

## Ускоритель УЭЛВ-8-15С1 – стерилизатор нового поколения

Е.К. Гусев, М.И. Демский, А.П. Клинов, А.К. Орлов, А.В. Рябцов,  
В.Д. Тимофеев, Ю.П. Щепин

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова,  
Санкт-Петербург, Россия

Ускоритель УЭЛВ-8-15С1, предназначенный для стерилизации медицинских изделий пучком ускоренных электронов, относится к единой серии ускорителей НИИЭФА для промышленности и медицины [1].

### Проектные параметры:

Энергия электронов	8 МэВ
Мощность пучка максимальная	15 кВт
Мощность пучка номинальная	12 кВт
Энергетический спектр	$\pm 4\%$
Средний ток пучка	1,8 мА
Частота следования импульсов тока	12,5÷600 Гц
Рабочая частота источника СВЧ-питания	2450 МГц
Скважность	200
Длительность импульса тока	8 мксек

Оборудование ускорителя скомпоновано в несколько блоков. Ускоряющее устройство в виде диафрагмированного волновода с источником электронов, фокусирующим соленоидом, титановыми вакуумными насосами, элементами волноводного тракта от клистрона к ускоряющему устройству, датчиками тока и положения пучка, магнитным анализатором и устройством разверстки смонтировано на металлической раме в едином блоке излучателя. Усилительный клистрон и его модулятор находятся в шкафу генератора СВЧ. Возбудитель клистрона с целью снижения помех вынесен в одну из стоек управления. В волноводный тракт, по которому СВЧ-энергия передается от клистрона к ускоряющему устройству, входят индикаторы мощности, частоты и огибающей импульса, а также кварцевое разделительное окно.

Сеточный модулятор трехэлектродного источника электронов установлен в отдельной стойке.

Питание модулятора клистрона осуществляется по высоковольтному кабелю от установленного в отдельном боксе мощного стабилизированного выпрямителя на 20 кВ. Остальные потребители электроэнергии питаются через распределительное устройство. Теченскатель, форвакуумный пост и другое вспомогательное оборудование питаются от сети через щиты лабораторного типа. Управление и контроль за работой ускорителя осуществляются оператором со стоек управления. Тепловая энергия от внутреннего кольца охлаждения отводится во внешний контур в теплообменниках, составляющих три отдельные блока.

Перечисленные системы имеют *следующие особенности*:

Импульсное питание катода трехэлектродного источника электронов напряжением 50 кВ осуществляется от модулятора клистрона через ограничивающий резистор и импульсный трансформатор ( $K_{\text{тр}} = 3,2$ ) со вторичной обмоткой в виде коаксиального кабеля. По кабелю передаются импульс сетки и напряжение смещения. Модулятор сетки выполнен по схеме частичного разряда емкостного накопителя, коммутируемого на нагрузку лампой ГМИ-46Б. Стабильность регулируемого источника сеточного питания 1%. Максимальный ток эмиссии 2 А, диаметр используемого катода 14 мм.

Диафрагмированный волновод, содержащий согласователь, 14 ячеек с переменной фазовой скоростью и 38 ячеек с  $\beta_{\text{ф}} = 1$ , заканчивается внешней СВЧ-нагрузкой.

Температура волновода стабилизируется на уровне  $40^{\circ}$  с точностью  $\pm 1^{\circ}$ ; максимальное значение магнитного поля фокусирующего соленоида составляет 0,1 Тл. Для проводки пучка на участке ускорения и управления им при выводе через конусный коллиматор диаметром 10 мм использованы корректирующие катушки, создающие взаимно перпендикулярные поля. Непосредственно за конусным коллиматором установлены датчики положения и тока пучка.

Периодический контроль энергии и энергетического спектра ускоренных частиц выполняется магнитным анализатором с поворотом пучка на  $90^0$  и цилиндром Фарадея с самописцем. Радиус траектории электронов в магните равен 25 см; максимальная индукция – 0,35 Тл. Устройство развертки и вывода электронного пучка через титановую фольгу с воздушным обдувом включает вакуумную камеру из нержавеющей стали и электромагнит типа СП-022 А.

В ускорителе УЭЛВ-8-15С1 в качестве источника СВЧ-мощности на 25 КВт на частоте 2450 МГц использован клистрон КИУ-147 разработки НПО Торий: анодное напряжение и импульсный ток генератора равны 50 кВ и 250 А. Клистрон пакетирован с фокусирующей системой на постоянных магнитах из самарий-кобальтового сплава; вес его не превышает 90 кг.

Модулятор клистрона мощностью 60 КВт [2] выполнен по схеме полного разряда формирующей линии через тиратрон ТГИ1-5000/50 на первичную обмотку повышающего импульсного трансформатора. Для устойчивой коммутации на частоте следования импульсов  $600^1/с$  на сетку тиратрона подано отрицательное напряжение смещения, а в цепи заряда использован нелинейный дроссель. Формирующая линия выполнена на экранных вариометрах и содержит девять ячеек емкостью 0,02 мкФ. Возможность глубокой регулировки индуктивности линии (до 50%) обеспечивает неравномерности вершины импульса напряжения 1,5% при длительности фронта 0,8 мкс.

Первый экземпляр ускорителя УЭЛВ-8-15С1, смонтированный на Курганском комбинате «Синтез» на площадке стерилизатора ЛУЭ-8-5, в настоящее время находится в стадии опытной эксплуатации.

## Литература

1. Реализация единой серии линейных ускорителей для промышленности и медицины. Ю.П. Вахрушин, В.А. Глухих, В.М. Николаев. – Тезисы докладов 7-го совещания по применению ускорителей, СПб, 1992. – М., 1992, с.31.
2. Линейный модулятор мощностью 60 КВт для питания СВЧ-генератора ускорителя-стерилизатора УЭЛВ-8-15С1. С.П. Аристархов, А.В. Муратов и др. – Там же, стр. 10