

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ТЕМПА УСКОРЕНИЯ В ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ ВЛЭПП

В.Е. Балакин, О.Н. Брежнев, М.Н. Захваткин, С.Ю. Казаков,
В.Ф. Ключев, А.В. Кожемякин, А.В. Новохатский,
Ю.И. Семенов, Н.А. Соляк, Г.И. Яснов, Б.И. Ястреба
Институт ядерной физики СО АН СССР
Новосибирск, 630090

Приводятся результаты экспериментальных исследований предельного темпа ускорения в ускоряющей структуре ВЛЭППа. Достигнут темп ускорения более 90 МэВ/м, при этом напряженность электрического поля на поверхности структуры более 150 МВ/м.

Для осуществления проекта встречных линейных электрон-позитронных пучков одной из кардинальных проблем является создание ускоряющей структуры с темпом ускорения ~ 100 МэВ/м, способной ускорять 10^{12} частиц в одном сгустке¹. Для получения такого темпа ускорения желательнее использовать максимальную возможную напряженность электрического поля, ограниченную вакуумным пробоем или подгрузкой автоэмиссионным током.

В Новосибирском Институте ядерной физики были проведены работы как по оптимизации формы электродов с целью уменьшения коэффициента перенапряжения K — отношения максимального значения электрического поля на диафрагме к эффективному значению ускоряющего поля на оси ускорителя, так и по технологии подготовки рабочих поверхностей резонаторов. Расчетным путем удалось получить оптимальный вариант резонатора пятисантиметрового диапазона с коэффициентом перенапряжения $1,6 \div 1,7$ (ускоритель СЛАК имеет $K=2$). Следует отметить, что максимум электрического поля в этом варианте резонатора смещен на больший радиус от кромки диафрагмы, так что малая доля автоэмиссионных электронов, стартующих с этого радиуса, попадает в апертуру секции.

В процессе разработки технологии подготовки рабочих поверхностей электродов было проведено изучение максимальной напряженности электрического поля в резонаторе специальной формы, в котором максимальное напряжение находится в центре плоской крышки. Измерение напряженности проводилось по максимальной энергии ускоренных автоэмиссионных электронов, стартующих с центра крышки. Получена максимальная напряженность 200 МВ/м (частота пробоев 10^{-3}). При 150 МВ/м пробоев не наблюдалось. Результаты на многих образцах хорошо воспроизводились². На основе этого в опытно-производстве Института был организован участок чистой технологии, на котором производятся элементы ускоряющей структуры ВЛЭППа. В процессе производства элементы ускоряющих структур проходят необходимый механический и радиотехнический контроль параметров и по специальной процедуре выборки комплектуются в ускоряющую секцию для пайки в вакууме.

Для испытания секций был изготовлен экспериментальный стенд, схема которого представлена на рис. 1. Параллельно на этом стенде испытываются новые СВЧ-приборы для возбуждения секции. Испытуемая секция (13) возбуждается СВЧ-генератором большой мощности — гироконом (2). Передача мощности от генератора в секцию осуществляется по волноводному тракту (3), включающему направленные ответвители

(5) и фазовращатель (6). Фазовращатель на высокий уровень мощности разработан в ИЯФ СО АН СССР и используется для обеспечения оптимального режима возбуждения. Волноводный тракт состоит из медных волноводов прямоугольного сечения 35×15 мм. Соединение волноводов осуществляется при помощи контактных фланцев. В качестве вакуумного уплотнения и для обеспечения электрического контакта используется отожженная медь. Конструкция соединения допускает прогрев до 300°C . Вакуум в волноводе

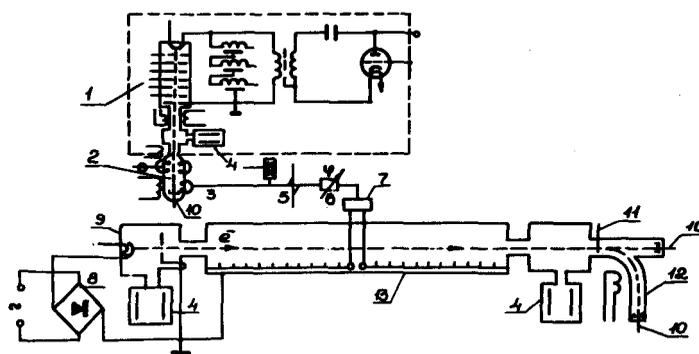


Рис. 1. Блок-схема испытательного стенда:
1—генератор электронного пучка для гирокона, 2—гирокон, 3—волноводный тракт, 4—магниторазрядный насос, 5—направленный ответвитель, 6—фазовращатель, 7—трансформатор типа волны, 8, 9—генератор «пробного» пучка, 10—цилиндр Фарадея, 11—датчик тока, 12—магнитный спектрометр, 13—испытуемая секция.

$\sim 10^{-7}$ мм.рт.ст. обеспечивается магниторазрядным насосом (4). Ввод мощности в ускоряющую секцию осуществляется через трансформатор типа волны (7). Для контроля за γ -излучением из секции при высоких уровнях напряженности электрического поля применяется хорошо коллимированный фотоумножитель. Перемещая этот датчик вдоль секции, можно определить места с повышенным уровнем γ -излучения.

Для определения ускоряющего градиента в испытуемой секции используется «пробный» пучок, создаваемый источником электронного пучка (9). Энергия инжекции 300 кВ, ток инжекции более 1 А длительностью 50 нс. Ускоренный в секции ток измеряется пробником пучка (11) или цилиндром Фарадея (10). Для измерения энергетического спектра используется магнитный спектрометр (12) с углом поворота 90° . Отклоненный магнитным полем пучок регистрируется сцинтиллятором с ФЭУ или цилиндром Фарадея. В такой схеме непосредственно по энергии ускоренного пучка определяется значение темпа ускорения в секции. Применение «пробного» пучка для определения напряженности электрического поля в ускоряющей

секции является необходимым, поскольку секция содержит несколько резонаторов и место максимума автоэмиссионного тока является неопределенным, т. е. полная энергия, на ираемая автоэмиссионными электронами, будет случайной функцией от напряженности электрического поля в резонаторах. На стенде были испытаны ускорительные секции разной длины. При испытании секции длиной 29 см получен темп ускорения³ 55 МэВ/м, а на метровой секции около 40 МэВ/м. Достигнутый темп ускорения ограничивается мощностью СВЧ-источника. Изучение γ -фона вдоль секции с помощью коллимированного датчика показало, что γ -фон увеличивается в районе входного согласующего трансформатора типа волны. Для получения максимального темпа ускорения было проведено испытание секции длиной 8,5 см (4 резонатора) с улучшенным трансформатором типа волны.

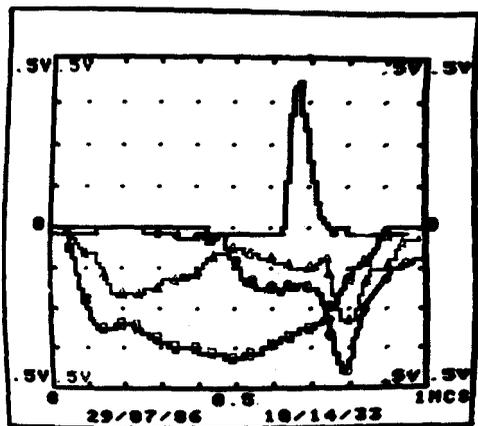


Рис. 2. Оциллограммы основных процессов:
 □ — падающая волна, Δ — отраженная волна,
 \circ — гамма-излучение, положительный сигнал — ток «пробного» пучка.

На рис. 2 изображены оциллограммы происходящих процессов, снятые с экрана цифрового многоканального осциллографа. Приведены сигналы с направленного ответвителя падающая и отраженная волны), фотоумножителя (γ -излучение из ускоряющей секции) и пояса Роговского (ток «пробного» пучка). В точке минимума отраженной волны, когда в секции запасена энергия, появляется γ -излучение. Время накопления около 0,2 мкс. На приведенной фотографии видно возрастание γ -излучения в результате микропробоя в секции. При этом возрастает доля отраженной мощности, хотя ускоренного эмиссионного тока на выходе секции нет. Анализ траекторий автоэмиссионных электронов в ускоряющей ячейке показывает отсутствие фокусировки электронов на поверхности ячейки, и, как следствие, пробой не приводит к эрозии. Такие пробой носят тренирующий характер и, по-видимому, не ограничивают срока службы.

Однако, при увеличении мощности уровень γ -излучения быстро возрастает. При больших уровнях мощности возникают пробой, когда мощность полностью отражается от секции, а в апертуре секции появляется ток ускоренных эмиссионных электронов. Со временем количество таких пробоев уменьшается, а уровень появления γ -излучения повышается. После длительной работы на отверстиях связи между ускоряющими резонаторами и резонаторами связи заметны характерные для вторичноэмиссионного разряда цвета побежалости, а на ускоряющих диафрагмах — следы пробоев. На рис. 3 приведен спектр «пробного» пучка, снятый с помощью ЭВМ при промежуточном значении мощнос-

ти. Спектр искажен наличием эмиссионного тока (максимум на малых энергиях). На рис. 4 приведены верхние границы спектров для трех значений мощнос-

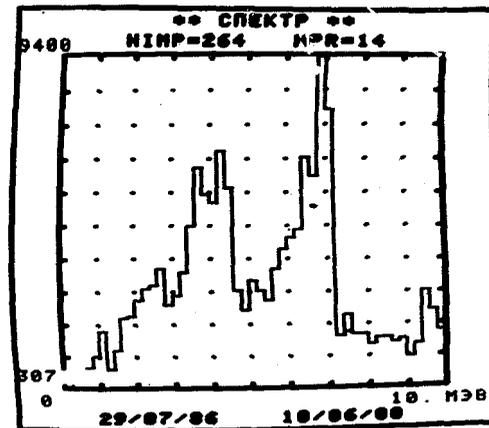


Рис. 3. Спектр «пробного» пучка.

ти. Максимум последнего спектра соответствует темпу ускорения более 90 МэВ/м. При этом напряженность электрического поля на диафрагмах более 150 МВ/м.

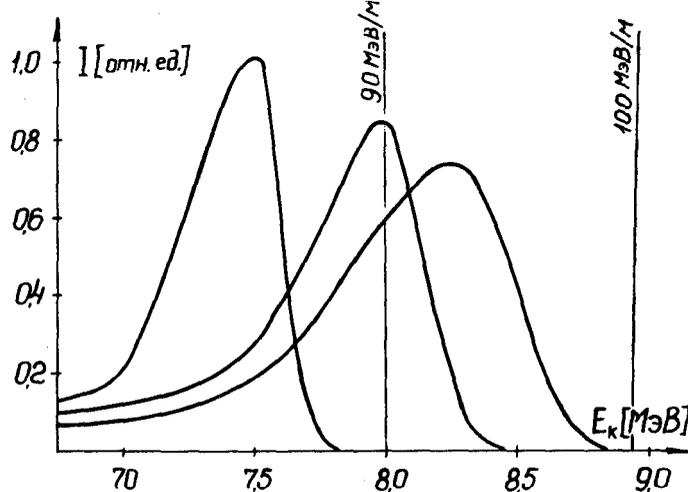


Рис. 4. Спектры «пробного» пучка для различных уровней мощности.

Результаты проведенных исследований показали возможность создания ускоряющих структур с высоким темпом ускорения.

Литература

1. Балакин В.Е., Будкер Г.И., Скринский А.Н. О возможности создания установки со встречными электрон-позитронными пучками на сверхвысокие энергии. — Труды VI Всесоюз. совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1978. — Дубна, 1979, с.27.
2. Балакин В.Е. и др. Ускоряющая структура ВЛЭППа. Исследование максимально достижимого темпа ускорения. — Труды VI Всесоюз. совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1978. — Дубна, 1979, с.140.
3. Балакин В.Е. и др. Испытание ускоряющей секции линейного ускорителя ВЛЭПП. — Труды VI Всесоюз. совещания по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 1982. — Дубна, 1983, т.2, с.410.

Discussion

W. Richter. Would the spectrum be narrower if you used the buncher? How does experimental spectrum correspond to the calculated one?

Г.И. Яснов. Да, спектр был бы уже, если бы мы использовали группирователь. Экспериментальный спектр соответствует расчетному при малых градиентах. При больших градиентах необходимо учитывать появление ускоренных автоэмиссионных электронов.