

Линейный ускоритель электронов источника синхротронного излучения “Сибирь-2”

В.Н. Корчуганов, Е.Б. Левичев, О.А. Нежевенко, Г.Н. Острейко,
Г.В. Сердобинцев, В.В. Тарнецкий, В.А. Ушаков, А.В. Филиппченко
Институт ядерной физики им. Г.И.Буджера СО РАН, Новосибирск, Россия
А.А. Кадников, Ю.В. Крылов, С.Н. Кузнецов, В.Л. Ушков, Ю.Л. Юпинов
РНЦ “Курчатовский Институт”, Москва, Россия

Линейный ускоритель выполнен на основе ускоряющей структуры с шайбами и диафрагмами с высоким шунтовым сопротивлением (95 МОм/м) и работает на частоте 2.8 ГГц. Он введен в действие в конце 1992 года, когда был получен электронный пучок с энергией 62.5 МэВ. В статье представлены экспериментальные ВЧ-характеристики ускоряющей структуры, а также результаты измерений тока, энергетического спектра, эмиттанса и профиля пучка. В настоящее время ЛУ инжектирует электронный пучок с энергией 75 МэВ в накопительное кольцо “Сибирь-1”, и ведется работа по увеличению тока и энергии пучка.

Введение

Комплекс “Сибирь-2”, разработанный в ИЯФ СО РАН, работает в РНЦ “Курчатовский Институт” (г. Москва) в качестве источника синхротронного излучения [1]. Он состоит из накопительного кольца, с максимальной энергией 2.5 ГэВ, комбинации линейного ускорителя электронов [2] с энергией 80 МэВ и бустерного кольца “Сибирь-1” с энергией 450 МэВ (инжекционная часть). Бустерный накопитель “Сибирь-1” работает в одногустковом режиме с периодом обращения 29 нс, поэтому длительность импульса тока ЛУ не должна превышать 15-20 нс. ЛУ работает в режиме накопленной энергии.

1. ЛУ – форинжектор

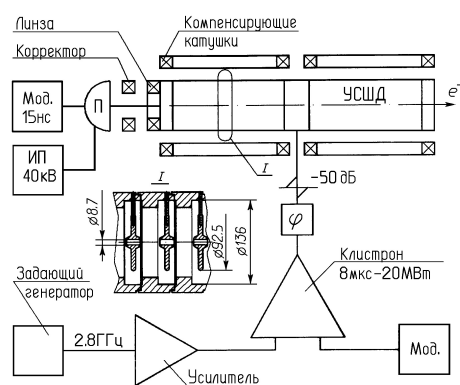


Рис. 1: Блок-схема линейного ускорителя.

Схема линейного ускорителя приведена на рис. 1. В качестве ускоряющей структуры ЛУ был выбран вариант структуры с шайбами и диафрагмами (УСШД) [3] с радиальными опорами шайб [4]. Каждая шайба поддерживается тремя радиальными опорами круглого сечения длиной, близкой к $\lambda/4$. Использование УСШД длиной 6 метров позволило обеспечить требуемую энергию и ток пучка для бустера “Сибирь-1” при использовании одного 18-МВт генератора.

Дисперсионные кривые структуры приведены на рис. 2, из которого видно, что в полосе ± 20 МГц относительно рабочей моды $TM_{02\pi}$ [5] отсутствуют высшие моды колебаний. Основные параметры структуры представлены в табл. 1.

Таблица 1:

Рабочая частота	2797.2 ± 0.1 МГц	Характ. сопрот.	3.4 ± 0.1 кОм/м
Эфф. шунт. сопрот.	95 ± 3 МОм/м	Перенапряжение	5.5
Добротность	28000 ± 100	Групповая скорость	0.4с

Результаты измерения распределения электрического поля на оси регулярной секции представлены на рис. 3. Возбуждение структуры осуществляется через специальную коаксиальную ячейку ввода ВЧ-мощности, расположенную в середине ускорителя и разделяющую его на два симметричных плеча. При этом ширина полосы между рабочей частотой и ближайшими нерабочими частотами увеличивается вдвое. Волновод (90×45 мм²) состоит из вакуумной и газовой секций, разделенных керамическим окном.

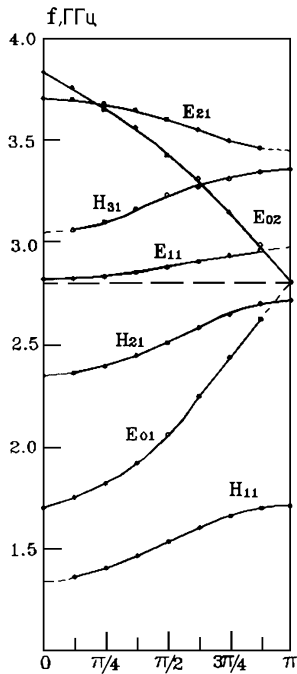


Рис. 2: Дисперсионные кривые.

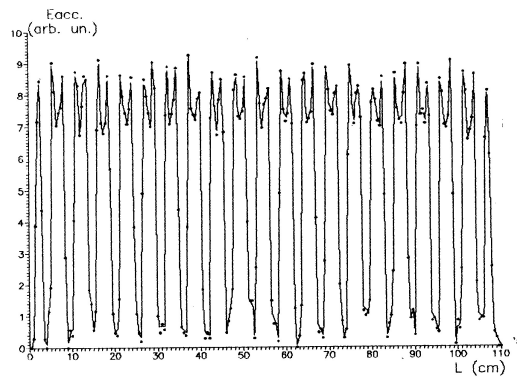


Рис. 3: Распределение поля на оси структуры.

Экспериментальные зависимости амплитуд падающей ($U_{\text{пад}}$) и отраженной ($U_{\text{отр}}$) волны в волноводе и напряжения на ускорителе ($U_{\text{ЛУ}}$) от частоты генератора приведены на рис. 4. Как видно из рисунка, длина волновода должна быть равна $(2n + 1)\lambda/8$. В этом случае в волноводе обеспечивается минимальное перенапряжение при расстройке структуры, либо пробоях в ней.

Осциллограммы ВЧ-сигналов ($U_{\text{пад}}$ — 1, $U_{\text{отр}}$ — 2, $U_{\text{ЛУ}}$ — 3) показаны на рис. 5.

ЛУ имеет простую инжекционную систему (рис. 1) [5]. Процесс группирования происходит в первом резонаторе. Система фокусировки также проста (рис. 1). Фокусировка обеспечивается линзой и ВЧ-полем структуры. Входное отверстие первого резонатора закрыто сеткой.

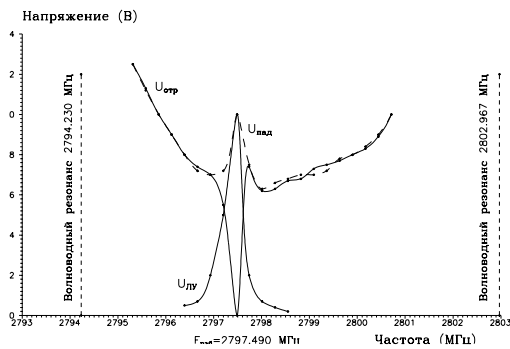


Рис. 4: ВЧ сигналы.

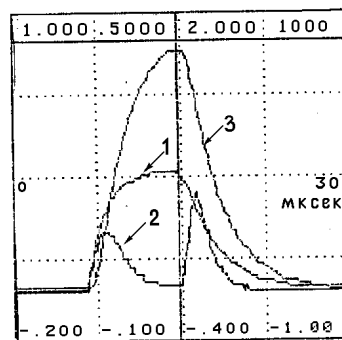


Рис. 5: Осциллограммы ВЧ-сигналов.

2. Эксперименты с пучком

Экспериментальный энергетический спектр пучка электронов в ЛУ показан на рис. 6 [6].

Профиль пучка, измеренный сеточными пробниками, приведен на рис. 7.

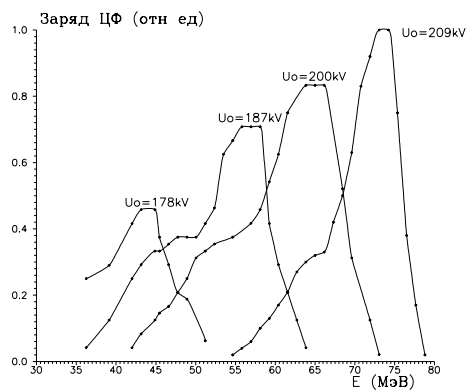


Рис. 6: Энергетический спектр пучка в ускорителе.

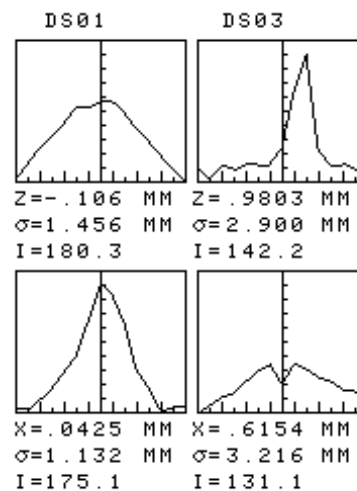


Рис. 7: Картинки профиля пучка.

В табл. 2 представлены результаты измерения параметров электронного пучка на выходе ускорителя.

Таблица 2:

Максимальная энергия	75 МэВ	Поперечный эмиттанс	0.03 мрад·см
Ток пучка в импульсе		Поперечный размер пучка на расстоянии 1600 мм от ЛУ	3 мм
$\Delta E/E=7\%$	600 мА	Частота повторения	1–5 Гц
$\Delta E/E=1\%$	65 мА		
Длительность импульса	18 нс		

В настоящее время ЛУ инжектирует электронный пучок с энергией 75 МэВ в накопительное кольцо “Сибирь-1”. Захваченный на равновесную орбиту ток достигает 23 мА.

Заключение

Линейный ускоритель обеспечивает работу комплекса “Сибирь-2”. В отдельных режимах работы ЛУ получена энергия электронного пучка 80 МэВ.

Список литературы

- [1] V.V.Anashin et al. Proc of EPAC, Rome, 1988, p. 57.
- [2] M.M.Karliner et al. Ibid, pp. 601–603.
- [3] В.Г.Андреев. // ЖТФ, 1971, т. 41, с. 788–796.
- [4] S.O.Schriber. // IEEE Trans. on Nucl. Sci., NS-30, №4, pp. 3542–3544, 1983.
- [5] O.A.Nezhevenko et al. // Proc. of PAC, San Francisco, 1991, vol. 5, p. 3186.
- [6] V.N.Korchuganov et al. // Proc. of PAC, Washington, 1993, vol. 1, pp. 564–566.