

Ускорители электронов серии ЭЛВ: состояние, применение, развитие

Ю.И. Голубенко, М.Э. Вейс, Н.К. Куксанов, С.А. Кузнецов, Б.М. Корабельников,
А.Б. Малинин, П.И. Немытов, В.В. Прудников, Р.А. Салимов,
В.Г. Черепков, С.Н. Фадеев
*ГНЦ РФ "Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН",
Новосибирск, Россия*

Начиная с 1971 года, Институт ядерной физики СО РАН разрабатывает и производит высоковольтные ускорители электронов типа ЭЛВ для применения в промышленных и исследовательских радиационно-технологических установках. В настоящее время Институт предлагает серию ускорителей электронов типа ЭЛВ, которые перекрывают диапазон энергий от 0.2 до 2.5 МэВ, с током пучка ускоренных электронов до 400 мА и максимальной мощностью до 400 кВт. Институт поставлено как внутри страны, так и за рубежом, более 70 ускорителей серии ЭЛВ, общее время наработки которых составляет величину порядка 500 лет.

Унификация узлов и систем ускорителей повышает надежность и позволяет с минимальными затратами адаптировать их под конкретные требования заказчика по основным параметрам, таким как диапазон энергий, мощность пучка ускоренных электронов, длина выпускного окна. Применение газовой изоляции обеспечивает компактность ускорителей и удобство в эксплуатации.

Полный КПД ускорителя составляет величину около 70%, причем большинство потерь составляют потери электромашиного преобразователя частоты. Мы ведем работы по совершенствованию системы силового питания. Так, спроектированы, изготовлены и опробованы системы питания на основе тиристорных и транзисторных преобразователей частоты, что позволило увеличить полный КПД ускорителей до 85% для машин мощностью менее 100 кВт и до 95% для более мощных ускорителей.

Все ускорители этой серии управляются унифицированной системой управления, построенной на базе IBM-PC совместимого компьютера, которая предоставляет пользователю возможность организовать работу ускорителя в технологической линии в полностью автоматизированном режиме без участия оператора. Программное обеспечение осуществляет все необходимые оперативные переключения в системах ускорителя, непрерывно в процессе работы проверяет исправность высоковольтного выпрямителя, предоставляет обслуживающему персоналу широкий набор команд для предварительного задания режимов, для наладки ускорителя и т.п.

Основные параметры ускорителей ЭЛВ приведены на рис.1 и в таблице.

Электронный пучок выводится в атмосферу как через окно из титановой фольги, так и через систему отверстий с диафрагмами. Для расширения технологических возможностей мы разработали и изготавливаем системы двустороннего и кольцевого облучения, обеспечивающие эффективное использование пучка, выведенного в атмосферу через фольгу, при облучении кабелей или труб большого диаметра, а также двустороннее облучение лент шириной до 300 мм. Система эффективно работает при энергии электронов выше 1.7 МэВ. Принцип работы такой системы изображен на рис. 2. Система поставляется как дополнительное оборудование к типовой машине и легко устанавливается и удаляется при смене технологии.

	Диапазон энергий, МэВ	Мощность в пучке, кВт	Максимальный ток пучка, мА
ЭЛВ-мини	0.2 – 0.4	20	50
ЭЛВ-0.5	0.4 – 0.7	25	40
ЭЛВ-1	0.4 – 0.8	25	40
ЭЛВ-2	0.8 – 1.5	20	25
ЭЛВ-3	0.5 – 0.7	50	100
ЭЛВ-4	1.0 – 1.5	50	40
ЭЛВ-6	0.8 – 1.2	100	100
ЭЛВ-6М	0.75 – 1.0	160	200
ЭЛВ-8	1.0 – 2.5	90	50
ЭЛВ-12	0.8 – 1.0	400	400

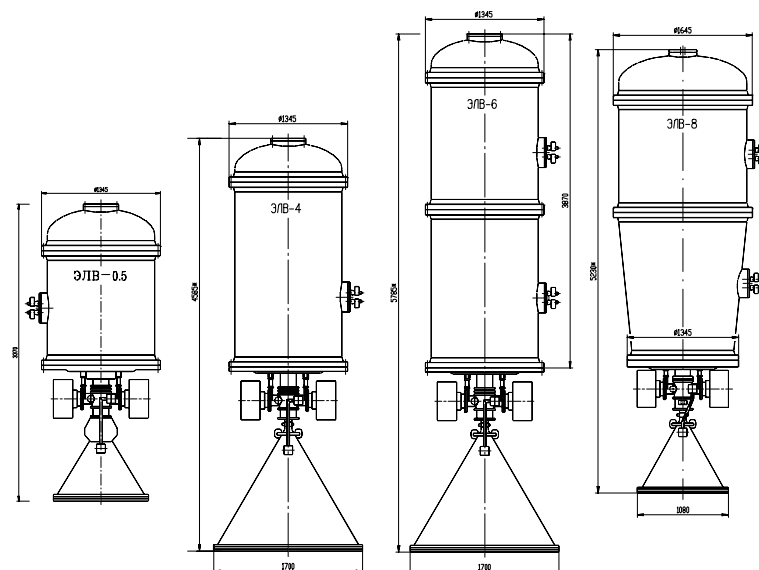


Рис. 1: Габаритные размеры ускорителей ЭЛВ с выводом пучка через фольгу.

Кроме указанных устройств, Институт поставляет подпучковое оборудование для облучения пленки, кабеля или трубок, а также проектирует в соответствии с требованиями заказчика, изготавливает и поставляет местную радиационную защиту для этих ускорителей.

Ускорители серии ЭЛВ применяются практически во всех технологических процессах, где требуется электронный пучок. Так ускорители с фольговым выпуском используются в следующих радиационно-технологических процессах:

- производство термоусаживаемых материалов; радиационная модификация полиэтиленовой изоляции проводов и кабелей;
- производство вспененного полиэтилена;
- производство резино-технических изделий;
- модификация строительных материалов;
- обработка сточных вод;
- обработка газовых выбросов;
- дезинсекция зерна.

Ускорители ЭЛВ могут быть оборудованы и устройством для вывода электронно-го пучка в атмосферу через систему отверстий в диафрагмах (рис. 3). Размер пучка на выходе составляет величину не более 2 мм. Вакуум в ускорительной трубке обеспечивается системой дифференциальной откачки.

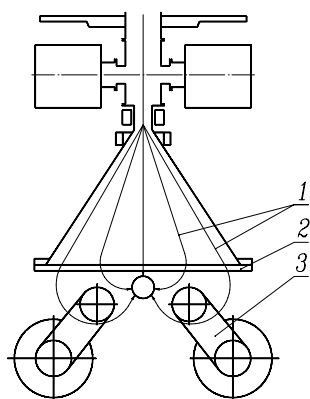


Рис. 2: Система кольцевого облучения: 1 — траектории электронов, 2 — выпускное окно, 3 — поворотные магниты.

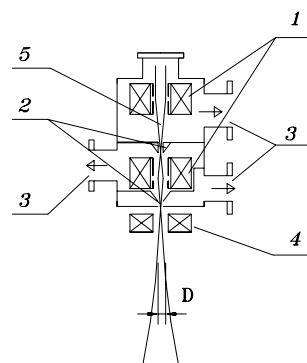


Рис. 3: Схематический чертеж выпускного устройства: 1 — магнитные линзы, 2 — диафрагмы, 3 — вакуумпроводы, 4 — магниты сканирования, 5 — примерный вид огибающей пучка.

Система сканирования обеспечивает необходимую конфигурацию дозного поля (см. рис. 4) в соответствии с требованиями технологии. Выпуском сфокусированного электронного пучка могут быть оборудованы ускорители типов ЭЛВ-2, ЭЛВ-3, ЭЛВ-4 и ЭЛВ-6.

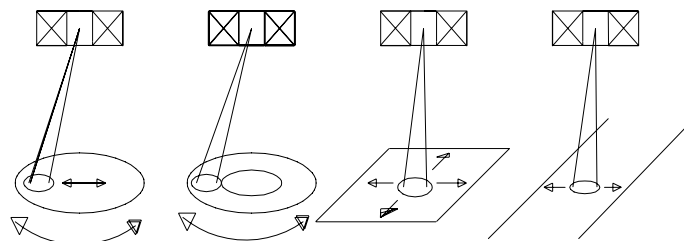


Рис. 4: Возможные конфигурации полей облучения.

Вследствие очень высокой плотности мощности такие машины применяются, в основном, в высокотемпературных процессах, таких как:

- поверхностная закалка и наплавка;
- сварка и резка при атмосферном давлении;
- производство катализатора синтеза аммиака;
- твердофазный синтез и спекание керамических материалов;
- испарение любых материалов;
- получение ультрадисперсных частиц;
- деструкция высокотоксичных или трудноразложимых веществ.

В настоящее время в нашем Институте разрабатываются ускорители нового поколения. В области машин с выпуском через фольгу мы спроектировали ускоритель с током пучка до 400 мА и двумя ускорительными трубками, соединенными с выпрямителем газовыми фидерами (рис. 5). В принципе, проектируемый выпрямитель, если будет потребность, сможет обеспечивать мощность до 1 МВт, при этом число излучателей будет увеличено.

В области машин с выпуском концентрированного пучка мы изготовили и испытали ускоритель “Факел” (рис. 6) с диапазоном энергии 0.5 – 0.8 МэВ и мощностью 500 кВт. Компрессия пучка осуществляется адиабатически нарастающим продольным магнитным полем.

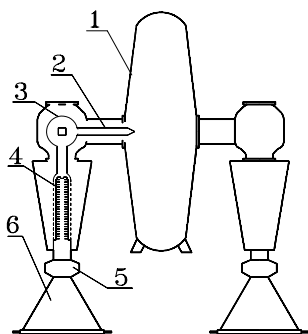


Рис. 5: Ускоритель ЭЛВ-12 мощностью 400 кВт: 1 — источник ускоряющего напряжения, 2 — газовый фидер, 3 — система управления инжектором, 4 — ускорительная трубка, 5 — система формирования раstra, 6 — выпускное устройство.

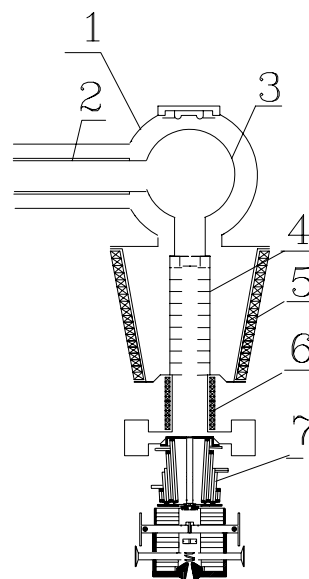


Рис. 6: Ускоритель “Факел”: 1 — источник ускоряющего напряжения, 2 — газовый фидер, 3 — система управления инжектором, 4 — ускорительная трубка, 5;6;7 — система формирования раstra и вакуумная система.

Вклад Института в развитие радиационных технологий заключается не только в разработке и изготовлении электронных ускорителей. В течение 20 лет в Институте эксплуатируется стенд для исследования и отработки электронно-лучевых технологий. Потенциальные потребители практически без каких либо ограничений могут проводить на нем эксперименты. Работы проводятся либо совместно, либо участие Института ограничивается на уровне консультаций.

Наработанный опыт проектирования и эксплуатации ускорителей серии ЭЛВ позволяет предложить покупателю машины, по своим параметрам не уступающие лучшим мировым образцам. Подтверждением этого являются неоднократные победы в конкурсах на поставку ускорителей с участием ведущих мировых фирм, производящих ускорители.