0.3 (L=112,4) 0.34 (L=224,8)	0.34...1.04	1.3

На основании геометрических характеристик дипольных магнитов были определены ожидаемые значения интегралов, обусловленных краевыми полями. В качестве модели распределения краевого поля дипольных магнитов было принято так называемое, «необостренное» (unclamped) распределение Роговского [7].

Интеграл от сектупольной составляющей магнитного поля дипольных магнитов типа EUTERPE (эффективная длина магнита $\sim 0,516$ м) определялся из данных измерений, представленных в [1], и, с учетом соответствующих размеров, пересчитывался для магнитов других типов.

В таблице 2 приведены, рассчитанные по данным работы [1], значения квадратичной нелинейности для различных типов дипольных магнитов рециркулятора SALO.

На рис. 2 и рис. 3 показано влияние краевых полей и неидеальности дипольных магнитов на огибающую пучка в рециркуляторе при различных настройках МОС в зависимости от порядка вычисления.

Из полученных результатов видно, что оптимизация МОС существенно изменяет вид огибающей пучка и ослабляет влияние на неё порядка вычислений.

Таблица 2.

Значения квадратичной нелинейности для различных типов дипольных магнитов проекта SALO

E, МэВ	20		256,64			493,28		
Длина магнита L, м	0,112	0,224	0,112	0,224	0,516	0,112	0,224	0,516
FINT, k1	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
FINT2, k2	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
EPS, м ⁻²	-7,183	-16,136	-0,558	-1,256	-6,49	-0,291	-0,667	-3,375
EPS, см ⁻²	-7×10^{-4}	$-1,6 \times 10^{-3}$	-5×10^{-5}	-10^{-4}	-6×10^{-4}	-3×10^{-5}	-6×10^{-5}	$-3,4 \times 10^{-4}$
								$-1,2 \times 10^{-3}$

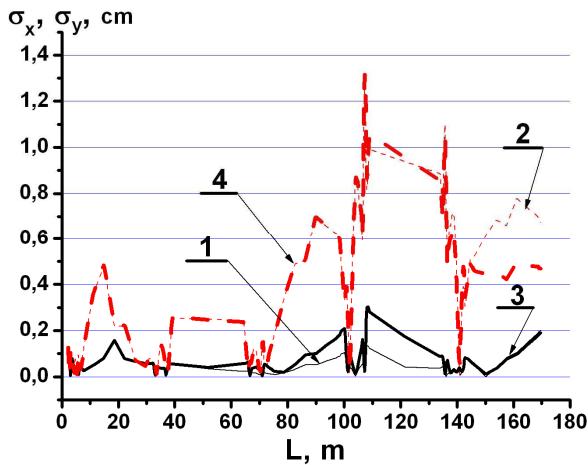


Рис. 2. Огибающие пучка при начальной настройке МОС с учетом краевых полей и нелинейности ведущего Н-поля в зависимости от порядка вычислений.

Кривые 1, 2- σ_x, σ_y в первом порядке вычислений; кривые 3, 4- σ_x, σ_y во втором и третьем порядках вычислений.

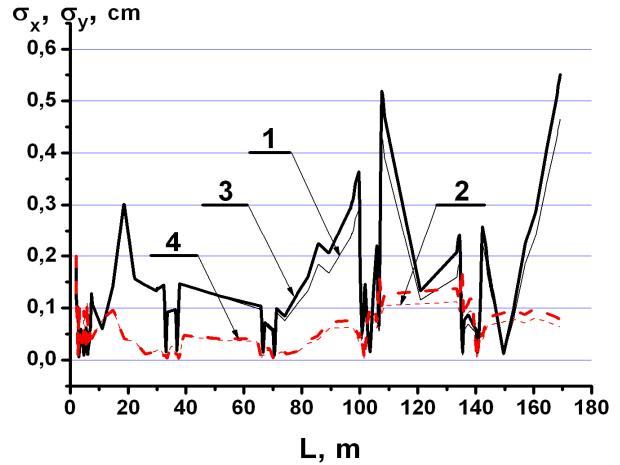


Рис. 3. Огибающие пучка при оптимальной настройке МОС с учетом краевых полей и нелинейности ведущего Н-поля в зависимости от порядка вычислений.

Кривые 1, 2- σ_x, σ_y в первом порядке вычислений; кривые 3, 4- σ_x, σ_y во втором и третьем порядках вычислений.

ХРОМАТИЧЕСКИЕ АБЕРРАЦИИ

Аберрации магнитооптических систем обуславливаются как неменохроматичностью пучка, так и самими магнитными элементами: их конструкцией, неидеальностью (рассеянные магнитные поля, неоднородность магнитного поля дипольных магнитов, и т.п.). Первый тип аберраций является хроматическими, второй тип – монохроматическими или геометрическими.

Хроматические аберрации возникают из-за дисперсии в элементах МОС. Хроматизм увеличения проявляется в зависимости поперечных размеров пучка от энергетического разброса частиц в пучке. В первом порядке эта аберрация минимизируется путем выполнения в заданной точке условия ахроматичности: R16=R26=0 [7]. Здесь R16, R26 - соответствующие матричные элементы линейной матрицы перехода R1.

Хроматизм положения проявляется в изменении продольных размеров сгустка. В первом порядке вычислений эта аберрация минимизируется требованием изохронности траекторий пучка в данной точке, что выполняется при условии R51=R52=R56=0.

Условия ахроматичности и изохронности обеспечиваются подбором режимов фокусировки МОС. В таблице 3 приведены значения соответствующих матричных элементов для идеальной МОС (столбец А) и для МОС с учетом краевых полей и секступольной компоненты магнитного поля дипольных магнитов (столбец В), рассчитанные по программе TRANSPORT для рециркулятора SALO.

Из таблицы 3 видно, что подбором режима фокусировки удается заметно уменьшить влияние краевых полей и секступольной компоненты магнитного поля дипольных магнитов на величину хроматических аберраций в указанных точках, расположенных на входе в ускоряющую секцию.

Таблиця 3

Значення матричних елементів R_{ij}						
$E_{\text{нач}}$, МэВ	19,5		256,6		493,3	
L , м	7,61		74,714		145,97	
	A	B	A	B	A	B
R16	$3,6 \times 10^{-4}$	-4×10^{-5}	7×10^{-4}	$9,5 \times 10^{-4}$	$7,3 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-3}$
R26	$-3,8 \times 10^{-3}$	-4×10^{-4}	$6,3 \times 10^{-4}$	$2,32 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-3}$	$-6,2 \times 10^{-3}$
R51	-9×10^{-5}	-10^{-5}	$-2,6 \times 10^{-4}$	$-1,5 \times 10^{-3}$	$-2,28 \times 10^{-4}$	-7×10^{-4}
R52	$-1,4 \times 10^{-4}$	-10^{-5}	$-1,9 \times 10^{-3}$	$1,14 \times 10^{-3}$	$2,68 \times 10^{-3}$	$1,01 \times 10^{-3}$
R56	$4,2 \times 10^{-4}$	-10^{-5}	$3,3 \times 10^{-4}$	$-1,1 \times 10^{-4}$	7×10^{-4}	$1,5 \times 10^{-4}$

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ (МОНОХРОМАТИЧЕСКИЕ) АБЕРРАЦИИ

Дипольные магниты, магнитное поле которых, в отличие от поля магнитных линз, не обладает аксиальной симметрией, являются источником геометрических аберраций всех порядков. Краевые поля дипольных магнитов оказывают существенное влияние на положение рабочей точки МОС рециркулятора.

Геометрические аберрации невозможно полностью устранить. Их можно ослабить либо путем изменения фокусировки МОС, либо с помощью дополнительных нелинейных элементов компенсировать в заданных точках, что не всегда позволяет геометрия установки.

Как известно, квадрупольные магнитные линзы, в отличие от оптических линз, не могут обеспечить фокусировку пучка в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Кроме того, как было показано выше, в реальной МОС рециркулятора присутствует квадратичная нелинейность магнитного поля дипольных магнитов. Эти факторы является причиной возникновения аберраций. Влияние этого типа аберраций на характеристики пучка в рециркуляторе усиливается при отклонении инжектируемого пучка от геометрической оси. Неконтролируемая величина такого отклонения не превышает, соответственно, величины полуширины и полурасходимости инжектируемого пучка.

Методом численного моделирования было исследовано влияние данных факторов на характеристики пучка в рециркуляторе. Результаты моделирования представлены на рис. 4-7.

Из результатов, приведенных на рис. 4, видно, что:

- а) - вертикальное и горизонтальное смещение инжектируемого пучка на величину его полуразмера вызывает смещение равновесной траектории в пределах $|\Delta X_{\max}| \leq 0,4$ см, $|\Delta Y_{\max}| \leq 0,1$ см;
- б) - размер поперечного сечения пучка в точке F зависит от знака смещения инжектируемого пучка в горизонтальной плоскости и не зависит от знака смещения в вертикальной плоскости;

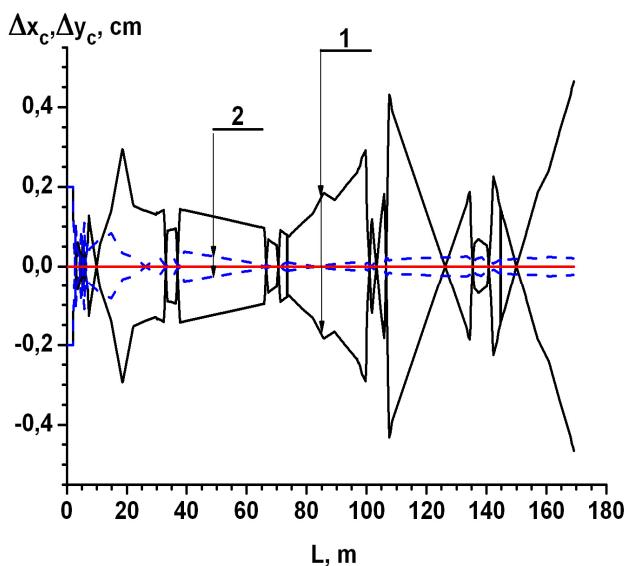


Рис. 4. Смещение положения равновесной траектории Δx_c и Δy_c относительно геометрической оси рециркулятора при различных начальных отклонениях пучка.

Кривые 1 - $\Delta x_{c0} = \pm 0,2$ см; кривые 2 - $\Delta y_{c0} = \pm 0,2$ см.

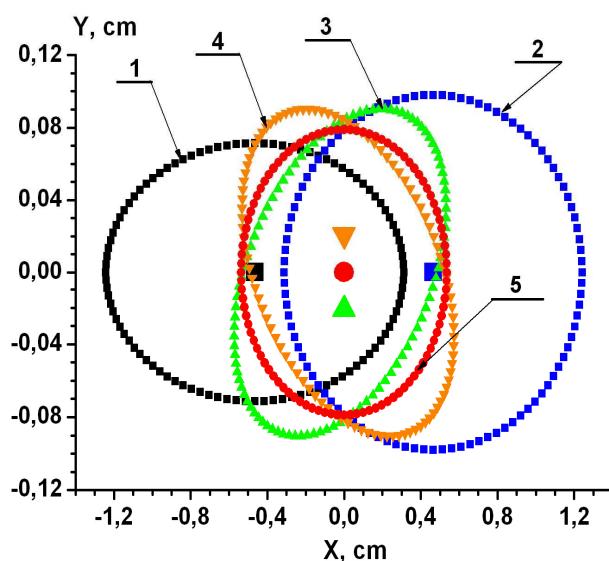


Рис. 5. Поперечное сечение пучка в точке вывода F (рис. 1) при различных начальных отклонениях пучка.

1, 2 – сечения пучка при $\Delta x_{c0} = \pm 0,2$ см; –; 3, 4 – сечения пучка при $\Delta y_{c0} = \pm 0,2$ см соответственно; 5 – сечение пучка при $\Delta x_{c0} = \Delta y_{c0} = 0$. Соответствующими значениями обозначены положения центра пучка относительно геометрической оси установки

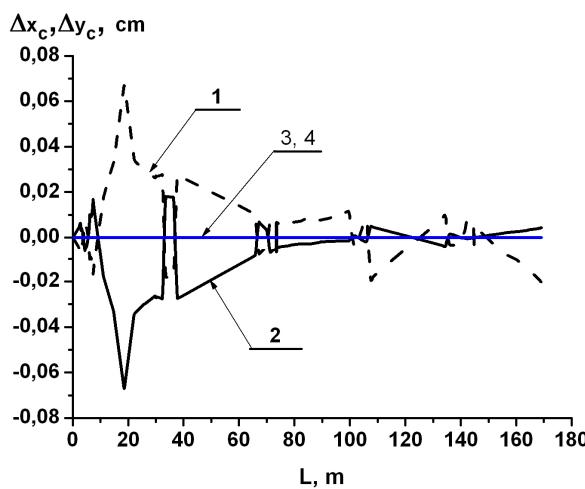


Рис. 6. Смещение положения равновесной траектории Δx_c и Δy_c относительно геометрической оси рециркулятора при различных начальных угловых отклонениях пучка. Кривая 1 - Δx_c при $\Delta x'_{c0}=0,03$ мрад; кривая 2 - Δx_c при $\Delta x'_{c0}=-0,03$ мрад, 3,4 - Δy_c при $\Delta x'_{c0}=\pm 0,03$ мрад.

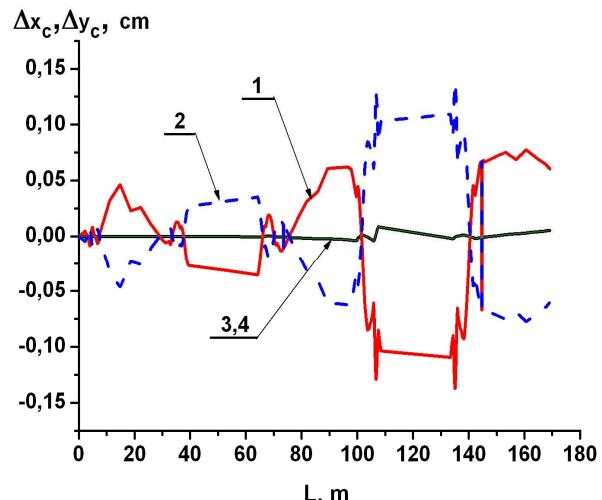


Рис. 7. Смещение положения равновесной траектории Δx_c и Δy_c относительно геометрической оси рециркулятора при различных начальных отклонениях пучка. Кривая 1 - Δy_c при $\Delta y'_{c0}=0,03$ мрад; кривая 2 - Δy_c при $\Delta y'_{c0}=-0,03$ мрад, 3,4 - Δx_c при $\Delta y'_{c0}=\pm 0,03$ мрад.

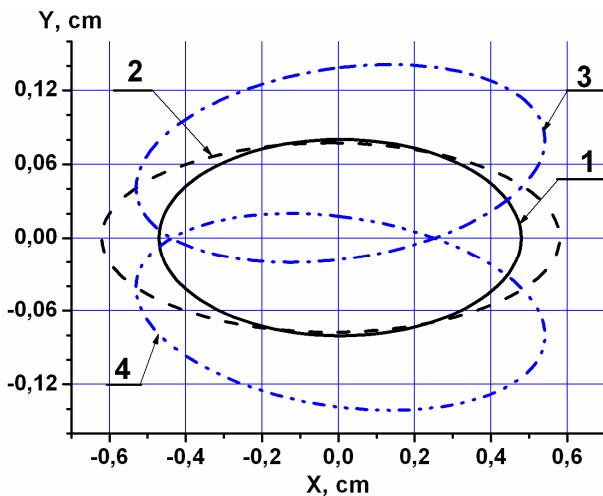


Рис. 8. Поперечное сечение пучка в точке вывода F (рис. 1) при различных начальных отклонениях пучка.
1, 2 – сечения пучка при $\Delta x'_{c0}=\pm 0,03$ мрад; 3, 4 - сечения пучка при $\Delta y'_{c0}=\pm 0,03$ мрад. соответственно.

б) – смещение центра пучка относительно геометрической оси находится в пределах $-0,464 \text{ см} \leq X \leq -0,464 \text{ см}$, $-0,0207 \text{ см} \leq Y \leq 0,0207 \text{ см}$.

Результаты исследования влияния угла наклона инжектируемого пучка относительно равновесной траектории (рис. 6 – рис. 8) указывают на то, что:

а) – наклон инжектируемого пучка относительно геометрической оси установки в горизонтальной плоскости приводит к симметричным искажениям равновесной траектории в горизонтальной плоскости $|\Delta X_{\max}| \leq 0,06 \text{ см}$ и не влияет на положение траектории в вертикальной плоскости;

б) – наклон инжектируемого пучка относительно геометрической оси установки в вертикальной плоскости приводит к симметричным искажениям равновесной траектории в вертикальной плоскости $|\Delta Y_{\max}| \leq 0,14 \text{ см}$ и слабо влияет на положение траектории в горизонтальной плоскости;

в) – смещение центра пучка относительно геометрической оси находится в пределах $-0,02 \text{ см} \leq X \leq 0,0055 \text{ см}$, $0,06 \text{ см} \leq Y \leq 0,06 \text{ см}$

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ КРАЕВЫХ ПОЛЕЙ И НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ МЕТОДОМ РАССЧЕТА ПО ТРАЕКТОРИЯМ

Поскольку программа TRANSPORT основана на представлении сечения пучка в виде эллипсоида, параметры которого определяются коэффициентами матрицы Твисса, рассчитываемой в линейном приближении, то она, строго говоря, при наличии в МОС нелинейностей не может дать адекватной картины распределения частиц в поперечном сечении. В связи с этим был проведен расчет соответствующих распределений по траекториям отдельных частиц (в данном случае их число составляло 500) с помощью кода MAD-X [8].

Результаты моделирования для различных вариантов настройки МОС (“большой” размеры пучка: $\sigma_x=0,35 \text{ см}$ $\sigma_y=0,09 \text{ см}$ и “малый” размер пучка в точке вывода: $\sigma_x=0,04 \text{ см}$ $\sigma_y=0,03 \text{ см}$) представлены на рис. 9 и рис. 12.

Для количественной оценки полученных результатов производилась их статистическая обработка, результаты которой представлены, соответственно, на рис. 10,11 и рис. 13,14. В качестве аппроксимирующей использовалась функция $y = y_0 + (A/\sigma\sqrt{\pi/2})\exp[-2(x-x_0)/\sigma]^2$, представляющая гауссово распределение.

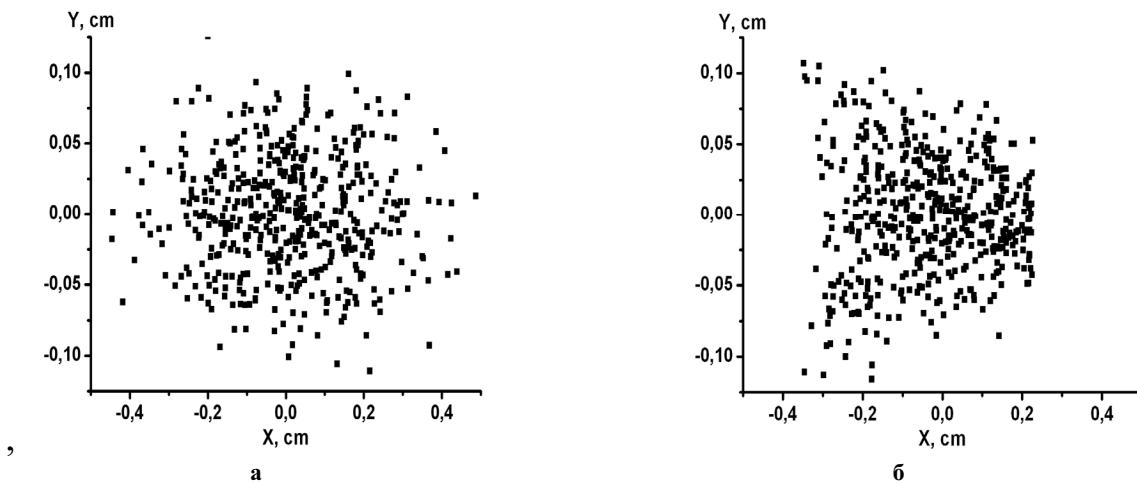


Рис. 9. Распределение частиц в точке F при настройке МОС соответствующей “большим” размерам пучка.
а - без учета нелинейности поля дипольных магнитов; б - с учетом нелинейности поля дипольных магнитов.

Результаты аппроксимации, представленные на рис. 11, позволяют сделать вывод, что при настройке МОС, соответствующей большим размерам пучка в точке вывода, влияние квадратичной нелинейности поля дипольных магнитов на форму и размеры пучка является определяющим.

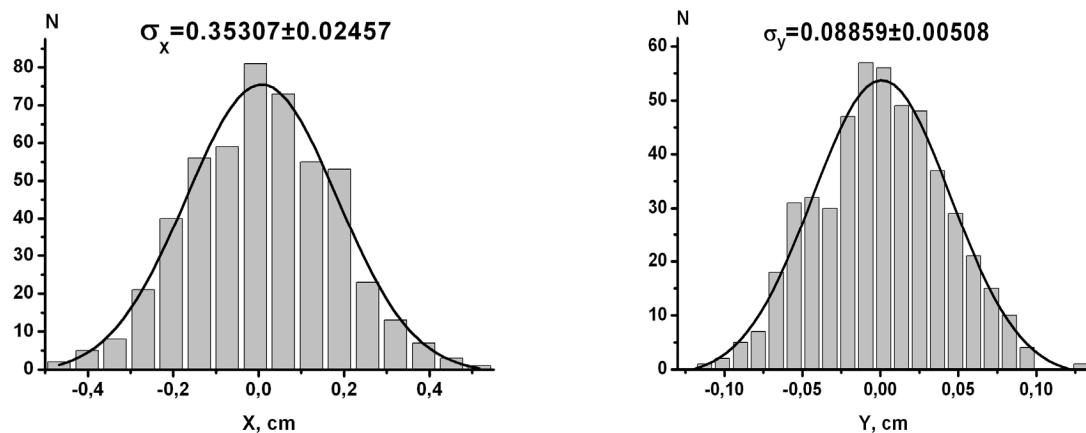


Рис. 10. Гистограммы горизонтального (X) и вертикального (Y) распределения частиц для случая, представленного на рис. 9а

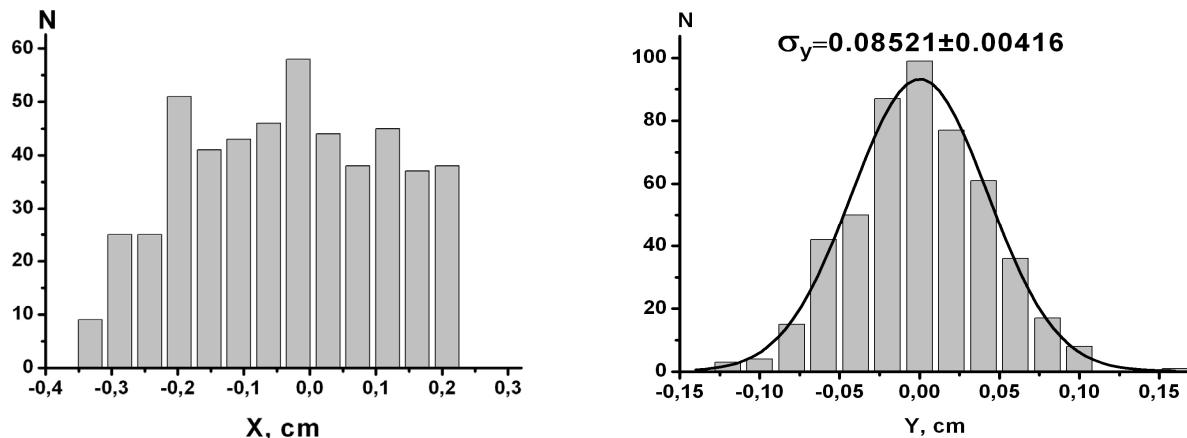


Рис. 11. Гистограммы горизонтального (X) и вертикального (Y) распределения частиц для случая, представленного на рис. 9б. Для распределения частиц по горизонтали удовлетворительной аппроксимации не получено.

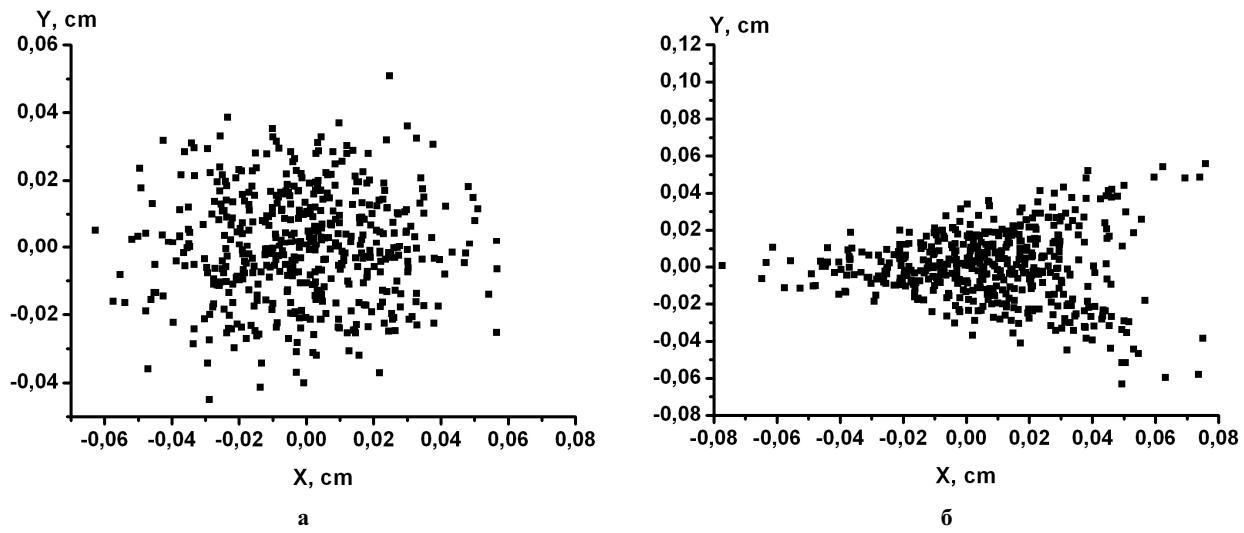


Рис. 12. Распределение частиц в точке F. при настройке МОС соответствующей “малым” размерам пучка
а - без учета нелинейности поля дипольных магнитов; б - с учетом нелинейности поля дипольных магнитов.

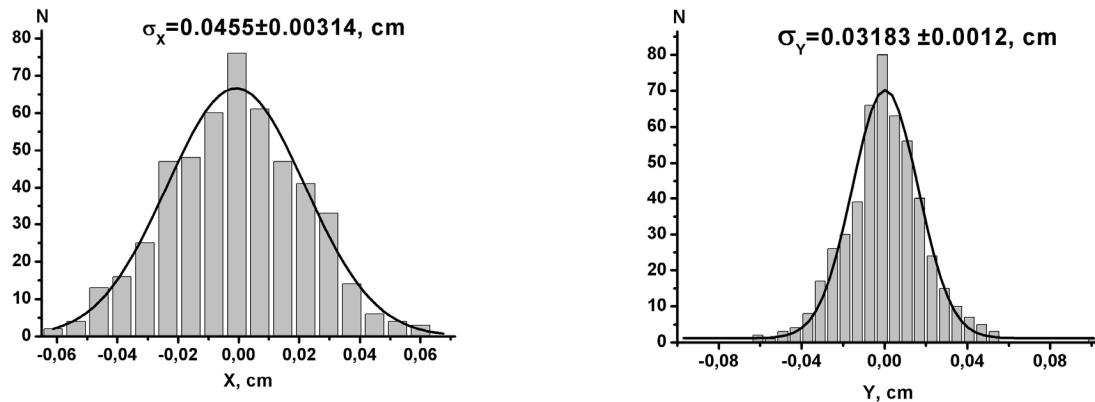


Рис. 13. Гистограммы горизонтального (X) и вертикального (Y) распределения частиц для случая, представленного на рис. 12а. Сплошная линия – аппроксимирующая кривая

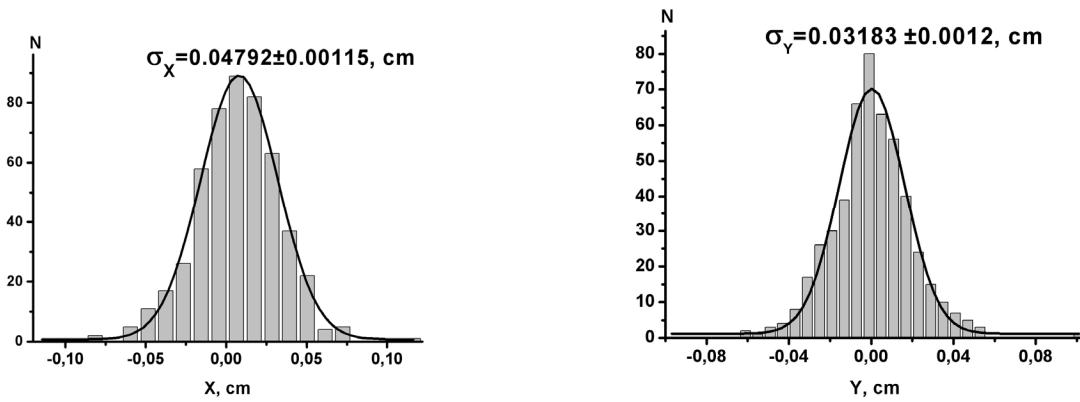


Рис. 14. Гистограммы горизонтального (X) и вертикального (Y) распределения частиц для случая, представленного на рис. 12б. Сплошная линия – аппроксимирующая кривая.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. По данным магнитных измерений магнитов EUTERPE оценены ожидаемые нелинейности магнитного поля в дипольных магнитах проекта SALO.
2. Методом численного моделирования динамики частиц с помощью программы TRANSPORT исследовано влияние ожидаемых реальных нелинейностей магнитного поля дипольных магнитов на величину огибающей пучка в установке SALO в зависимости от режима настройки МОС и порядка вычислений.

3. Исследовано влияние геометрической аберрации на размеры пучка в точке его вывода с максимальной энергией.

4. Методом расчета по траекториям (программа MAD-X) исследовано влияние ожидаемых нелинейностей магнитного поля в дипольных магнитах на вид распределения частиц в поперечном сечении в точке вывода пучка с максимальной энергией в зависимости от режима настройки МОС.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Качество изготовления дипольных магнитов на уровне магнитов EUTERPE может обеспечить необходимые параметры пучка в точке вывода.

2. Влияние нелинейности на огибающую пучка существенно зависит от режима настройки МОС. Установлено, что чем меньше огибающая для идеальной системы, тем меньше влияние на неё нелинейностей и тем меньше зависимость результата вычислений от их порядка (см. рис. 2 и рис. 3).

3. При одинаковых интегральных характеристиках (σ_x и σ_y) пучка, программа MAD-X по сравнению с программой TRANSPORT позволяет получать более подробную информацию о структуре пучка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boutman J.I.M., Boling Xi, Timmermans C.J., Hagedoorn H.L. The EUTERPE facility // Rev. Sci. Instrum.-1992.- Vol. 63(1).- P. 1569.
2. Arkatov Yu.M., Dovbnja A.N., Glamazdin A.V., Guk I.S., Kononenko S.G., M. van der Wiel, Botman J.I.M., Peev F.A., Tarasenko A.S. SALO project.- Kharkiv: National Science Center Kharkiv Institute of Physics and Technology, 2005.- 104 p.
3. Enge H.A. Effect of Extended Fringing Fields on Ion Focusing Properties of Deflecting Magnets // Rev. Sci. Instrum.-1964.- Vol. 35.-P. 278-287.
4. Мартиросян Ю.Л. Исследование эффектов краевых магнитных полей в накопительных кольцах// ЖТФ. – 2003.-Т. 73(10).- С. 113-115.
5. Буки А.Ю., Ганенко В.Б., Корчин А.Ю., Котляр В.В., Маслов Н.И., Трутень В.И., Фомин С.П., Шебеко А.В., Шевченко Н.Г., Шульга Н.Ф. Фундаментальные и прикладные исследования на линейном ускорителе рециркуляторе электронов с энергией 730 МэВ. Проект SALO. часть 1.- Харьков: ННЦ ХФТИ. -2006.- 116 с.
6. Brown K.L., Belbeoch R., Bounin P. First and second-order magnetic optics matrix equations for the midplane of uniform-field wedge magnets // Rev. Sci. Instrum.-1964.-Vol. 35.-P. 481-485.
7. Carey D.C., Brown K.L., Rothacker F. Third-order TRANSPORT with MAD input A computer program for designing charged particle beam transport systems // Preprint FERMILAB-Pub-98/310.
8. <http://project-madwindows.web.cern.ch/project-madwindows/default.htm>
9. Volkov V., Janssen D. RF focusing – an instrument for beam quality improvement in superconducting RF guns // Proc. of EPAC-2000.-2000. -Vienna, Austria.-P. 2005-2007.
10. Guk I.S., Dovbnja A.N., Kononenko S.G., Peev F.A., Tarasenko A.S., Botman J.I.M. Recirculator SALO project in NSC KIPT // Proc. of EPAC08.-2008.-Genoa, Italy.-P. 2710-2712.
11. Teichert J., Arnold A., Büchner A., Büttig H., Janssen D., Justus M., Lehnert U., Michel P., Murcek P., Schurig R., Staats G., Staufenbiel F., Xiang R., Kamps T., Klemz G., Matheisen A. First operation results of the superconducting photoinjector at ELBE // Proc. of EPAC08.-2008.-Genoa, Italy.-P. 2755-2757.