

УДК 621.384.63 : 517.518.8

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КВАДРУПОЛЬНЫХ ЛИНЗ ГЕНЕРАТОРА ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ “НЕСТОР”

А.О. Мыцыков, О.Д. Звонарёва, А.В. Резаев, А.М. Гвоздь

Национальный Научный Центр Харьковский физико-технический институт

ул. Академическая 1, Харьков, 61108, Украина

E-mail: ryezayev@kipt.kharkov.ua

В ННЦ ХФТИ в последнее время начаты работы по изготовлению магнитного оборудования для рентгеновского источника НЕСТОР. Изготовлены квадрупольные линзы накопительного кольца и исследованы их геометрические параметры. В работе приведены результаты моделирования гармонического состава магнитного поля изготовленных квадрупольных линз в сравнении с расчетными. Исследованы ошибки, возникающие при изготовлении квадрупольных линз. Изучено их влияние на характеристики магнитного поля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: циклический ускоритель, квадрупольная линза, квадрупольная симметрия, градиент магнитного поля, гармонический состав.

В ННЦ ХФТИ разработан и осуществляется проект генератора рентгеновского излучения на основе обратного комптоновского рассеяния лазерных фотонов на релятивистском электронном пучке с энергией электронов до 225 МэВ. При этом энергия комптоновских фотонов варьируется от 5 КэВ до 900 МэВ. Реализация данного проекта проходит при поддержке гранта НАТО “Наука за мир”.

Магнитная система генератора НЕСТОР [1] содержит 20 квадрупольных [2], 15 секступольных, 4 мультипольных и 4 дипольных магнита. Несмотря на наличие большого числа корректирующих элементов в структуре кольца, специфика магнитной структуры накопительного кольца НЕСТОР накладывает повышенные требования на точность изготовления и выстановки квадрупольных линз. Это связано с проблемами инжекции пучка в циклический ускоритель малых размеров и необходимостью получения малого размера электронного пучка в точке взаимодействия с лазерным пучком. В течение последних четырех лет в ННЦ ХФТИ, в рамках работы над проектом НЕСТОР, проведены работы по изготовлению магнито-оптических элементов. В настоящий момент готовы все 20 квадрупольных линз и поворотные магниты.

В данной работе представлены результаты измерений геометрических параметров изготовленных линз. С помощью программы Poisson [3] произведена оценка влияния различных типов геометрических отклонений формы полюсов магнитов от квадрупольной симметрии на гармонический состав магнитного поля этих элементов. Целью работы является исследование ошибок, возникающих при изготовлении квадрупольных линз и изучение их влияния на характеристики магнитного поля.

ПАРАМЕТРЫ ЛИНЗ

По проекту в структуре накопительного кольца предусмотрено наличие 3-х типов квадрупольных линз, параметры которых представлены в табл.1. В настоящий момент ярма всех линз изготовлены и прошли полный цикл обработки. На рис. 1 представлены ярма квадрупольных линз 1-го и 2-го типов, подготовленные для проведения измерения их геометрических параметров.

Таблица 1. Параметры линз

Параметр	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Радиус апертуры, мм	26	26	26
Градиент, Т/м	15-27	6-12	6-12
Габаритная длина/ эффективн. длина, мм	120/150	120/150	70/100
Габаритн. размеры, мм	575x575x120	360x360x120	360x360x70
Количество	8	8	4



Рис. 1. Квадрупольные линзы 1^{го} и 2^{го} типов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОЦЕНКА ПРОВЕДЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Процесс изготовления квадрупольных линз накопительного кольца НЕСТОР состоит из двух основных технологических операций:

- предварительная обработка деталей квадрупольной линзы;
- обработка апертуры квадрупольной линзы в сборе.

На первой стадии из подготовленных заготовок на специальном обрабатывающем комплексе «МАНУ» изготавливаются детали квадрупольной линзы. На второй стадии проводится обработка поверхностей полюсов уже собранной линзы на электроэрозионном станке. Точность изготовления на станке составляет 0,01 мм.

Для контроля параметров поля нами было выбрано 4 квадрупольных линзы в силу того, что все они были изготовлены на одном и том же оборудовании, по одной и той же методике. Это дает основания полагать, что все остальные линзы изготовлены с такой же точностью.

При обмере контролировалось 6 параметров (см. рис.2). Результаты обмеров приведены в табл. 2. В принципе, выбранный технологический процесс позволяет выдержать квадрупольную симметрию с точностью до нескольких сотых долей мм (линза 2, линза 4, см. табл.2). Однако, по производственным причинам, отклонение в геометрических размерах линзы 3 составляют порядка 0,1 мм.

Таблица 2. Результаты геометрических обмеров квадрупольных линз

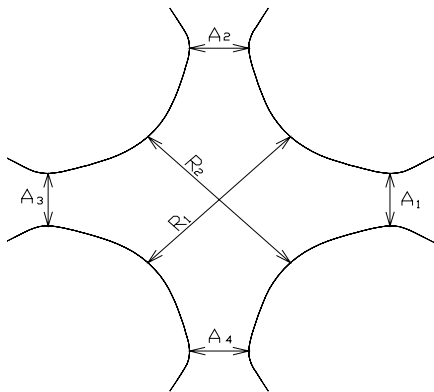


Рис. 2. Параметры для контроля геометрических размеров линзы.

	1 линза		2 линза		3 линза		4 линза	
	Передн. план	Задн. план	Передн. план	Задн. план	Передн. план	Задн. план	Передн. план	Задн. план
A ₁	16,86	16,90	15,84	15,87	16,00	15,98	16,46	16,18
A ₂	16,86	16,86	15,82	15,87	16,02	15,87	16,41	16,27
A ₃	16,89	16,78	15,83	15,87	16,00	15,86	16,41	16,20
A ₄	16,88	16,86	15,83	15,87	16,00	15,84	16,43	16,34
R ₁	53,51	53,51	52,51	52,51	52,65	52,52	53,06	52,87
R ₂	53,61	53,41	52,42	52,49	52,67	52,50	53,06	52,87

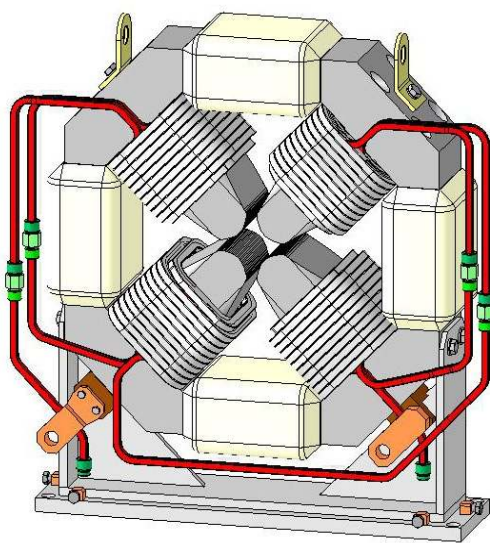


Рис. 3. Вид собранной квадрупольной линзы 1-го типа.

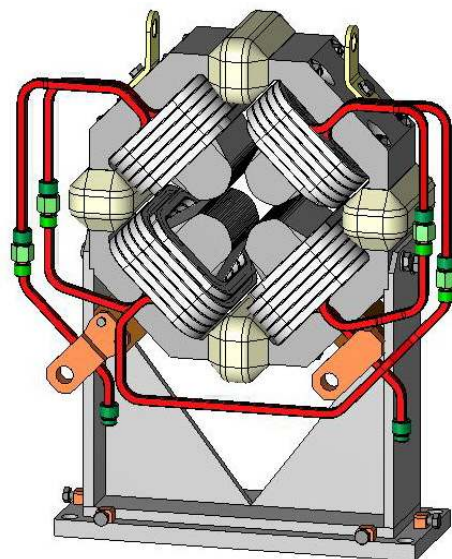


Рис. 4. Вид собранной квадрупольной линзы 2-го типа.

Табл. 3. Гармонический состав магнитного поля (тип смещения 1)

1	n	n(An)/r	n(Bn)/r	Abs(n(Cn)/r)
	1	-10,3	10,97	15,17
	2	5435	-12,02	5435
	3	-0,0258	-0,0318	0,0410
	4	-0,0721	-0,0712	0,1013
	5	0,2332	-0,1476	0,2760
	6	-10,092	1,4360	10,194
	7	-0,1183	-0,0313	0,1223
	8	0,0756	-0,0048	0,0758
	9	-0,0010	-0,0064	0,0065
	10	-0,3468	-0,2544	0,4301
	11	0,1194	0,0414	0,1264
	12	0,0069	-0,0837	0,0840
	13	-0,1137	0,0613	0,1291
	14	3,6203	-0,0290	3,6204

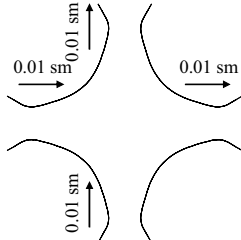


Табл. 5. Гармонический состав магнитного поля (тип смещения 3)

3	n	n(An)/r	n(Bn)/r	Abs(n(Cn)/r)
	1	-0,0259	7,2881	7,2882
	2	5420,8	-0,0069	5420,8
	3	0,0111	-11,467	11,467
	4	6,1870	-0,0268	6,1871
	5	0,0308	3,7786	3,7788
	6	-11,086	-0,0392	11,086
	7	-0,0677	0,3770	0,3831
	8	-0,3167	-0,0239	0,3176
	9	-0,0147	-0,4151	0,4154
	10	-0,2119	0,0024	0,2119
	11	0,1541	-0,0450	0,1606
	12	-0,0148	-0,0117	0,0189
	13	-0,0190	0,0038	0,0194
	14	3,5483	0,0232	3,5484

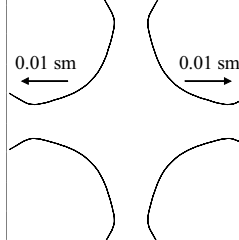


Табл. 4. Гармонический состав магнитного поля (тип смещения 2)

2	n	n(An)/r	n(Bn)/r	Abs(n(Cn)/r)
	1	-0,0168	0,0546	0,0572
	2	5406,0	-0,0069	5406,0
	3	0,0088	-0,0295	0,0308
	4	-0,0480	3,0790	3,0794
	5	0,0270	0,0077	0,0281
	6	-12,093	0,0030	12,093
	7	-0,0741	-0,0131	0,0752
	8	0,0872	-0,6465	0,6524
	9	-0,0241	-0,0155	0,0286
	10	-0,0494	0,0154	0,0518
	11	0,1530	-0,0082	0,1532
	12	-0,3084	0,1501	0,1549
	13	-0,0025	-0,0088	0,0091
	14	3,4338	-0,0521	3,4342

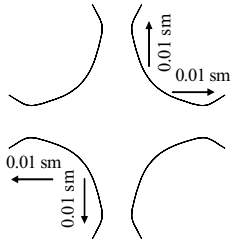


Табл. 6. Гармонический состав магнитного поля (тип смещения 4)

4	n	n(An)/r	n(Bn)/r	Abs(n(Cn)/r)
	1	-9,5599	0,33236	9,5656
	2	5434	-4,4112	5434
	3	-1,9707	-2,1239	2,8973
	4	2,6833	0,1395	2,6869
	5	0,4038	2,9265	2,9542
	6	-12,735	-0,2903	12,738
	7	1,9421	-1,8657	2,6930
	8	0,7734	2,3048	2,4311
	9	-2,5220	0,55288	2,5819
	10	1,1138	-1,9212	2,2207
	11	1,0108	1,8681	2,1241
	12	-1,8535	0,0386	1,8539
	13	0,6135	-1,5281	1,6467
	14	4,5933	1,1093	4,7254

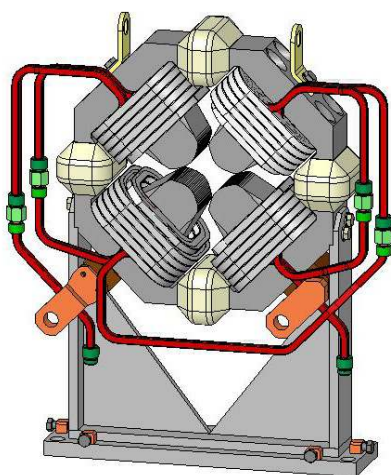
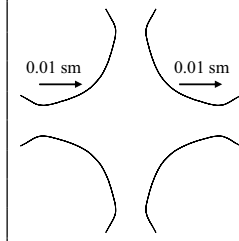


Рис. 5. Вид собранной линзы 3-го типа.

Для оценки влияния измеренных отклонений на параметры магнитного поля линз были проведены расчеты с помощью программы POISSON для различных типов отклонений от квадрупольной симметрии (табл. 3–6). При расчете использовалось значение тока возбуждения, которое близко к максимальному (6000 ампервитков).

С точки зрения динамики пучка в циклическом ускорителе самыми опасными, как правило, являются секступольная и октупольная гармоники (нормальная и повернутая). Поэтому приведенные гармоники, на данном этапе, нам приходится исследовать особенно тщательно.

Анализ приведенных результатов показывает, что максимальное отклонение поля от идеального, вызванное геометрическими отклонениями, не превышает 11Gs на полюсе для повернутой секступольной компоненты.

В абсолютных величинах это соответствует градиенту $1,3 \text{ T/m}^2$ или 23 ампервитка/полюс при радиусе апертуры 41мм (размер вакуумной камеры 80×30). Для октупольной компоненты нормальная составляющая не превышает $61,3 \text{ T/m}^3$, повернутая также – $61,3 \text{ T/m}^3$. Это соответствует 23 и 12 ампервитка/полюс в мультипольном корректоре, соответственно.

ВЫВОДЫ

После проведенных оценок можно сделать вывод о том, что ярма линз с лучшими геометрическими характеристиками нужно использовать в линзах, работающих в более напряженных режимах, а с худшими характеристиками – в линзах, работающих в менее напряженных режимах. Выявленные отклонения (секступольная и октупольная) могут быть скомпенсированы находящимися на кольце мультипольными корректорами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V.P. Androssov, E.V. Bulyak, A.N. Dovbnya et al. Progress in Development of Kharkov X-Ray Generator Nestor //Proc. of FEL'05, August, 2005, Stanford, USA. - P. 476-479.
2. A. Mytsykov Calculation Of Geometric Parameters Of A Magnetic Quadrupole Lens Working Near To Saturation // Problems of atomic science and technology. – 2000. - №2(36). - P. 76-79.
3. POISSON Group Programs.User's Guide, CERN, 1965.-352 p.
4. A.A. Kolomensky, A.N. Lebedev Theory of circular accelerators. Moscow: State publishing house of the physical and mathematical literature, 1962. - 352 p. (in Russian).

INFLUENCE OF MANUFACTURE ERRORSON A MAGNETIC FIELD OF QUADRUPOLE LENSES

A.O. Mytsykov, O.D. Zvonaryova, O.V. Ryezayev, A.M. Gvozd'
National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology"
1 Akademicheskaya St., Kharkov, UA-61108, Ukraine

The results of geometrical measurements and simulation of the first part of quadrupole lenses made for a X-ray source NESTOR, witch building is carried out in NSC KIPT with the support of grant NATO "Science for peace", are presented. The estimations of the errors which have arisen during manufacture are made. Their influence on characteristics of a magnetic field is investigated.

KEY WORDS: cyclical accelerators, quadrupole lens, quadrupole symmetry, magnetic field gradient, harmonic composition.