

## Компактный лазер на свободных электронах дальнего ИК–диапазона

Р.Р. Акбердин, В.П. Белов, В.М. Боровиков, П.Д. Воблый, Ю.И. Великанов,  
Н.А. Винокуров, Н.Г. Гаврилов, Б.А. Гудков, Е.И. Загородников, Е.М. Закутов,  
Г.М. Казакевич, М.Н. Кондауров, Ю.М. Колокольников, Г.И. Кузнецов,  
Г.Н. Кулипанов, А.Д. Орешков, А.С. Медведко, С.В. Мигинский, С.П. Петров,  
В.М. Попик, В.В. Ращенко, Т.В. Саликова, С.С. Середняков, Г.И. Сильвестров,  
Ю.Ф. Токарев, В.П. Черепанов, М.А. Хохлов  
*ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия*

Институтом ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН разработан для Корейского института атомных исследований проект и изготовлены основные части лазера на свободных электронах (ЛСЭ) с мощностью излучения один ватт в инфракрасной области спектра 25–30 микрон.

В качестве источника электронов для ЛСЭ был взят 8 МэВ микротрон, разработанный для инъекции релятивистских электронов в компактный синхротрон с энергией 200–600 МэВ. В конструкцию микротрона был заложен ряд особенностей, позволяющих упростить эксплуатацию и увеличить ресурс его основных узлов [1].

В микротроне (рис. 1) был использован цилиндрический резонатор, работающий в первом типе ускорения на частоте 2.8 ГГц. Катод диаметром 2.5 мм был изготовлен из горячепрессованного штабика  $LaB_6$ . Катод запрессовывался в цилиндрическую обойму из тантала. Подогреватель был выполнен из тантала в виде траверс. При оптимальном положении катода, когда координата центра катода была  $X_0 = 1.7$  (в единицах  $\lambda/2\pi$ ) коэффициент захвата составлял 7.9%.



Рис. 1:

При мощности СВЧ–генератора около 1.5 МВт и коэффициенте связи резонатора  $\beta = 2.7$ , микротрон обеспечивал ток в макроимпульсе до 35 мА при энергии электронов  $7.5 \div 8$  МэВ [2]. Генератором СВЧ служил магнетрон МИ-456.

В процессе эксплуатации микротрон продемонстрировал высокую надежность в работе, стабильность параметров и возможность их улучшения. Это предопределило его модернизацию по созданию на его основе ЛСЭ дальнего ИК–диапазона. В ходе модернизации была вдвое увеличена длительность импульса модулятора за счет увеличения числа звеньев искусственной линии. Линия тщательно настраивалась для получения минимальной модуляции и скола вершины импульса, подаваемого на магнетрон.

После модернизации модулятор стал обеспечивать получение импульса тока магнетрона длительностью не менее 6.5 мкс по уровню 0.9 при амплитуде тока до 130 А и напряжении на магнетроне до 55 кВ. Скол вершины импульса тока магнетрона при этом не превышал 1% [3].

Дальнейшим шагом модернизации явилось увеличение коэффициента связи резонатора до значения  $\beta = 5.4$  при собственной добротности около 9200. С целью увеличения ресурса эксплуатации конструкция катода была усовершенствована [4]. Поликристаллический катод был заменен монокристаллом  $LaB_6$ , что дало возможность при той же рабочей температуре катода увеличить эмиссию более чем в два раза. Кристалл  $LaB_6$  запрессовывался в графитовую обойму. Это позволило исключить диффузию бора в тантал, что ранее приводило к механическому разрушению обоймы катода.

Ускоренный пучок электронов выводится с последней, 12-й орбиты микротрона. Измерения тока пучка на последней орбите перед выпускной трубкой микротрона и в электронно-оптическом канале ЛСЭ показывают, что из микротрона выводится не менее 80% ускоренного пучка. В табл. 1 приведены основные параметры микротрона.

Таблица 1:

Энергия электронов	7.3 ÷ 8 МэВ
Энергетический разброс	~ 16 КэВ
Средний ток электронов в импульсе	70 мА
Длительность макроимпульса	> 5 мкс
Пиковый ток	~ 1 А
Частота повторения макроимпульсов	1 ÷ 10 Гц

Из микротрона ускоренный пучок электронов выводится в электронно-оптический канал (рис. 2), предназначенный для транспортировки пучка до ондулятора и согласования параметров электронного пучка, выпущенного из микротрона с параметрами, оптимальными для работы ЛСЭ. Электронно-оптический канал состоит из трех тридцатиградусных поворотных электромагнитов и шести квадрупольных электромагнитных

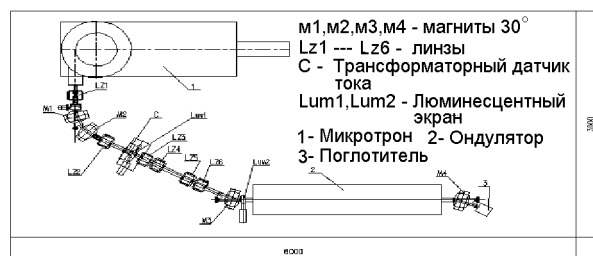


Рис. 2:

Для наблюдения за положением пучка в электронно–оптическом канале на первом прямом участке установлен люминесцентный экран. Имеются также один вводимый пробник с люминесцентным экраном перед входом в ондулятор и один вводимый пробник с датчиком переходного излучения. Датчик переходного излучения представляет собой две танталовые 5–мм пластинки с прорезями 0.5 мм, размещенными перпендикулярно. Верхняя пластинка покрыта пленкой алюминия для наблюдения переходного излучения. Щель 0.5x0.5 мм предназначена для сканирования профиля электронного пучка. Для измерения тока в макроимпульсе и временного профиля применяются вводимый коллектор внутри микротрона, трансформаторный датчик тока в электронно–оптическом канале и цилиндр Фарадея, совмещенный функционально с поглотителем после четвертого поворотного магнита.

Очень важным для работы ЛСЭ является выбор оптимальных параметров электронного пучка на входе в ондулятор. Для правильного выбора режима необходимо знать параметры электронного пучка на входе электронно–оптического канала. Для измерения параметров электронного пучка применялся метод измерения размера пучка в зависимости от градиента в линзах. Размеры электронного пучка определялись по размеру светового пятна на люминесцентном экране с использованием объектива и ПЗС–линейки, управляемой системой КАМАК–РС. Специальная компьютерная программа была написана для расчета параметров электронного пучка по измеренным размерам светового пятна. В табл. 2 приведены параметры электронного пучка в микротроне перед его выпускной трубкой.

Таблица 2:

Эммитанс $\epsilon_x$	1.5 мм мрад
Betta, $\beta_x$	51.5 см
Alfa, $\alpha_x$	-2.29
Gamma, $\gamma_x$	0.12
Эммитанс $\epsilon_y$	4.9 мм мрад
Betta, $\beta_y$	444.8 см
Alfa, $\alpha_y$	7.61
Gamma, $\gamma_y$	0.32
Энергетический разброс, $\Delta E/E$	0.002

Ондулятор ЛСЭ представляет собой оригинальную конструкцию. Верхняя часть ондулятора состоит из прямого шинпровода, который попеременно сверху — влево и сверху — вправо охвачен полюсами. Между полюсами вставлены плитки постоянных магнитов. Нижняя часть ондулятора зеркально–симметрична верхней. Параметры ондулятора приведены в табл. 3.

Таблица 3:

Период ондулятора	1.25 см
Количество периодов	160
Зазор	0.5 см
Коэффициент ондуляторности	0.4–0.6

На данном этапе проведены магнитные измерения элементов электронно-оптического канала и ондулятора, смонтирована вся установка, измерены параметры электронного пучка, просчитан оптимальный для работы ЛСЭ режим электронно-оптического канала и проведен пучок (рис. 3) через электронно-оптический канал (верхний график), ондулятор до поглотителя (нижний график); ведутся работы по проектированию и изготовлению оптического резонатора.

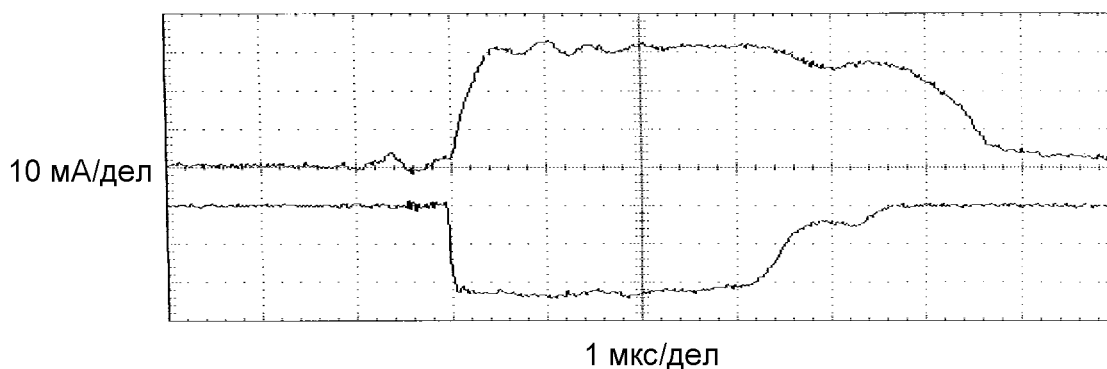


Рис. 3:

В настоящее время для создания ЛСЭ в инфракрасной области спектра в качестве источников электронов предпочтение отдается линейным ускорителям, которые имеют по сравнению с импульсными микротронами больший пиковый ток и длительность импульса, хотя микротроны имеют меньший энергетический разброс, несравнимо меньшую стоимость и существенно проще в эксплуатации.

Полученные характеристики микротрона а также ускоренного электронного пучка позволяют применить в данном ЛСЭ довольно длинный ондулятор с малым периодом. Это позволяет рассчитывать на получение генерации за счет большого коэффициента усиления и надеяться на успешную работу ЛСЭ с данным микротроном.

#### Список литературы

- [1] Л.Л. Данилов и др. Микротрон-инжектор электронного синхротрона. Докл. XII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Москва, ИТЭФ, 1990.
- [2] G.M. Kazakevich et al. 8 MeV microtron — the injector for an electron synchrotron. II Asian Symposium on FEL. Novosibirsk, 1995, pp. 257-261.
- [3] Г.М. Казакевич и др. Линейный модулятор микротрона. (Доклад на настоящем совещании).
- [4] Г.И. Кузнецов. Катодный узел для микротрона. ПТЭ (в печати).