

P9-2001-86

**ИСТОЧНИК СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ В ОИЯИ**

Направлено в журнал «Атомная энергия»

Н.И.Балалыкин, П.Ф.Белошицкий, В.Г.Кадышевский, В.В.Кобец,
И.Н.Мешков, Н.А.Морозов, Г.И.Сидоров, А.Н.Сисакян, Е.М.Сырсин,
И.В.Титкова, Г.Д.Ширков, М.В.Юрков
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Е.И.Антохин, П.Д.Воблый, Г.Н.Кулипанов, Е.Б.Левичев, Н.А.Мезенцев,
А.Н.Скринский
ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск

В.Н.Колобанов, В.В.Михайлин
НИИЯФ МГУ, Москва

Г.Люкс, Р.Маас, Г. ван Мидделькоп, Я.Спелт
*Национальный институт ядерной физики и физики высоких энергий
(NIKHEF), Амстердам, Нидерланды*

1. Введение

За последние пять лет достигнуты значительные результаты в развитии источников СИ третьего поколения. Вступили в строй большие накопительные кольца APS (США) и SPRING-8 (Япония), в стадии запуска накопитель SLS (Швейцария). В накопительном кольце ESRF (European Synchrotron Radiation Facility, Гренобль, Франция) увеличена яркость синхротронного излучения с 10^{18} до 10^{20} фотон/(с·мм²·мрад²·0.1%ш.п.). Столь высокая яркость достигается благодаря использованию ондуляторов, встроенных в накопительном кольце. В диапазоне энергий электронов от 0,5 ГэВ до 3 ГэВ яркость СИ из поворотных магнитов составляет $2 \cdot 10^{12} + 5 \cdot 10^{15}$ фотон/(с·мм²·мрад²·0.1%ш.п.), из ондулятора – $3 \cdot 10^{18}$ фотон/(с·мм²·мрад²·0.1% ш.п.), из вигглера (для различных источников) варьируется в диапазоне $3 \cdot 10^{12} + 1,5 \cdot 10^{16}$ фотон/(с·мм²·мрад²·0.1% ш.п.). Размер электронного пучка в современных источниках СИ близок к дифракционному пределу, при достижении которого уменьшение размера источника уже не повышает его яркость.

Источник СИ ДЭЛСИ создается на базе ускорительного комплекса Национального института ядерной физики и физики высоких энергий NIKHEF (Амстердам, Голландия), который по соглашению между NIKHEF и ОИЯИ в 1999 г. был демонтирован и затем передан в Дубну. Ускорительный комплекс NIKHEF включает в себя электронный линейный ускоритель MEA (Medium Energy Accelerator) на энергию электронов 700 МэВ и накопительное кольцо AmPS (Amsterdam Pulse Stretcher) с максимальной энергией электронов 900 МэВ при токе накопленного пучка 200 мА. В проекте ДЭЛСИ линейный ускоритель MEA планируется использовать в режиме накопления электронов, но при этом число ускоряющих секций будет увеличено с 23 до 25 и будет форсирован режим работы ВЧ-генераторов. В результате можно будет поднять энергию электронов до 800 МэВ.

Накопитель электронов ДЭЛСИ (таблица 1) планируется создать с использованием элементов кольца AmPS, изменив его оптику. Кольцо будет дополнено ондулятором с высокой яркостью и сверхпроводящим вигглером,

генерирующим жесткое рентгеновское излучение. Предполагается увеличить энергию электронов в ДЭЛСИ, доведя ее до 1,2 ГэВ путем модификации дипольных магнитов AmPS. На накопительном кольце планируется установить две ВЧ-станции, одна из которых будет работать на частоте 476 МГц, а другая на частоте линейного ускорителя – 2856 МГц, что позволит получать короткие электронные сгустки (2,5 мм) для временной модуляции интенсивности СИ в широком диапазоне времен. Одним из возможных направлений дальнейшего развития комплекса может быть использование электронного пучка МЕА для лазеров на свободных электронах.

Таблица 1. Основные параметры накопительного кольца ДЭЛСИ без влияния встроенных устройств

Периметр, м	136,04
Радиус кривизны траектории в поворотных магнитах, м	3,3
Частоты бетатронных колебаний (гор./верт.)	9,44/3,42
Коэффициент расширения орбиты	$5,03 \cdot 10^{-3}$
Хроматичность (гор./верт.)	-22,2/-12,6
Ток накопленных электронов, мА	300
Горизонтальный эмиттанс, нм	11,4
Частота ускоряющего напряжения, МГц	476
Равновесная длина электронного сгустка, мм	8,67
Номер гармоники	216
Потери на излучение за оборот в поворотных магнитах, кэВ	55,7

2. Синхротронное излучение из поворотных магнитов и встроенных устройств накопительного кольца ДЭЛСИ

Параметры СИ из поворотных магнитов ДЭЛСИ (таблица 2, рис.1) позволяют реализовать широкую программу исследований по атомной фотоэлектронной спектроскопии, люминесценции в области вакуумного ультрафиолетового

излучения, по физике рентгенолюминофоров и сцинтилляторов, флуоресцентной спектроскопии биологических объектов с высоким временным разрешением в области мягкого рентгеновского излучения. Для этого планируется создать 8 каналов СИ. Будет создан метрологический канал для фотометрических измерений детекторов и дозиметров, применяемых во многих областях науки и техники, в том числе в космических исследованиях.

Таблица 2. Параметры СИ из поворотных магнитов ДЭЛСИ

Энергия электронов, ГэВ	1,8	1,2	1	0,8
Ток пучка, мА	300			
Эмиттанс (гор./верт.), нм	25/0,25	11,43/0,114	7,72/0,08	4,94/0,05
Соотношение бета-функций в точке излучения, м	1,618/8,288			
Критическая энергия фотонов, кэВ	6,46	1,16	0,80	0,51
Критическая длина волны, Å	1,92	10,68	15,38	24,03
Полная мощность, кВт	139,4	16,69	9,66	4,94
Угловая плотность мощности, Вт/мрад	22,18	2,66	1,54	0,79
Поток фотонов, фотон/(с·мрад·0.1% ш.п.)	$8,65 \cdot 10^{12}$	$5,77 \cdot 10^{12}$	$4,81 \cdot 10^{12}$	$2,53 \cdot 10^{12}$
Максимальная яркость, фотон/(с·мм ² ·мрад ² ·0.1% ш.п.)	$3,3 \cdot 10^{14}$			

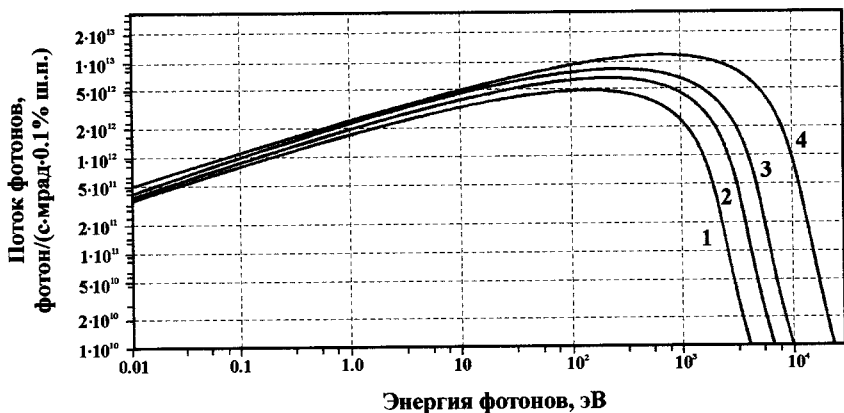


Рис.1. Поток фотонов синхротронного излучения из поворотных магнитов ДЭЛСИ: 1 – энергия электронного пучка 0,8 ГэВ, 2 – энергия 1 ГэВ, 3 – энергия 1,2 ГэВ, 4 – энергия 1,8 ГэВ

Спектр излучения из вигглера аналогичен спектру излучения из поворотного магнита, однако энергия фотонов здесь существенно выше (пропорционально величине магнитного поля). Использование сверхпроводящего трехполюсного вигглера («шифтера») с напряженностью магнитного поля 10 Тл на накопительном кольце ДЭЛСИ обеспечит генерацию жесткого рентгеновского излучения (таблица 3, рис.2).

Таблица 3. Параметры СИ из вигглера (энергия электронного пучка 1,2 ГэВ)

Критическая энергия фотонов, кэВ	9,58
Критическая длина волны, Å	1,30
Полная мощность, кВт	12,32
Плотность мощности, Вт/мм ²	639
Поток фотонов, фотон/(с·мрад·0.1% ш.п.)	$1.73 \cdot 10^{13}$
Плотность потока, фотон/(с·мрад ² ·0.1% ш.п.)	$2.5 \cdot 10^{13}$
Максимальная яркость, фотон/(с·мм ² ·мрад ² ·0.1% ш.п.)	$5.3 \cdot 10^{14}$
Параметр ондуляторности	280,3

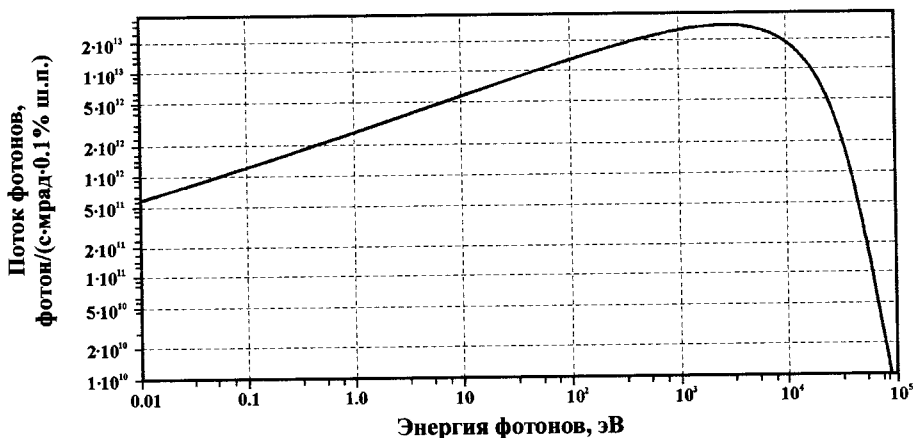


Рис.2. Поток фотонов из вигглера комплекса ДЭЛСИ

Будет создано 6 каналов для работы с жестким рентгеновским излучением из вигглера ДЭЛСИ. Оно будет использовано для структурных исследований биологических объектов с временным разрешением, для рентгеновской микроскопии для исследований ВУФ-люминесцентных кристаллов, для получения ВУФ-генерации твердотельных лазеров при накачке СИ, для исследований в области мессбауэровской спектроскопии с временным разрешением, EXAFS-спектроскопии, кристаллографии.

Особенность излучения из ондулятора – его линейная поляризованность для заданной частоты излучения. Максимум мощности излучения достигается на первой гармонике, все четные гармоники – подавлены. Изменяя зазор в ондуляторе или параметр ондуляторности, можно изменять величину потока СИ (рис.3, таблица 4).

Таблица 4. Параметры СИ из ондулятора ДЭЛСИ

Энергия электронов, ГэВ	1,2
Зазор ондулятора, мм	5
Критическая энергия фотонов, кэВ	0,64
Критическая длина волны, Å	19,4
Поток фотонов, фот/(с·0.1% ш.п.)	$3,2 \cdot 10^{15}$
Плотность потока, фот/(с·мм ² ·0.1% ш.п.)	$6,3 \cdot 10^{17}$
Максимальная яркость, фот/(с·мм ² ·мрад ² ·0.1% ш.п.)	$1,97 \cdot 10^{19}$

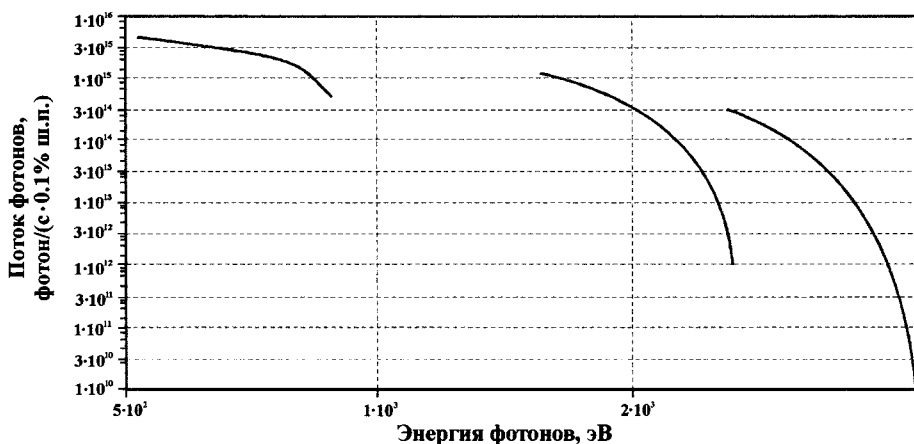


Рис.3. Зависимость потока фотонов (1-я, 3-я, 5-я гармоники) от энергии фотонов (изменяется при перестройке величины зазора ондулятора в интервале от 4 до 10 мм)

На первом этапе планируется создание двух каналов для работы с излучением из ондулятора ДЭЛСИ. Излучение можно использовать для исследований в области метрологии и фотометрии, кристаллографии, рентгеновской голографии, для накачки твердотельных ВУФ-лазеров.

3. Накопительное кольцо ДЭЛСИ

3.1. Структура и основные параметры

Магнитная структура ДЭЛСИ разработана исходя из следующих общих требований:

- 1) использование магнитных элементов накопительного кольца AmPS;
- 2) достижение минимального эмиттанса при динамической апертуре, обеспечивающей эффективную инжекцию и достаточно высокое время жизни накопленных электронов;
- 3) обеспечение максимальной яркости СИ из встроенных устройств.

Для накопительного кольца ДЭЛСИ выбрана структура с 4 прямолинейными промежутками [2], каждый квадрант включает в себя согласующую ячейку, два элемента периодичности и вторую согласующую ячейку.

Для ДЭЛСИ была выбрана симметричная структура из четырех квадрантов (рис.4). В качестве базового выбран вариант, в котором квадрант состоит из элемента периодичности, согласующей ячейки, прямолинейного промежутка для встроенных устройств, согласующей ячейки и элемента периодичности. Квадрант является ахроматом. Набеги фаз бетатронных колебаний в элементе периодичности равны $\mu_x=0,43 \cdot 2\pi$, $\mu_y=0,15 \cdot 2\pi$. Набег фазы по горизонтали определяется условием минимизации эмиттанса. Набег фазы по вертикали для обеспечения малой хроматичности должен быть сравнительно небольшим. Для коррекции хроматичности используются два семейства секступольных линз.

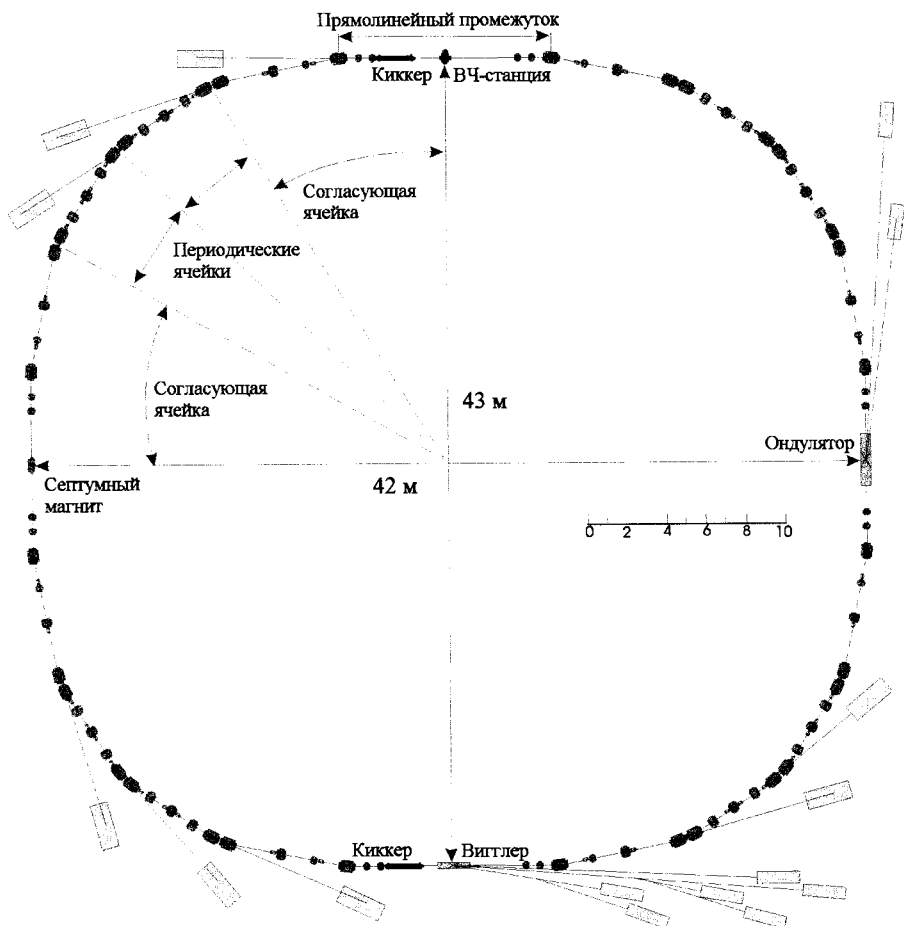


Рис.4. Накопительное кольцо комплекса ДЭЛСИ

Один из двух «длинных» прямолинейных проежеутков (длина 7,2 м) планируется использовать для вигглера и инжекционного киккера, другой - для ВЧ-резонаторов и второго киккера. В одном из «коротких» прямолинейных проежеутков (длина 5,52 м) будет размещен ондулятор, в другом – септумный магнит. Для оптимизации СИ из вигглера, а также для минимизации возмущений, вносимых включенным вигглером, горизонтальная и вертикальная бета-функции

в центре прямолинейного промежутка для вигглера выбраны достаточно малы: $\beta_x=1,05$ м и $\beta_y=2,80$ м (рис.5).

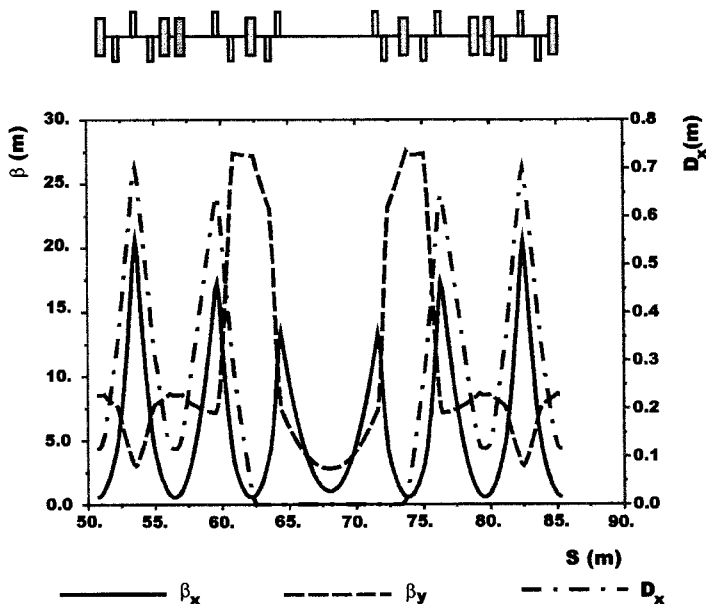


Рис.5. Структурные функции квадранта кольца с прямолинейным промежутком для вигглера

Для достижения большого времени жизни пучка нужно минимизировать влияние рассеяния на атомах остаточного газа. Для этого вертикальная бета-функция в центре прямолинейного промежутка, содержащего ондулятор, должна быть мала. В накопителе ДЭЛСИ значения бета-функций в центре прямолинейного промежутка с ондулятором выбраны равными $\beta_x=14,55$ м и $\beta_y=0,98$ м (рис.6).

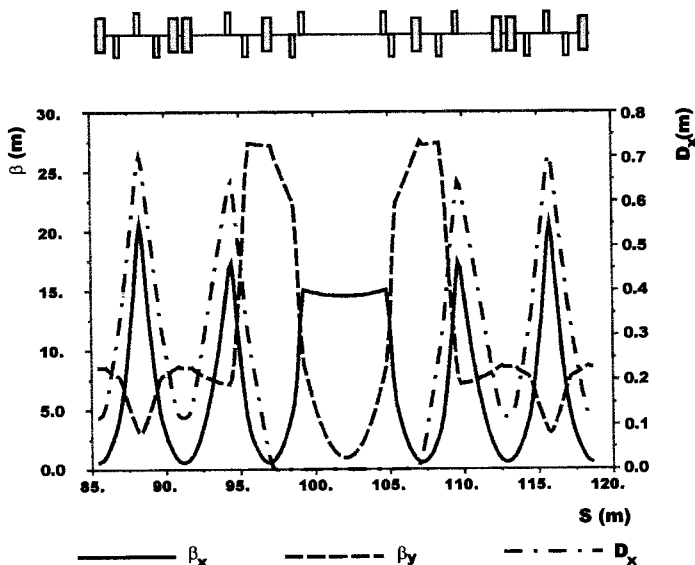


Рис.6. Структурные функции квадранта кольца с прямолинейным промежутком для ондулятора

«Короткий» прямолинейный промежуток, идентичный ондуляторному, содержит устройства для инжекции. Замкнутая орбита с циркулирующим пучком подводится к септуму с помощью двух кикеров, расположенных в противоположных прямолинейных промежутках (рис.4) и разделенных по фазе бетатронных колебаний на 9π .

3.2. Влияние встроенных устройств на линейную оптику

Для расчета влияния вигглера на оптику накопителя были использованы результаты магнитных измерений поля трехполюсного вигглера с полем 10 Тл в центральной части, разработанного в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН [3]. Для уменьшения влияния вигглера на магнитную структуру «восстановление» оптики проводилось в два этапа. Сначала путем вариации сил в дублете промежутка с вигглером обеспечивалось выполнение условия $\alpha_x = \alpha_y = 0$ в центре вигглера. При этом в остальной части кольца бета-функции оставались такими же, как и в случае

выключенного вигглера, но частоты бетатронных колебаний Q_x , Q_y изменились вследствие изменения бета-функций в промежутке с вигглером. Затем производилась коррекция частот бетатронных колебаний с одновременной минимизацией биения бета-функций по всему ускорителю. При этом варьировались силы всех семейств квадрупольей. В результате изменение бета-функций для структуры с включенным вигглером составило 7%, эмиттанс электронного пучка возрос от 11,4 до 21,3 нм. Окончательный вид структурных функций квадранта с включенным вигглером представлен на рис.7.

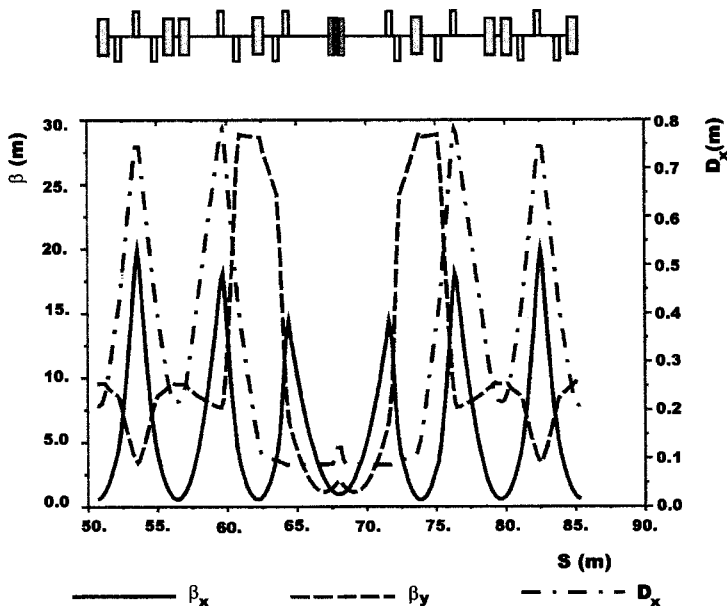


Рис.7. Структурные функции квадранта кольца с включенным вигглером

Такая же процедура была применена при расчете влияния ондулятора (0,75 Тл, 150 периодов, длина периода 2,25 см). Его влияние оказалось заметно слабее: биения бета-функций составляют менее 1%, эмиттанс пучка уменьшился до 11,14 нм.

3.3. Динамическая апертура

Для обеспечения эффективной инжекции при энергии 0,8 ГэВ необходимо иметь динамическую апертуру по горизонтали больше $31\sigma_x$, поскольку предполагается использовать септум AmPS с толщиной ножа 3 мм. При энергии 1,2 ГэВ динамическая апертура должна быть больше чем $21\sigma_x$ для частиц с нулевым отклонением импульса. Расчеты с использованием программы MAD [4] (Lie3, 400 оборотов) показали, что для структуры с выключенным вигглером и ондулятором без учета ошибок и при нулевом отклонении импульса динамическая апертура составляет $99\sigma_x$ и $87\sigma_y$, при энергии 1,2 ГэВ (рис.8). Для частиц с отклонением по импульсу $\Delta p=+1\%$ расчетная динамическая апертура уменьшается до $71\sigma_x$ и $81\sigma_y$, для частиц с отклонением по импульсу $\Delta p=-1\%$ – до $70\sigma_x$ и $79\sigma_y$, соответственно.

При включенном вигглере динамическая апертура уменьшается до $64\sigma_x$ и $86\sigma_y$, при включенном ондуляторе – до $70\sigma_x$ и $78\sigma_y$ (рис.8). В обоих случаях динамическая апертура достаточна для удовлетворительного времени жизни. Возможный путь увеличения динамической апертуры – установка дополнительных семейств секступолей в промежутках с нулевой дисперсией.

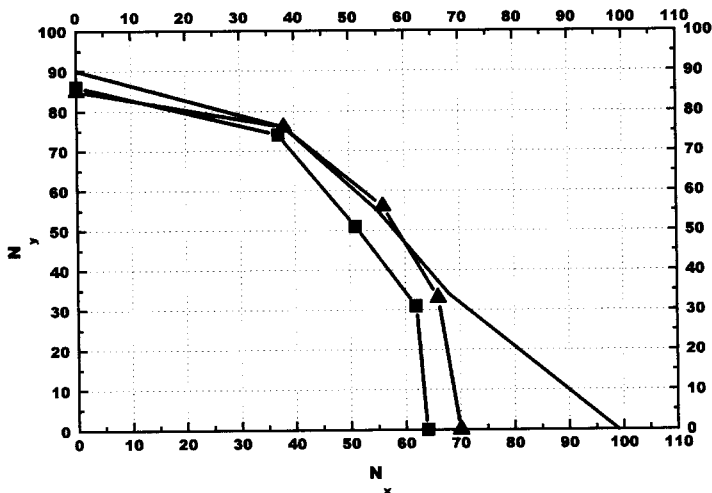


Рис.8. Динамическая апертура (без учета ошибок), выраженная в стандартных отклонениях, для структуры без встроенных устройств (сплошная линия), для структуры с включенным вигглером (квадрат) и для структуры с включенным ондулятором (треугольник)

3.4. Коррекция замкнутой орбиты

Основными источниками ошибок замкнутой орбиты для горизонтальной плоскости накопительного кольца ДЭЛСИ являются ошибки поля в дипольных магнитах (нестабильность источников питания) и смещение квадрупольных линз по горизонтали, для вертикальной плоскости – смещение квадрупольных линз по вертикали и поворот дипольных магнитов вокруг продольной оси. Ошибки в элементах структуры задавались случайным образом, значения среднеквадратичных отклонений составляли: смещение квадрупольных линз 200 мкм, поворот дипольных магнитов вокруг продольной оси 1 мрад, допуск на магнитное поле в дипольных магнитах – $5 \cdot 10^{-4}$.

Для коррекции замкнутой орбиты было предложено две схемы. В первой схеме использовались 40 корректоров для горизонтальной плоскости (3 для

согласующих ячеек и 2 для периодических) и 32 корректора для вертикальной плоскости (по 2 корректора в согласующих и периодических ячейках). Для второй схемы коррекции использовались по 32 корректора для обеих плоскостей (по 2 в согласующих и периодических ячейках). Обе схем коррекции имели 48 датчиков положения пучка (по 3 в согласующих и периодических ячейках).

Орбита рассчитывалась с выключенной и включенной системой коррекции при энергии электронного пучка 1,2 ГэВ. Было рассчитано 50 вариантов набора ошибок. Максимальное отклонение орбиты при выключенной системе коррекции составило в одном из вариантов 15 мм для горизонтальной плоскости и 26 мм – для вертикальной. В одном из 50 вариантов синхротрон оказался неустойчивым из-за суммового резонанса связи.

При включенной системе коррекции максимальное отклонение орбиты составило для горизонтальной плоскости 1,8 мм в первой схеме коррекции (40 корректоров) и 3 мм во второй (32 корректора), для вертикальной плоскости – 0,99 мм. Максимальная сила корректоров 0,84 мрад в первой схеме коррекции и 0,74 мрад во второй, что соответствует силе имеющихся корректоров. Эмиттанс пучка меняется незначительно.

Динамическая апертура при включенной системе коррекции была рассчитана для двух наборов ошибок. В первом из них возникает максимальное по всем 50 вариантам отклонение орбиты, во втором – типовое (среднее по вариантам) отклонение орбиты. Динамическая апертура для этих двух наборов составила $67\sigma_x$, $91\sigma_y$ и $70\sigma_x$, $88\sigma_y$, соответственно, для первой схемы коррекции (40 корректоров для горизонтальной плоскости и 32 – для вертикальной) и $58\sigma_x$, $100\sigma_y$ и $64\sigma_x$, $95\sigma_y$ – для второй схемы коррекции (по 32 корректора для обеих плоскостей). Таким образом, даже при плохой комбинации ошибок динамическая апертура в месте расположения септума составляет 24 мм, что вполне достаточно для организации эффективной инжекции.

При включенном вигглере динамическая апертура составила $62\sigma_x$, $87\sigma_y$ для структуры с набором ошибок, дающим максимальное по 50 вариантам отклонение орбиты (рис.9).

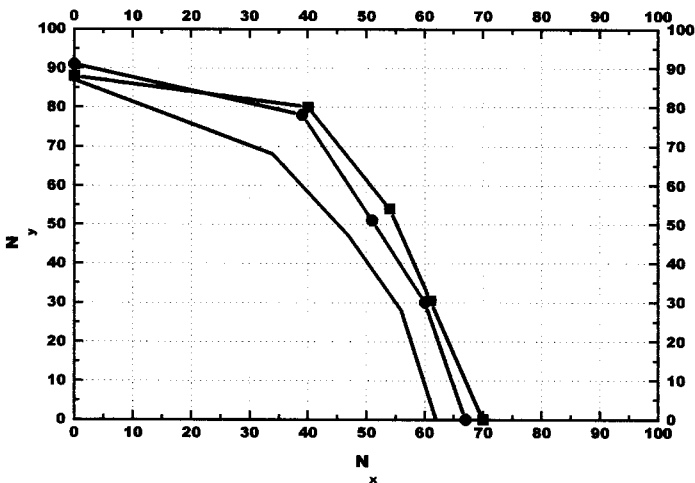


Рис.9. Динамическая апертура с учетом ошибок, выраженная в стандартных отклонениях (40 корректоров для горизонтальной плоскости, 32 – для вертикальной): структура с максимальным отклонением орбиты (круг), структура со средним отклонением орбиты (квадрат), структура с максимальным отклонением орбиты и включенным вигглером (сплошная линия).

4. Перспективы развития комплекса ДЭЛСИ

4.1. Увеличение магнитной жесткости кольца

Преимуществом выбранной магнитной структуры является возможность дальнейшей модернизации накопительного кольца с целью увеличения энергии и жесткости СИ. Для этого предполагается в каждом квадранте восемь регулярных поворотных магнитов заменить на специальные, которые выполнены по технологии, разработанной в ИЯФ им.Г.И.Будкера СО РАН. Эти специальные магниты имеют концентраторы поля на постоянных магнитах, что дает увеличение магнитного поля в зазоре до 3-4 Тл без использования сверхпроводимости. Использование таких магнитов позволит поднять энергию

ускорителя до 1,8 ГэВ и сдвинуть максимум спектра СИ из поворотных магнитов в область энергии фотонов порядка 6 кэВ (см. табл.2, рис.1).

Другой возможностью развития комплекса является создание семейства лазеров на свободных электронах.

4.2. Перспективы ДЭЛСИ как источника СИ 4-го поколения

Линейный ускоритель ДЭЛСИ способен ускорять электроны до энергии 800 МэВ при средней мощности пучка в десятки киловатт, что делает возможным создание уникального комплекса ЛСЭ, перекрывающего диапазон волн от дальнего инфракрасного до мягкого рентгеновского диапазона (рис. 10). Излучение с длиной волны 0.2-100 микрон будут генерировать ЛСЭ (ондулятор с оптическим резонатором), расположенные непосредственно в тоннеле ускорителя. Указанный диапазон может быть перекрыт тремя ЛСЭ-генераторами, пиковая мощность выходного излучения которых составит величину порядка нескольких мегаватт при средней мощности в несколько ватт [5]. Технические характеристики оборудования близки к характеристикам комплекса ЛСЭ, построенного в исследовательском центре FELI (Осака, Япония) [6]. Важно отметить, что использование существующих помещений здания линейного ускорителя позволит максимально быстро ввести в строй лаборатории пользователей излучения.

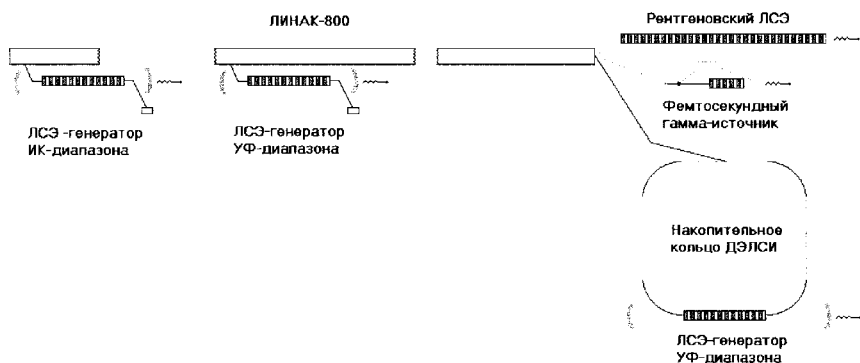


Рис.10. ЛСЭ на комплексе ДЭЛСИ.

Генерация коротковолнового когерентного излучения будет возможна при однократном прохождении электронного пучка линейного ускорителя ДЭЛСИ через длинный ондулятор. Отсутствие зеркал позволит получать излучение любой длины волны, вплоть до рентгеновского [7]. Такая схема получила название SASE FEL (self amplified spontaneous emission free electron laser). Близкая по параметрам установка строится в настоящее время в DESY (Гамбург, ФРГ) [8, 9]. Оценки показывают, что при энергии электронного пучка 1 ГэВ минимальная длина волны в комплексе ДЭЛСИ составит около 5 нм. Перестройка энергии линейного ускорителя позволит плавно перекрыть диапазон длин волн от 5 до 200 нм. Пиковая мощность излучения составит величину порядка 2 – 3 гигаватт при средней мощности в несколько Вт. По сравнению с источником СИ 3-го поколения, пиковая яркость излучения возрастет на 7 порядков.

В дальнейшем энергия линейного ускорителя ДЭЛСИ может быть увеличена до 2 ГэВ при соответствующей модификации системы СВЧ-питания. В результате минимальная длина волны может быть доведена до 1 нм [5].

Проведенные оценки показывают, что оборудование ДЭЛСИ может быть модифицировано с целью расширения возможностей ДЭЛСИ как источника СИ 4-го поколения в диапазоне длин волн от дальнего инфракрасного диапазона до 1 – 5 нм. В основном модификация будет связана с установкой ондуляторов и сильноточных инжекторов линейного ускорителя. Для комплекса ЛСЭ-генераторов требования к параметрам пучка сравнительно мягкие: пиковый ток в сгустке должен составлять порядка нескольких десятков ампер при нормализованном эмиттансе 20 – 30 мм·рад. Реализация такого инжектора может быть осуществлена либо с применением техники субгармонических СВЧ-группирователей, либо с установкой СВЧ-пушки с фотокатодом. Для генерации коротких длин волн в однопроходном ЛСЭ-усилителе требуется большой пиковый ток, что достигается дополнительной установкой дисперсионных секций (банч-компрессоров) в ускорительном тракте.

Необходимо отметить, что вышеупомянутые приемы увеличения величины пикового тока уже успешно реализованы на практике.

5. Заключение

На основе элементов ускорительного комплекса НИКНЕФ представляется возможным создать в ОИЯИ источник синхротронного излучения третьего поколения ДЭЛСИ, что существенно расширит программу научных исследований Института.

Магнитная структура, разработанная для накопителя ДЭЛСИ на основе элементов AmPS, позволяет установить вигглер с магнитным полем 10 Тл и ондулятор. Динамическая апертура достаточна для эффективной инжекции и достижения необходимого значения времени жизни. Система коррекции замкнутой орбиты позволяет использовать существующие дипольные корректоры.

Реализация программы создания лазеров на свободных электронах позволит создать универсальный лазерный центр, не имеющий аналогов в мире по диапазону плавной перестройки длины волны излучения, от далекого инфракрасного до мягкого рентгеновского. Использование излучения ЛСЭ, синхронизованного с импульсами синхротронного излучения из накопителя ДЭЛСИ, позволит также значительно расширить спектр исследований по СИ.

Литература

1. I.V.Titkova, V.A.Arkipov, V.K.Antropov, et al. Project of the Dubna Electron Synchrotron. – Proc. of EPAC'2000, 25-30 June, 2000, Vienna, Austria, p.702-705.
2. I.V.Titkova, P.F.Beloshitsky, I.N.Meshkov, et al. Magnet Lattice of the Synchrotron Radiation Source DELSY. – Proc. of EPAC'2000, 25-30 June, 2000, Vienna, Austria, p.708-710.
3. Н.А.Мезенцев, частное сообщение.
4. The MAD Program, Version 8.19, CERN/SL/90-13(AP) (Rev.5).
5. I.N.Meshkov, E.M.Syresin, M.V.Yurkov et al. Perspective of DELSY for the fourth generation SR facility. – Proc. of EPAC'2000, 25-30 June, 2000, Vienna, Austria, p.660-662.

6. T.Tomimasu, K.Saeki, Y.Miyauchi et al. The FELI FEL facilities – challenges at simultaneous FEL beam sharing systems and UV-range FELs. – NIM A375 (1996) 626.
7. Ya.S.Derbenev, A.M.Kondratenko and E.L.Saldin. On the Possibility of Using a Free Electron Laser for Polarization of Electrons in Storage Rings. – NIM 193 (1982) 415.
8. «A VUV Free Electron Laser at the TESLA Test Facility: Conceptual Design Report», DESY Print TESLA-FEL 95-03, Hamburg, DESY, 1995.
9. J.Rossbach. A VUV Free electron Laser at the TESLA Test Facility at DESY. – NIM A375 (1996) 269.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 апреля 2001 года.

Ускорительный комплекс ДЭЛСИ (дубненский электронный синхротрон) планируется создать в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна) как источник синхротронного излучения (СИ) высокой яркости в широком спектральном диапазоне — от далекого инфракрасного ($\lambda \approx 100$ мкм) до жесткого рентгеновского излучения ($\epsilon_{\omega} \approx 50$ кэВ). Источник ДЭЛСИ даст возможность расширить существующие в ОИЯИ исследования по физике конденсированных сред и атомной физике, биологии, кристаллографии и рентгеновской спектроскопии. Пользователи получают уникальную возможность работы в области метрологии.

Комплекс ДЭЛСИ включает в себя линейный ускоритель электронов и накопительное кольцо, в которое встроены сильнополевой вигглер и ондулятор. Линейный ускоритель электронов предполагается использовать для инъекции, а также для создания комплекса лазеров на свободных электронах (ЛСЭ).

Рассматриваются параметры СИ из поворотных магнитов и встроенных устройств комплекса ДЭЛСИ, магнитная структура кольца при выключенных виглере и ондуляторе, влияние встроенных устройств на оптику кольца, а также влияние ошибок на замкнутую орбиту. Кратко описываются параметры излучения ЛСЭ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

Перевод авторов

The DELSY (Dubna Electron Synchrotron) project is intended to create at the Joint Institute for Nuclear Research a synchrotron radiation (SR) source with high brilliance in a wide spectral range from far infrared ($\lambda \approx 100$ mkm) to hard X-ray radiation ($\epsilon_{\omega} \approx 50$ keV). It allows one to extend ongoing investigations on condensed matter physics and atomic physics, biology, and spectroscopy. Users will have a possibility to work in metrology.

DELSY consists of linac and a storage ring. The linac is planned to be used for injection and for the complex of free electron lasers (FEL).

In this paper the parameters of the synchrotron radiation from the bending magnets and insertion devices are presented. The lattice of the storage ring, the influence of the very strong wiggler and undulator on the optics, the influence of the errors on the closed orbit are considered. A brief description of the parameters of FEL radiation is presented.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2001

Редактор М.И.Зарубина. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 25.05.2001
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 1,98
Тираж 310. Заказ 52671. Цена 2 р. 38 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области