

Секция «Ускорители для медицины и прикладных целей»

УДК 621.384.6

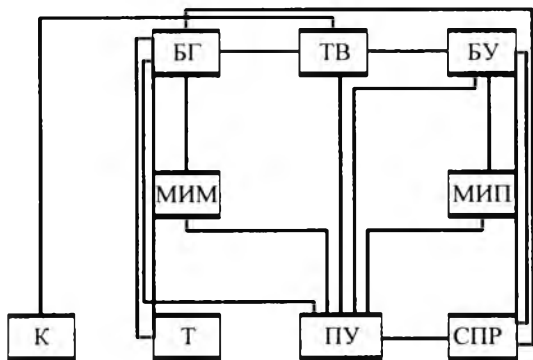
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ
С МОЩНОСТЬЮ ПУЧКА ДО 25 кВт*Грызлов А.В. (ФГУП «НПП «Торий»),
Дворников В.А., Кузьмин И.А., Поляков И.В., Щедрин И.С. (МИФИ)*

Линейный ускоритель электронов УЭЛВ-10-25 — представитель нового поколения ускорителей «Электроника», в котором простота и невысокая стоимость изготовления сочетаются с высокой стабильностью и надежностью эксплуатационных параметров и характеристик. При конструировании электропитающих устройств и систем управления должны быть использованы принципиально новые технические решения и новая элементная база.

Ускоритель укомплектовывается вспомогательными устройствами и аппаратурой, обеспечивающими его надежную работу. Значительное внимание уделено повышению коэффициента готовности и сокращению времени восстановления работоспособности оборудования при регламентной замене или ремонте изношенных элементов, замена которых требует развакуумирования ускорителя. Основные технические параметры и характеристики ускорителя следующие:

Пучок:	
номинальная энергия, МэВ . . .	10
номинальная мощность, кВт . . .	20
номинальный средний ток, мА . . .	2
Диапазон регулирования:	
энергии, МэВ . . .	6—11
мощности пучка, кВт . . .	1—25
среднего тока пучка, мА . . .	0,1—2,5
Нестабильность:	
энергии, % . . .	±5
среднего тока пучка, % . . .	±5
Полоса сканирования, см . . .	30—50
Частота сканирования, Гц . . .	1, 3, 5
Неравномерность распределения дозы	
в полосе сканирования, % . . .	±5
Время непрерывной работы, ч . . .	120
Коэффициент готовности . . .	0,95

По совокупности параметров ускоритель находится на уровне лучших зарубежных аналогов и в 2 раза превосходит лучшие отечественные образцы по средней мощности, следовательно, и производительности. Состав, структурная схема, эксплуатационные характеристики и стоимость ускорителя зависят от выбора двух основных элементов: СВЧ-генератора и ускоряющей структуры. Два типа отечественных СВЧ-генераторов могут быть использованы для создания ускорителя УЭЛВ-10-25: магнетрон «Берилл» с $P_{\text{имп}} = 10$ МВт и $P_{\text{ср}} =$ до 50 кВт, клистрон «Берег» с $P_{\text{имп}} = 6$ МВт и $P_{\text{ср}} =$ до 25 кВт. Клистрон имеет в 2 раза более высокую га-



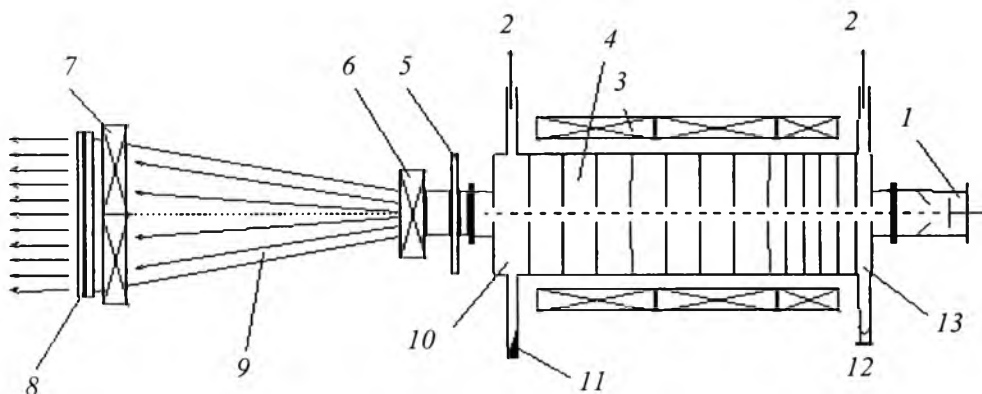
Р и с. 1. Структурная схема ускорителя: БГ — генераторный блок; ТВ — волноводный тракт; БУ — ускорительный блок; МИМ — импульсный модулятор магнетрона; МИП — импульсный модулятор пушки; К — компрессор; Т — теплообменник; ПУ — пульт управления; СПР — стойка питания и регулирования

рантированную долговечность, но и стоимость его в 2 раза выше. Поскольку для реализации указанных параметров требуется один магнетрон или два клистрона, то очевидно, что применение магнетрона является экономически более выгодным.

Выбор ускоряющей структуры зависит от выбора типа и импульсной мощности СВЧ-генератора, его частотной стабильности. При импульсной мощности 10 МВт предпочтение следует отдать круглому диафрагмированному волноводу на бегущей волне. Структурная схема ускорителя приведена на рис. 1.

Взаимодействие электронов с бегущей волной происходит в ускорительном блоке. Электромагнитные колебания генерируются магнетроном в генераторном блоке и передаются в ускорительный блок по волноводному тракту. Высоковольтный импульсный модулятор предназначен для питания анодной цепи магнетрона. В состав модулятора входят элементы питания других цепей: накала, электроразрядного насоса, соленоида. Высоковольтный импульсный модулятор служит для питания цепей электронного инжектора, размещенного в ускорительном блоке. Вспомогательные источники питания, измерительные устройства, блоки питания высоковакуумных насосов размещены в стойке питания и регулирования. Управление работой ускорителя может осуществляться от центрального компьютера, расположенного на пульте управления. В состав ускорителя входит замкнутая система охлаждения ускорителя дистиллированной водой (теплообменник) и система подачи в волноводный тракт очищенного сжатого воздуха (компрессор).

Рассмотрим ускоряющую систему технологического ускорителя (рис. 2). Используется трехэлектродный инжектор ЭП-6 от ускорителя УЭЛВ-10-10. Без



Р и с. 2. Структурная схема ускорительного блока: 1 — электронный инжектор; 2 — вакуумная откачка; 3 — соленоид; 4 — ускоряющая секция; 5 — датчик тока; 6 — сканирующий электромагнит; 7 — поворотный электромагнит; 8 — окно вывода пучка; 9 — камера развертки; 10, 13 — выходной и входной ТТВ соответственно; 11 — ВЧ-нагрузка; 12 — ВЧ-окно

существенных изменений используется фокусирующий соленоид, СВЧ-окно, датчик тока, сканирующий магнит и камера развертки. На камеру развертки устанавливается поворотный магнит, обеспечивающий параллельный выход электронов из ускорителя. Существенной переработке предлагается подвергнуть ускоряющую секцию и систему откачки. Ускоряющая секция имеет относительную длину $\xi = l/\lambda = 11,6$. Относительная фазовая скорость $\beta = v/c$ вдоль секции на отрезке от $\xi = 0$ до $\xi = 2$ плавно возрастает от 0,42 до 1 и далее остается постоянной. Напряженность ускоряющего поля E_z на оси круглого диафрагмированного волновода на отрезке от $\xi = 0$ до $\xi = 2$ плавно изменяется от 17 до 70 кВ/см, далее линейно возрастает до 106 кВ/см при $\xi = 8,6$, затем линейно уменьшается до 96 кВ/см при $\xi = 11,6$. Пучок на выходе ускоряющей секции с фокусирующим магнитным полем на оси 0,09 Тл, импульсной СВЧ-мощностью на входе 10 МВт, напряжением инжекции 30 кВ и импульсным током на выходе 0,7 А имеет диаметр около 4 мм, энергию 11 МэВ, ширину спектра ускоренных электронов по основанию 7% и около 2% на уровне 0,1.

Работа выполнена по гранту Минобразования России Т00-7.5-384.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завадцев А.А., Завадцев Д.А., Собенин Н.П., Фадин А.И. Проект промышленного ускорителя электронов на 10 МэВ. — В сб.: Докл. 17-го сов. по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 2000, с. 382—385.
2. Дворников В.А., Калюжный В.Е., Кузьмин И.А. Метод настройки КДВ с переменными размерами. — Труды научной сессии МИФИ-2001. т. 7, с. 139—140.
3. Грызлов А.В., Дворников В.А., Кузьмин И.А. и др. Технологический ускоритель с мощностью пучка 25 кВт. — Там же, т. 9, с. 28—29.

УДК 537.521.7

УСКОРИТЕЛЬ-ТАНДЕМ С ВАКУУМНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ДЛЯ БОРНЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ И ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ

*Димов Г.И., Бельченко Ю.И., Крайнов Г.С., Салимов Р.А., Куксанов Н.К.,
Сильвестров Г.И., Сорокин И.Н., Таскаев С.Ю., Тиунов М.А., Топорков Д.К.,
Широков В.В. (ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН)*

Нейтроннозахватная терапия рака основана на поглощении эпителиальных нейтронов стабильным изотопом ^{10}B , сорбируемым преимущественно в раковых клетках. Образующиеся в результате ядерной реакции α -частица и ион ^7Li тормозятся на длине размера клетки с выделением энергии $\sim 2,3$ МэВ в пределах клетки, содержащей ядро бора, что приводит к ее избирательному поражению. Нейтроны нужной энергии генерируются при сбросе протонного пучка энергией $E \cong 1,9$ МэВ (при разбросе энергии $dE/E \leq 0,1\%$) на литиевую мишень. Терапия быстрыми нейтронами осуществляется при энергии протонного пучка до 2,5 МэВ [1].