

Проект бустерного синхротрона для источника синхротронного излучения АНКА

В.П. Белов, М.Г. Нагаенко, Ю.П. Севергин, И.А. Шукейло
НИИ электрофизической аппаратуры им. Д.В.Ефремова,
Санкт-Петербург, Россия

В рамках программы научно-технического сотрудничества НИИЭФА с исследовательским центром Карлсруэ (Германия) разработан проект источника синхротронного излучения АНКА. Сведения об основном накопительном кольце были опубликованы ранее [1, 2]. В качестве инжектора предполагается использовать быстроциклический синхротрон-бустер на энергию 500 МэВ. Источник излучения АНКА предназначен для развития технологии производства микроизделий на основе LIGA — процесса и проведения других исследовательских работ. В 1996 г. утверждено финансирование проекта.

Таблица 1. Сводка основных параметров накопительного кольца АНКА.

Ток пучка (мА)	200
Энергия электронов (ГэВ)	2.5
Критическая длина волны (нм)	0.2
Число каналов вывода СИ	34
Эмиттанс (м.рад)	$8.3 \cdot 10^{-8}$
Время жизни пучка (час)	6
Периметр (м)	93.6

Таблица 2. Базовые параметры бустера.

Максимальная энергия (МэВ)	500
Энергия инжекции (МэВ)	50
Ток пучка (мА)	10
Частота повторения циклов (Гц)	10
Периметр (м)	32.4
Период обращения (нс)	108

Общая схема размещения основного кольца и бустера представлена на рис. 1.

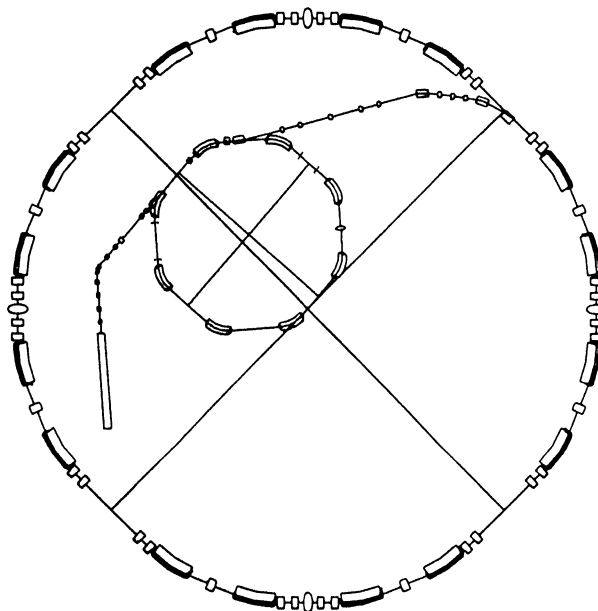


Рис. 1: Схема основного кольца и бустера.

Основные особенности проекта бустера состоят в следующем:

1. Кольцевая магнитная система слабофокусирующая. В целях минимизации радиальной апертуры применяется инжекция в вертикальном направлении.
2. Магнитная структура содержит только поворотнo-фокусирующие магниты.
3. Все магниты кольца идентичны. Для возбуждения кольцевого магнита достаточно одной системы электропитания. Технология производства магнитного оборудования кольца предельно упрощена.
4. Вывод электронов осуществляется в течение нескольких оборотов путем создания локального искажения орбиты в средней плоскости бустера и постепенного заброса пучка за тонкий септум. Время вывода может регулироваться.

Магнитная структура кольца схематически показана на рис. 2; основные параметры структуры даны в табл. 3.

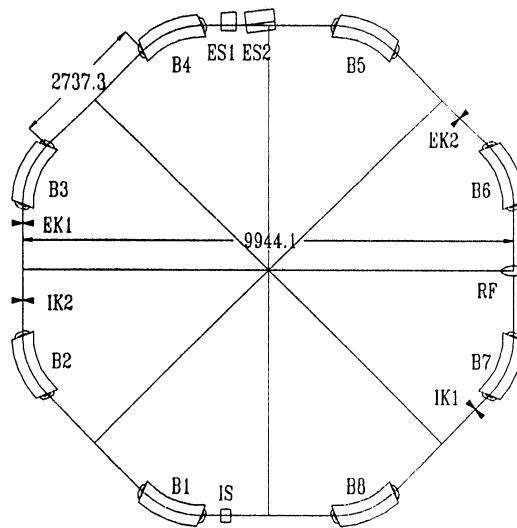


Рис. 2: Структура кольца бустера. B1, B8 — магниты с совмещенными функциями поворота и фокусировки, IS — инжекционный септум-магнит, ES1, ES2 — эжекционные септум-магниты, IK1, IK2 — кикеры для создания вертикального бампа при инжекции, EK1, EK2 — кикеры для создания радиального бампа при эжекции, RF — ускоряющий резонатор.

Таблица 3: Характеристики магнитной структуры.

Число периодов (магнитов)	8
Число бетатронных колебаний Q_X/Q_Y	1.39/1.30
Бета-функции (м)	
а) максимум β_X/β_Y	4.8/4.3
б) минимум β_X/β_Y	3.2/3.8
дисперсионная функция (м)	
а) в прямолинейных промежутках	2.9
б) максимум	3.1
Натуральная хроматичность ξ_X/ξ_Y	-0.20/0.95

Устойчивость поперечных колебаний обеспечивается магнитами с неоднородным по радиусу полем ($n=-0.55$) и с вертикальной фокусировкой на краях, которые вы-

полняются параллельными по технологическим соображениям. Индекс неоднородности подбирается так, чтобы число импульсных магнитов для создания бампов было бы минимальным (по два на каждое из направлений). Хроматичность структуры не требует какой-либо коррекции.

В системе имеет место радиальная раскачка радиальных бетатронных колебаний. Однако она незначительна и при принятой схеме вывода пучка способствует повышению эффективности вывода.

Параметры пучка электронов в начале цикла ускорения определяются эмиттансом пучка предынжектора и методом инжекции. Они приняты такими: $\epsilon_x = 2 \cdot 10^{-6} \pi \text{ м} \cdot \text{рад}$; $\epsilon_y = 2 \cdot 10^{-5} \pi \text{ м} \cdot \text{рад}$; $\delta P/P_0 = \pm 3 \cdot 10^{-3}$. Апертура вакуумной камеры, в которой ускоряется пучок, составляет $60 \times 37 \text{ мм}$.

Поперечное сечение магнита и вид в плане показаны на рис. 3 и рис. 4. Магнитопровод набран из штампованных листов низкоуглеродистой стали толщиной 1.5 мм. Каждая катушка возбуждения содержит две плоские секции.

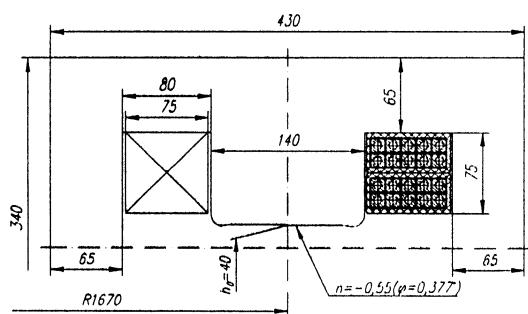


Рис. 3: Половина поперечного сечения магнита бустера.

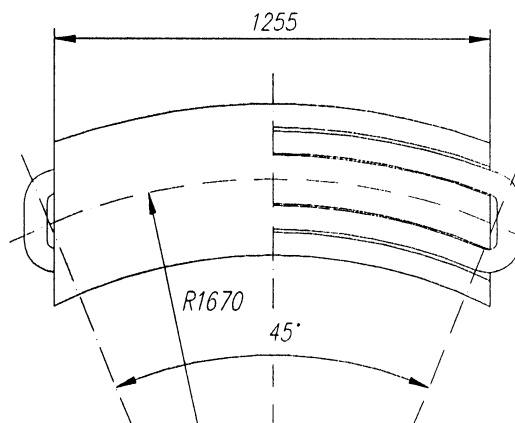


Рис. 4: Вид магнита бустера в плане.

Для возбуждения магнита будет использована резонансная схема электропитания.

Система инжекции бустера весьма проста, что определяется условиями накопления пучка в основном кольце. Периметр последнего в три раза превосходит периметр бустера. Время накопления при частоте посылок бустера 10 Гц составит 6 с, если в нем циркулирует ток 10 мА, и потери при переводе отсутствуют, а при эффективности перевода 10% — 1 мин. Отсюда следует, что достаточен ток предынжектора порядка 10 мА, а длительность инжекции в бустере может составить 1–2 периода обращения электронов в нем.

Сведения о магните содержатся в табл. 4.

Таблица 4: Основные параметры поворотно-фокусирующего магнита.

Радиус центральной орбиты (м)	1.67
Высота зазора на центральной орбите (мм)	40
Полезная ширина дорожки (мм)	60
Индекс неоднородности магнитного поля	-0.55
График изменения поля	$B(t) = B_0(1 - 0.82 \cos 2nft)$ $B_0 = 0.55 \text{ Т}, \quad f = 10 \text{ Гц}$
Максимальный ток А	865
Среднее энергопотребление кВт	7.8
Вес стали Тн	1.0
Вес меди Тн	0.12

Инжекция в бустер осуществляется путем создания вертикального бампа и использования септум-магнита. Магнитное поле бамп-магнитов во время инжекции должно плавно спадать до нуля в течение 200–300 нс.

Вывод ускоренного пучка производится в средней плоскости бустера. Целесообразно создать нарастающий по времени бамп и постепенно надвигать пучок на септум, помещенный в максимуме возмущения. В этой схеме вывод длится два–три оборота, время нарастания поля в импульсных магнитах составляет несколько сот наносекунд. Эффективность вывода достигает 80%.

ВЧ-система ускорения электронов в бустере имеет следующие основные параметры: частота 500 МГц; амплитудное напряжение 25 кВ; синхронная фаза около $\pi/2$; прирост энергии за оборот (при $B = B_{max}$) 1.5 кэВ; радиационные потери за оборот в конце цикла 3.3 кэВ; мощность, отдаваемая в пучок <100 Вт.

Вакуумная камера бустера выполняется из нержавеющей стали, толщина стенки 0.7 мм. Давление остаточного газа не должно превосходить $1 \cdot 10^{-6}$ Торр.

Список литературы

- [1] М.Г.Нагаенко, Ю.П.Севергин, И.А.Шукейло и др. Труды XIV Совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1994, т. 3, стр. 254.
- [2] H.O.Moser. EPAC-96, Barselona, June 1996, Industry and Synchrotron Radiation-Prospects using ANKA, Report WEZ06T.