

## ТЕХНИКА УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

УДК 539.172

### Ускорительно-накопительный комплекс для фундаментальных и прикладных исследований с использованием пучков синхротронного излучения и квазинепрерывного пучка электронов

*В.П.Андросов, Е.В.Буляк, П.И.Гладких, В.М.Деняк, А.Н.Довбня, А.Ю.Зелинский, И.М.Карнаухов, В.П.Козин, С.Г.Конonenко, В.И.Лапшин, В.В.Марков, Н.И.Мочешников, А.О.Мыцыков, Ф.А.Пеев, П.В.Сорокин, А.С.Тарасенко, Ю.Н.Телегин, А.А.Щербаков*

*ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, г. Харьков*

#### 1. ВВЕДЕНИЕ

Сооружение накопительного кольца на выходе существующего в ННЦ ХФТИ линейного ускорителя электронов ЛУЭ-2000 и создание многоцелевого ускорительно-накопительного комплекса (УНК) позволит получать пучки синхротронного излучения (СИ) и квазинепрерывные пучки электронов для фундаментальных и прикладных исследований.

СИ, генерируемое электронами или позитронами высокой энергии, имеет уникальные свойства:

- очень высокая интенсивность и хорошая естественная коллимация, обеспечивающие яркость излучения на много порядков выше, чем традиционные источники;
- непрерывный спектр излучения - от инфракрасного до жесткого рентгеновского;
- высокая степень поляризации излучения в плоскости орбиты частиц;
- импульсная временная структура излучения.

Эти достоинства СИ сделали его основным инструментом в проведении научных исследований при решении многих задач по медицине, рентгеновской микроскопии и дифрактометрии, EXAFS-спектрометрии, рентгеновской голографии, рентгеновской литографии.

Изучение электромагнитных взаимодействий ядер - одно из главных направлений экспериментальных исследований, проводимых на протяжении нескольких десятилетий на существующих в ННЦ ХФТИ электронных ускорителях. Однако, низкий коэффициент заполнения пучка накладывает принципиальные ограничения на возможности проведения экспериментов, где необходимы высокая статистическая точность  $\sim 10^{-5} \div 10^{-6}$ , полная идентификация каналов исследуемых реакций и др. Эффективность таких экспериментов, выполненных в режиме совпадений, с запуском УНК возрастет пропорционально коэффициенту заполнения.

С запуском УНК открываются уникальные возможности для проведения поляризационных экспериментов. В ХФТИ имеются поляризованные ядерные мишени, пучки линейно поляризованных  $\gamma$ -квантов. Разработаны источник поляризованных электронов и поляриметры, развиты методики поляризационных экспериментов. Таким образом, создание УНК может вывести ННЦ ХФТИ в ряд ведущих мировых центров в области промежуточных энергий.

Совмещение на одном накопительном кольце двух режимов работы - источника СИ и источника непрерывного пучка электронов - проблема нетривиальная. Одним из основных параметров источника СИ является его спектральная яркость. Чтобы сделать источник ярким, необходимо в месте излучения сфокусировать пучок в малом фазовом объеме, иными словами, необходимо уменьшать радиационный эмиттанс, устанавливающийся вследствие баланса затухания колебаний из-за потерь на СИ и их раскачки из-за квантового характера СИ. Это обеспечивается специальным выбором структуры фокусировки, позволяющей получить сильное затухание колебаний пучка в накопителе.

Жесткая фокусировка требует установки сильных фокусирующих устройств, вследствие чего хроматические aberrации таких систем велики. В циклических ускорителях их мерилom является естественная хроматичность кольца, и в специализированных источниках СИ она составляет несколько десятков.

Для получения устойчивого движения частиц естественную хроматичность необходимо компенсировать, что обычно осуществляется введением секступольных полей. Эти поля, в свою очередь, вызывают возникновение нелинейных резонансов связи, уменьшающих область устойчивого движения частиц - динамическую апертуру кольца. Проблема получения динамической апертуры кольца, превышающей (или, во всяком случае, не сильно

уступающей) физическую, является одной из основных при проектировании источника СИ. Чтобы решить эти проблемы, необходимы достаточно масштабные установки с периметром порядка 100 м/ГэВ с высокой степенью симметрии - большим числом суперпериодов. Это классическая схема современного источника СИ.

С точки зрения получения непрерывного пучка электронов с использованием резонансного медленного вывода, затухание колебаний в плоскости вывода, наоборот, должно быть минимальным. В противном случае, параметры выведенного пучка будут плохими и, более того, сам медленный вывод может стать невозможным.

Объединить на одном накопительном кольце задачи получения фотонного и электронного пучков с хорошими параметрами можно лишь при условии, что максимальная энергия выведенного пучка намного меньше максимальной энергии накопленного пучка в режиме источника СИ.

## 2. ВЫБОР СТРУКТУРЫ ФОКУСИРОВКИ НАКОПИТЕЛЬНОГО КОЛЬЦА

С учетом приведенных выше соображений в ННЦ ХФТИ начаты работы по проектированию накопительного кольца на выходе ЛУЭ-2000 с максимальной энергией накопленного пучка в режиме источника СИ (ИСИ), равной 2 ГэВ, и максимальной энергией выведенного пучка в режиме источника квазинепрерывного пучка электронов (НР), равной 500 МэВ.

Выбор структуры комплекса проводился с учетом существующего оборудования, зданий и

сооружений ускорителя ЛУЭ-2000 и с учетом требований получения прецизионных параметров электронных и фотонных пучков, экономической эффективности, малых затрат на разработку и сооружение комплекса. Накопительное кольцо предполагается разместить в существующем зале спектрометра СП-103, что позволит значительно снизить стоимость всего проекта, т.к. на первом этапе практически исключается капитальное строительство.

На основе проведенных расчетов режимов источника СИ высокой спектральной яркости и источника квазинепрерывного пучка электронов с высоким коэффициентом заполнения предложена структура накопительного кольца, приведенная на рис. 1. Накопительное кольцо представляет собой двух-суперпериодный рейстрек со структурой поворотных участков, оптимизированной для получения минимального радиационного эмиттанса, определяющего яркость источника СИ. Амплитудные и дисперсионные функции одного суперпериода фокусировки приведены на рис. 2, а основные параметры накопителя для двух режимов его работы приведены в таблице. Для реализации медленного вывода предполагается использовать параметрический резонанс горизонтальных колебаний  $2Q_x=13$ . На рис. 3 приведено сравнение накопителя УНК с проектируемой установкой SOLEIL (Франция) [1] как источника СИ. Из рисунка видно, что по параметрам фотонного пучка накопитель УНК находится на уровне современных специализированных источников СИ.

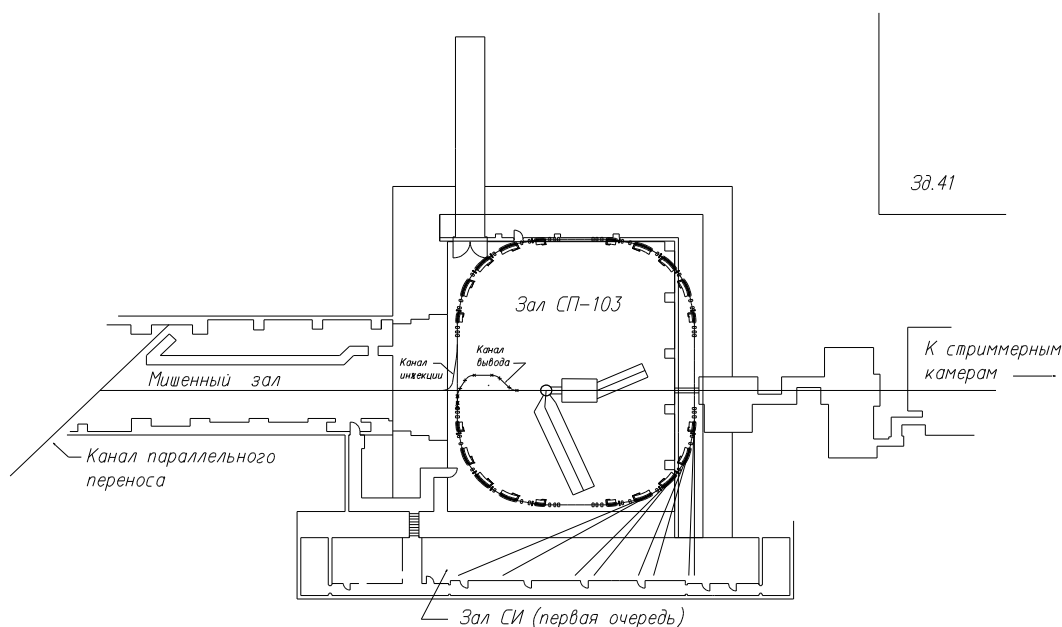


Рис. 1. Схема размещения накопительного кольца в зале спектрометра СП-103.

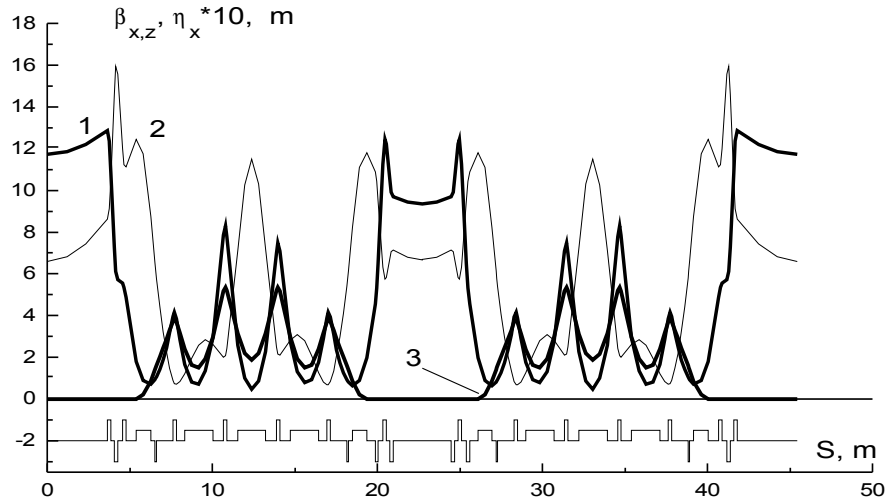


Рис. 2. Амплитудные радиальная (1) и вертикальная (2) и дисперсионная (3) функции одного суперпериода для режима источника СИ.

Основные физические параметры накопительного кольца для двух режимов работы.

Параметр	Режим ИСИ	Режим НР
Энергия инжекции, ГэВ	0.3-0.5	
Максимальная энергия, ГэВ	2	0.5
Периметр, м	90.88	
Частоты колебаний горизонтальных $Q_x$	7.20	6.46
вертикальных $Q_z$	4.26	4.40
Естественная хроматичность горизонтальная $\zeta_x$	-12.3	-10.8
вертикальная $\zeta_z$	-7.9	-8.7
Времена затухания на максим. энергии, мсек горизонтальных $\tau_x$	2.0	103
вертикальных $\tau_z$	3.73	240
синхротронных $\tau_s$	3.26	358
Амплитуда ускоряющего напряжения, МВ	1.6	0.2
Частота ВЧ-питания, МГц	699.3	699.3
Кратность	212	212
Коэф. упаковки орбит	0.011	0.017

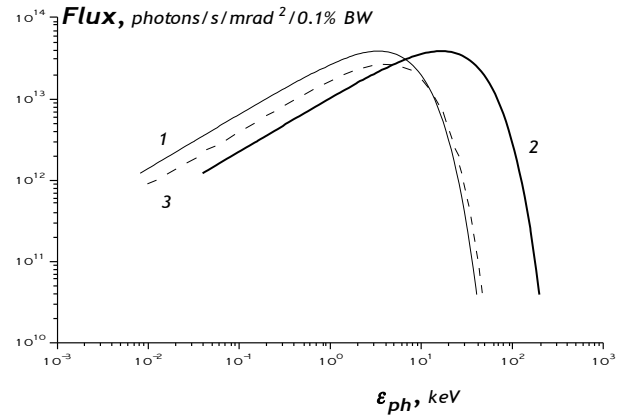


Рис. 3. Спектральный поток фотонов СИ из поворотного магнита (1) и вигглера с полем 7.5 Тл (2) в УНК и из поворотного магнита SOLEIL (3).

### 3. ВЫВОДЫ

На фотонном и электронном пучках накопительного кольца УНК можно будет проводить практически все из перечисленных выше экспериментов. В настоящее время разрабатывается конструкторская документация на системы УНК и создаются стенды для паспортизации оборудования.

### Литература

1. M.P.Level et al. New Specifications for the SOLEIL Project. Proc.of hte PAC-95

Статья поступила: в редакцию 25 мая 1998 г.,  
в издательство 3 июня 1998 г.