

ЭЛЕМЕНТЫ УСКОРИТЕЛЕЙ

УДК 621.384.6

РАЗВИТИЕ МОДЕЛЬНОГО РЯДА И ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛВ

*Н.К. Куksанов, С.Н. Фадеев, Ю.И. Голубенко, Д.А. Козут, А.И. Корчагин,
А.В. Лаврухин, П.И. Немытов, Р.А. Салимов, Е.В. Домаров
ИЯФ им. Г.И. Будкера, Новосибирск, Россия
E-mail: kuksanov47@mail.ru*

Презентация новых моделей ускорителей ЭЛВ мощностью до 100 кВт в диапазоне энергий от 0,8 до 1,5 МэВ, выпускаемых Институтом ядерной физики Сибирского отделения Российской академии наук. Показаны основные направления развития современных промышленных ускорителей, в том числе повышение эффективности их использования за счет адаптации к существующим технологическим процессам и более тесной интеграции с существующим вспомогательным оборудованием.

Радиационно-химические технологии с применением ускорителей электронов в качестве источников ионизирующего излучения получили широкое развитие, начиная с середины шестидесятых годов, и к настоящему времени прочно закрепились в структуре мирового промышленного производства, подтвердив свою эффективность, а в ряде случаев и уникальность. Современная промышленность широко использует технологические процессы с использованием пучков электронов для радиационной модификации полимеров, стимулирования или инициирования химических реакций, очистки дыма, очистки сточных вод, дезинфекции зерна и так далее. Заметное количество ускорителей установлено и эксплуатируется в различных научно-исследовательских центрах и отраслевых лабораториях, что приводит к росту объемов производства радиационно-модифицированных изделий, а также появлению новых технологий и

материалов, использующих электронные пучки для получения новых, а часто и уникальных свойств.

Институт ядерной физики Сибирского отделения Российской академии наук является одним из мировых лидеров в области разработки, проектирования, производства и внедрения в промышленность ускорителей электронов различного типа (ускорители непрерывного действия на основе высоковольтного выпрямителя, высокочастотные, импульсные), перекрывающих широкий диапазон как по энергии ускоренных электронов, так и по мощности [1]. В этом спектре оборудования, производимого институтом, отдельное место занимает производство ускорителей ЭЛВ, компактные размеры и высокие эксплуатационные качества которых позволили ИЯФ СО РАН занять ведущие позиции на рынке промышленных ускорителей как в России, так и за рубежом.

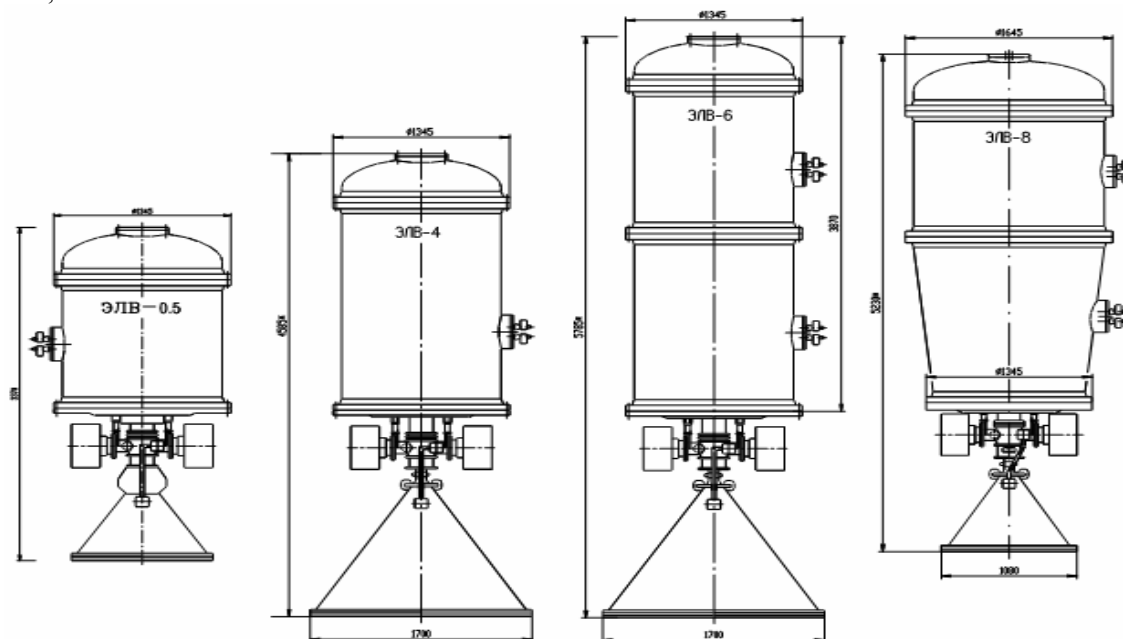


Рис.1. Характерные размеры ускорителей ЭЛВ

Выпускаемые в настоящее время ускорители электронов серии ЭЛВ непрерывного действия на основе высоковольтного выпрямителя перекрывают диапазон по максимальной мощности отдельной машины от 20 до 100 кВт и по энергии ускоренных

электронов от 0,3 до 2,5 МэВ (характеристики указаны в Табл.1, а характерные размеры – на Рис.1), для экологических и исследовательских целей – до 400 кВт при максимальном токе пучка до 0,5 А.

Таблица 1

Ускори- тель	Диапазон энергий, МэВ	Мощность пучка, кВт	Максималь- ный 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	100	50
ФАКЕЛ	0,5...0,8	500	800
ЭЛВ-12	0,8...1,0	400	400

Жесткие рыночные условия и возрастающий спрос на модифицированные материалы формируют у промышленных производителей потребность в более мощных и эффективных электронных ускорителях, позволяющих увеличить объемы выпускаемой продукции, часто без сложных и дорогостоящих затрат на замену всего оборудования [2-3]. В Табл.2 приведены параметры ускорителей последних 38 контрактов. Часть этих машин уже поставлена, остальные – готовятся к поставке.

Таблица 2

Максимальная энергия элект- ронов, МэВ	Максимальная мощность пучка, кВт	Количество ускорителей
1	100	11
1	70	1
1,5	100	14
2,5	100	10
2,5	50	1
0,7	20	1 (мобильный)

Как видно из таблицы, по максимальной энергии востребованные ускорители распределены достаточно равномерно, начиная с энергии 1 МэВ. Подавляющее большинство имеет мощность 100 кВт. Поэтому в настоящее время развитие модельного ряда ЭЛВ идет по пути увеличения мощности ускорителей в диапазоне 1,0...1,5 МэВ, где требуемой мощностью обладал только ускоритель ЭЛВ-6 при максимальной энергии 1,2 МэВ. Одновременно изменения коснулись и весогабаритных характеристик. Сконструированные в новом типоразмере эти ускорители гибко расширяют диапазон мощностей и энергий более габаритных предыдущих моделей ЭЛВ-6, что позволяет:

- производить более мощные пучки электронов, наиболее точно удовлетворяющие существующим потребностям производства, учитывая имеющиеся и появляющиеся новые промышленные технологии;
- производить модернизацию (или замену) имеющегося ускорительного оборудования без изменения существующего технологического сопровождения, как то перемоточных линий, подающего и приемного оборудования и т.д.

Для решения этих задач была изменена конструкция первичной обмотки каскадного генератора с

параллельной индуктивной связью с целью улучшения теплоотвода; изменена схема подключения внутри колонны высоковольтных выпрямительных секций. Предыдущие модели использовали последовательную схему соединения (Рис.2,а), а сами выпрямительные секции собирались по схеме с удвоением напряжения.

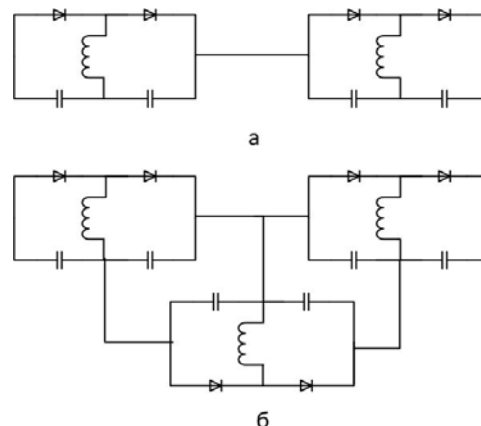


Рис.2. Схемы выпрямительных секций

Использование последовательно-параллельного включения (Рис.2,б), при котором каждый конденсатор в секции заряжается через соответствующий диод своей или соседней секции, позволяет получить более сильноточную колонну.

При последовательном соединении форма пульсаций напряжения на конденсаторах соответствует однополупериодному режиму выпрямления, а при последовательно-параллельном соединении – двухполупериодному. Последовательно-параллельная схема аналогична мостовой схеме выпрямления, но обеспечивает защиту элементов высоковольтного выпрямителя (катушки, диодов и конденсаторов) от перенапряжений при пробоях газовой или вакуумной изоляции в той же степени, что и схема удвоения. Параметры новых машин приведены в Табл.3. Структура и размеры ускорителей ЭЛВ4-1,2 показаны на Рис.3.

Таблица 3

Модель ускорителя	ЭЛВ 4-1	ЭЛВ 4-1,2	ЭЛВ 4-1,5
Максимальная энергия, МэВ	1	1,2	1,5
Максимальный ток пучка, мА	100	83	70
Мощность пучка, кВт	100	100	100

Одновременно с изготовлением вышеуказанных ускорителей были разработаны передвижные ускорительные установки. На Рис.4 показан созданный совместно с нашими партнерами – южнокорейской компанией «ЕВТех», ускоритель мощностью 20 кВт с максимальным током пучка до 30 мА, расположенный вместе с радиационной защитой внутри трейлера. Основной задачей таких ускорителей является устранение небольших локальных загрязнений.

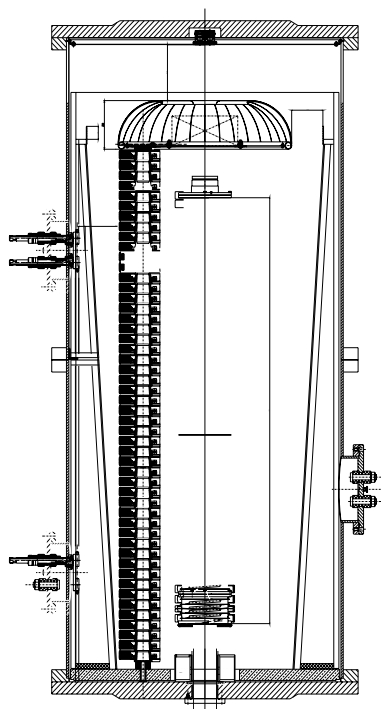


Рис.3. Структура и размеры ускорителей ЭЛВ-1,2



Рис.4. Передвижная ускорительная установка

Другим важным направлением в совершенствовании ускорительной техники является адаптация ускорительных комплексов под требования существующего технологического оборудования и их интеграция с промышленными технологиями. Так, для увеличения производительности продукции и в соответствии с пожеланиями заказчиков была модифицирована система сканирования и выпуска пучка. Длина выпускного окна увеличена с 1600 до 2000 мм (Рис.5), что позволило одновременно производить облучение двух и более различных видов продукции.



Рис.5. Модификация выпускного устройства

Другими примерами интеграции, позволяющей повысить эффективность производства, служат установленный на ОАО «Подольсккабель» информационно-измерительный комплекс по визуализации текущих параметров ускорителя и технологического процесса облучения (Рис.6) и разработанная в институте универсальная подпучковая транспортная система.

Ее конструкция, показанная на Рис.7, состоит из 2 барабанов, один из которых является ведомым, а другой – ведущим, и управляется системой управления ускорителя. Это снижает риск растяжения облученных продуктов и предотвращает снижение диаметра изоляции кабеля.

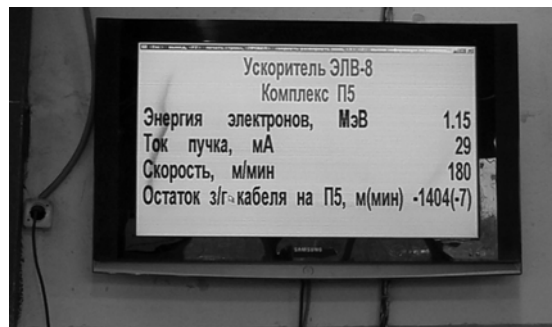


Рис.6. Информационно-измерительная система по визуализации текущих параметров ускорителя

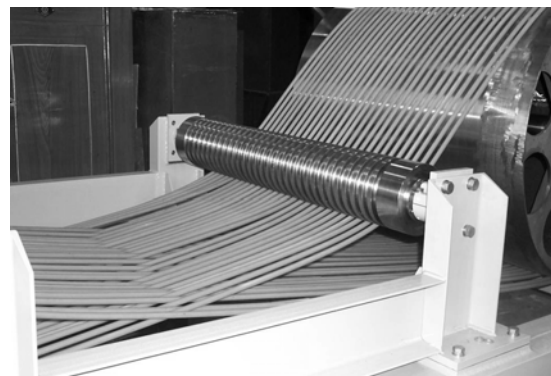


Рис.7. Универсальная подпучковая транспортная система

На сегодняшний день ИЯФ занимает ведущие позиции среди фирм производителей облучающего оборудования для промышленных целей. Заметное количество ускорителей установлено и эксплуатируется в различных научно-исследовательских центрах, отраслевых лабораториях и в производстве. Многие фирмы, эксплуатирующие ускорители других производителей, приобретают ускорители серии ЭЛВ. Нарботанный опыт проектирования и эксплуатации ускорителей серии ЭЛВ позволяет предложить покупателю машины, не только уступающие по своим параметрам лучшим мировым образцам, но и во многом превосходящие их.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. N.K. Kuksanov, S.N. Fadeev, Y.I. Golubenko, D.A. Kogut, A.I. Korchagin, A.V. Lavrukhin, P.I. Nemytov, R.A Salimov. High Power ELV Accelerators for Industries Application // *Proceeding of RuPAC-2010*. Protvino, Russia, 2010.

2. М.Э. Вейс, Н.К. Куksанов, В.Е. Долгополов, А.В. Лаврухин, Р.А. Салимов, П.И. Немытов и др. Усовершенствованный промышленный ускоритель электронов для облучения кабельной изоляции // *Кабели и провода*. М., 2004, №4 (287), с.16-19.
3. С.Н. Фадеев, Р.А. Салимов, П.И. Немытов и др. Подпучковое оборудование для расширения технологических возможностей ускорителей ЭЛВ //

Сборник докладов X Международного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине. Санкт-Петербург, 1-4 октября, 2001. с.68. См. также Вестник "Радтех-Евразия", Новосибирск, 2002. с.8-13.

Статья поступила в редакцию 23.09.2011 г.

DEVELOPMENT OF THE MODEL RANGE AND IMPROVE PERFORMANCE ACCELERATORS ELV

N.K. Kukсанov, S.N. Fadeev, Yu.I. Golubenko, D.A. Kogut, A.I. Korchagin, A.V. Lavrukhin, P.I. Nemytov, R.A. Salimov, E.V. Domarov

Presentation of new models of accelerators ELV up to 100 kW in the energy range from 0.8 to 1.5 MeV, produced by the Institute of Nuclear Physics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. It shows the main directions of development of industrial accelerators, including increased efficiency by adapting to existing production processes.

РОЗВИТОК МОДЕЛЬНОГО РЯДУ І ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛВ

М.К. Куksанов, С.М. Фадеев, Ю.І. Голубенко, Д.А. Козут, О.І. Корчагін, О.В. Лаврухін, П.І. Немытов, Р.А. Салимов, Є.В. Домаров

Презентація нових моделей прискорювачів ЕЛВ потужністю до 100 кВт у діапазоні енергій від 0,8 до 1,5 МеВ, що випускаються Інститутом ядерної фізики Сибірського відділення Російської академії наук. Показані основні напрямки розвитку сучасних індустріальних прискорювачів, у тому числі підвищення ефективності їх використання за рахунок адаптації до існуючих технологічних процесів та більш тісної інтеграції з існуючим допоміжним обладнанням.