

На правах рукописи



Когут Дмитрий Анатольевич

Разработка и усовершенствование узлов промышленных ускорителей ЭЛВ для улучшения эксплуатационных параметров

Специальность 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Новосибирск - 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:	
КУКСАНОВ Николай Константинович	доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск
ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:	
КОВАЛЬ Николай Николаевич	доктор технических наук, Учреждение Российской академии наук Институт сильноточной электроники Сибирского отделения РАН, г. Томск
РЕМНЕВ Геннадий Ефимович	доктор физико-математических наук, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования Томский политехнический университет, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, г. Томск
ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:	АО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ИМ. Д.В.ЕФРЕМОВА» (АО «НИИЭФА»), г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится 21 октября 2021г. в 17:00 на заседании диссертационного совета 24.1.162.01 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН и на сайте:

http://inp.nsk.su/images/diss/Kogut_disser.pdf.

Автореферат разослан 11 августа 2021г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук



А. В. Бурдаков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Технологии с применением электронно-лучевой обработки веществ и материалов в различных отраслях промышленности позволяют получать материалы как с лучшими, так и с качественно новыми физико-химическими свойствами. В настоящее время во всем мире используется более 1400 сильноточных ускорителей электронов в промышленной коммерческой эксплуатации.

Современные промышленные технологии, использующие радиационную модификацию материалов, предъявляют к ускорителям три основных требования:

- Большая мощность пучка. Типичное значение лежит в диапазоне от 50 до 100 кВт, что соответствует при энергии 1,0 МэВ току пучка $50 \div 100$ мА.
- Промышленная надежность. Ускорители должны быть доступны для использования двадцать четыре часа в сутки, семь дней в неделю. Стабильность параметров, таких как энергия и ток пучка, равномерность дозы облучения под выпускным окном, должны обеспечивать высокое качество обработки изделий.
- Промышленное доверие определяется как надёжностью работы оборудования, уровнем сервиса представляемому покупателю в интерфейсе между оператором или системой управления технологической линией, качеством гарантийного обслуживания и послегарантийного сервиса, готовностью поставщика адаптировать существующее оборудование к условиям новых техпроцессов. Поскольку

установка и подготовка к работе электронных ускорителей в высоком и среднем диапазоне энергий требует значительных капитальных вложений, авторитет поставщика приобретает первостепенное значение для успеха всей отрасли.

Рассматриваемые в данной работе ускорители электронов ЭЛВ на основе высоковольтных каскадных генераторов нашли широкое технологическое и научное применение в диапазоне энергий от 400 кэВ до 3 МэВ. Эти ускорители построены с использованием унифицированных систем и узлов, что позволяет с минимальными затратами адаптировать их к конкретным требованиям технологических процессов, таким как диапазон энергий, мощность пучка ускоренных электронов, длина выпускного окна.

В связи с тем, что основные технологические процессы, в которых задействованы ускорители ЭЛВ, связаны с радиационной обработкой полимеров и используют диапазон энергий до 1,5МэВ, совершенствование модельного ряда ЭЛВ идет по следующим направлениям:

- увеличение тока пучка ускорителей с энергиями в диапазоне 0,5÷1,5 МэВ [2] и при максимальной выходной мощности до 100кВт в пучке;
- разработка моделей ускорителей ЭЛВ с параметрами, удовлетворяющими новым технологическим применениям и требованиям научных исследований;
- адаптация ускорителей ЭЛВ при модернизации существующего устаревшего ускорительного оборудования;

- более глубокая интеграция ускорителей с существующим технологическим оборудованием для повышения эффективности использования пучка и автоматизации производственных процессов, в том числе оптимизации рабочего времени обслуживающего персонала.

Поэтому исследования, направленные на решение указанных задач, сохраняют свою актуальность.

Цели исследования:

- Создание моделей каскадных генераторов трансформаторного типа мощностью до 100 кВт для ускорителей ЭЛВ, предназначенных для работы в диапазоне энергий $0,8 \div 1,5$ МэВ и током пучка до 100мА, с учетом современной компонентной базы высоковольтной колонны.

- Рассмотрение возможностей для повышения эффективности использования инжектируемых пучков электронов при радиационной модификации материалов.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. На основе анализа существующей современной компонентной базы предложить модели высоковольтной колонны, удовлетворяющие требованиям промышленных технологических процессов по величине пульсаций энергии. Сопоставить расчетные данные моделей с экспериментальными, проанализировать характер наблюдаемых пульсаций энергии.

2. Исследовать возможности повышения эффективности использования электронного пучка в технологических процессах, в том числе, предложить

способы (методики) повышения однородности облучения для разных типов обрабатываемого материала (кабели и пленки).

3. Предложить способы повышения эффективности использования оборудования, на основе анализа работы персонала ускорительных комплексов.

Областью исследования настоящей работы являются процессы в высоковольтных каскадных генераторах промышленных ускорителей электронов ЭЛВ и способы повышения эффективности использования пучка электронов при промышленном облучении.

Теоретическая ценность работы состоит в том, что разработаны программные модели каскадных генераторов ускорителей ЭЛВ, позволяющие с достаточной точностью рассчитывать пульсации энергии пучка.

Разработан способ количественной оценки азимутальной неоднородности дозы облучения изоляции кабельной продукции, методика расчета добавочной емкости для повышения однородности облучения широких лент.

Практическая значимость:

1. Обоснована возможность применения высоковольтных конденсаторов импортного производства с емкостью 3300-3500pF и показано, что переход на новую компонентную базу электронных компонентов высоковольтной колонны не повлиял на основные параметры и надежность работы ускорительного оборудования. Предложенная методика замены неисправных конденсаторов в схемах каскадных генераторов обеспечила совместимость с уже существующими ускорителями и ремонтпригодность с использованием новых компонентов.

2. Последовательно-параллельная схема включения повышающих секций высоковольтного выпрямителя позволила создать ускорители с максимальным током 100мА более компактного типоразмера в сравнении с предыдущей моделью ЭЛВ-6 при эквивалентных параметрах и упрощенных процедурах обслуживания и ремонта, являющегося сейчас наиболее востребованным для технологических процессов с током от 60 до 100мА.

3. Смоделирован высоковольтный каскадный генератор для проекта БНЗТ и проведен расчет пульсаций энергии с учетом конструкционных емкостей повышающих секций на экран первичной обмотки и высоковольтного фидера.

4. Методика повышения однородности дозы была реализована при реконструкции ускорителя в 2012 году, и используется при требованиях к распределению однородности дозы облучения менее 4% при обработке пленочных материалов шириной до 2000мм.

5. В настоящее время большинство ускорителей для облучения кабельной изоляции комплектуются системой четырехстороннего облучения.

6. Информационная система по визуализации текущих параметров ускорителя и технологического процесса облучения позволила оптимизировать работу персонала и увеличить выпуск продукции на комплексе из двух ускорителей ЭЛВ и шести приемно-подающих комплексов. Дополнительная фиксация параметров радиационной обработки материалов позволила контролировать качество выпускаемой продукции и используется в качестве

арбитражных материалов при выяснении причин брака внутри технологической цепочки.

Апробация результатов исследования. Результаты, полученные в рамках работы над диссертацией, представлялись и обсуждались на следующих научно-методических конференциях:

- 1st International Symposium on Polymer Modification with High Energy Electrons (Дрезден, Германия, 2010),
- X Международном семинаре по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В. П. Саранцева (Алушта, Россия, 2013),
- XXII и XXIII Международный семинарах по ускорителям заряженных частиц (IWCPA-2011 и IWCPA-2013, Алушта, Россия),
- X и XII Международных конференциях по электронно-лучевым технологиям (ЕВТ-2014 и ЕВТ-2016, Варна, Болгария),
- XXII, XXIII и XXIV Российской конференциях по ускорителям заряженных частиц (RuPAC-2010 (Протвино), RuPAC-2012 (Санкт-Петербург), RUPAC-2014 (Обнинск)),
- IV Российской конференции "Актуальные проблемы химии высоких энергий" (Москва, 2015),
- 24th Конференции по применению ускорителей в Исследованиях и Промышленности (CAARI-2016, Fort Worth, TA USA, 2016).

Внедрение результатов работы. Результаты диссертации использованы при выполнении следующих контрактных и опытно-конструкторских работ: методика повышения однородности дозы впервые применена при реконструкции ускорителя на Ижевском заводе пластмасс в 2012 году и сейчас используется при аналогичных требованиях для облучения широкого листа полиэтилена; четырехсторонняя система облучения работает с 5-ю ускорителями ЭЛВ, инсталлированными совместно с «Shanxy Yiruidi Electrical Technology Co. Ltd» (КНР), а также применяется на 8-и ускорителях ЭЛВ в России (ОАО «Экспокабель», ОАО «Подольсккабель», ОАО «РОССКАТ» и АО «Кабельный завод «Кавказкабель»); последовательно-параллельная схема каскадного генератора ЭЛВ применена в 9-ти ускорителях, инсталлированных по контрактам «EB Tech Co. Ltd» (Южная Корея); информационная система контроля в настоящее время действует на двух ускорителях ЭЛВ ОАО «Подольсккабель».

Основные положения и результаты исследования, выносимые на защиту:

1. Модели каскадных генераторов и преобразователя частоты, позволяющие моделировать работу ускорителя и рассчитывать уровень пульсаций энергии пучка и режимы работы элементов преобразователя и повышающих секций.

2. Методика повышения линейной однородности облучения для выпускных устройств ускорителя длиной более 2000 мм.
3. Количественная оценка азимутальной однородности облучения для системы двух- и четырехстороннего облучения.
4. Информационная система контроля процесса облучения.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 66 наименований. Объем диссертации составляет 123 страницы, в том числе 75 рисунков и 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится краткий анализ требований, предъявляемый к промышленным ускорителям ускорителей, обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, формулируются цели и основные задачи, решению которых посвящена работа. цели и исследования, схематично изложено распределение материала по главам, приведены положения, выносимые на защиту, раскрыты научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе приведен краткий обзор архитектуры ускорителей ЭЛВ и стоящие при развитии этого модельного

ряда проблемы, обоснованы и сформулированы конкретные задачи, решаемые в последующих главах:

В разделе 1.2 главы рассмотрены особенности современных высоковольтных конденсаторов, применяемых в каскадных генераторах ЭЛВ (рис. 1) и сформулированы требования, предъявляемые к архитектуре каскадных генераторов, построенных на этих конденсаторах.

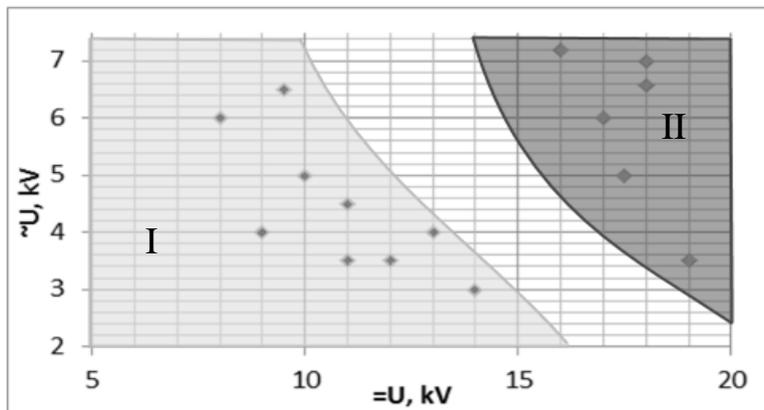


Рис.1. Диапазоны работы конденсаторов AVX 3300pF/30kV. (I – область стабильной работы конденсаторов, II – зона пробоя конденсаторов).

В разделе 1.3 обосновывается постановка задач по повышению однородности облучения широкой ленты и кабельной заготовки. Приводится описание системы четырехстороннего облучения.

В разделе 1.4 ставится задача по созданию информационно-измерительной системы.

Во второй главе проведена оценка допустимого уровня пульсаций энергии при радиационной модификации изоляции кабелей (Рис. 2) и показано, что распределение мощности дозы в пределах рабочего участка (т.е. при условии, что линейная плотность дозы по глубине проникновения в веществе $D_{out}=D_{in}$) для монохроматического и пульсирующего пучков эквивалентно при увеличении средней энергии пульсирующего пучка на $2\div 2,5\%$ относительно моноэнергетического.

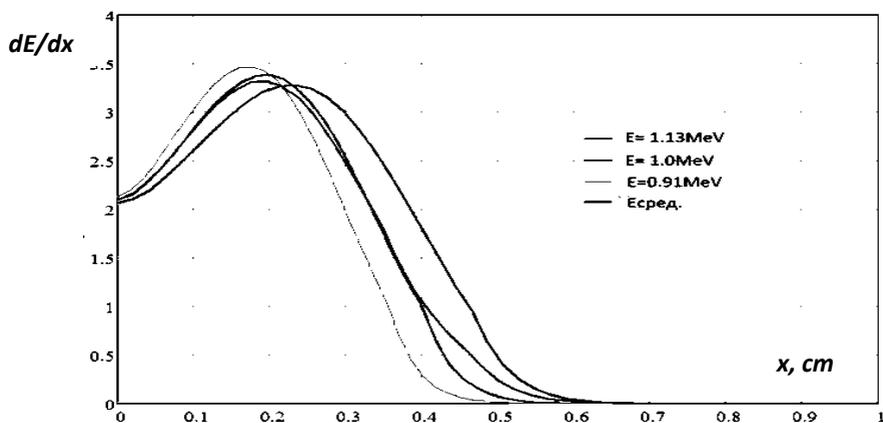


Рис. 2 Мощность поглощенной дозы тормозного излучения в полиэтилене по глубине в зависимости от энергии электронов.

В разделах 2-3 главы приведены расчеты эквивалентных схем для модели высоковольтного трансформатора с учетом дисковой и цилиндрической частей магнитопровода и пересчет высоковольтной колонны с учетом конструктивных емкостей повышающих секций на экран первичной обмотки в эквивалентную схему модели с меньшим числом повышающих секций.

Таблица 1. Результаты моделирования высоковольтной колонны с разными значениями конденсаторов в плечах секций и учетом конструкционных емкостей

	U _{min} , kV	U _{max} , kV	ΔU, kV	Усред. , kV	%
Без учета емкости секции на «землю» и в/в электрода, С _{пл} =20nF	31,9	34,7	2,84	33,3	4,21
Без учета емкости секции на «землю» и в/в электрода, С _{пл} =7nF	37,8	30,2	8,21	33,3	11,17
С учетом емкости секции на «землю» и в/в электрода, С _{пл} =20nF	32,5	34,3	1,83	33,4	2,69
С учетом емкости секции на «землю» и в/в электрода, С _{пл} =7nF	31,8	34,9	3,06	33,4	4,64

С учетом параметров реальных компонентов, применяемых в ускорителях ЭЛВ, проведен расчет пульсаций энергии для ускорителя ЭЛВ-4 для пучка мощностью 100кВт при энергии 1,5МэВ при использовании конденсаторов в выпрямительных секциях емкостью 10nF и 3,5nF с учетом и

без учета влияния конструктивных емкостей (Таблица 1). Из представленных в работе расчетных графиков работы электронных компонентов повышающих секций делается вывод, что при увеличении количества секций в высоковольтной колонне с 37 до 45 и замене на конденсаторы емкостью $3,5\text{nF}$, режим работы последних находится в стабильной области («зона I» рис.1), при этом параметры работы диодов и катушек секций не выходят из допустимых пределов.

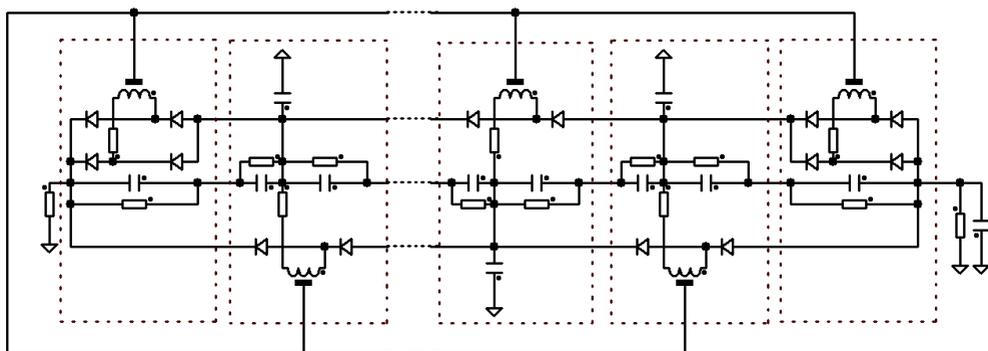


Рис. 3 Модель высоковольтной колонны, построенной по последовательно-параллельной схеме в регулярной части и использованием мостового включения диодов для крайних секций.

В разделе 4 рассматриваются модели ускорителей трансформаторного типа с энергией пучка до 1МэВ и мощностью 100кВт и обосновывается использование последовательно-параллельной схемы включения повышающих секций с мостовым включением диодов на краях высоковольтной колонны (Рис. 3). Приведен расчет параметров работы компонентов выпрямительных секций, показывающий работу компонентов в допустимых пределах.

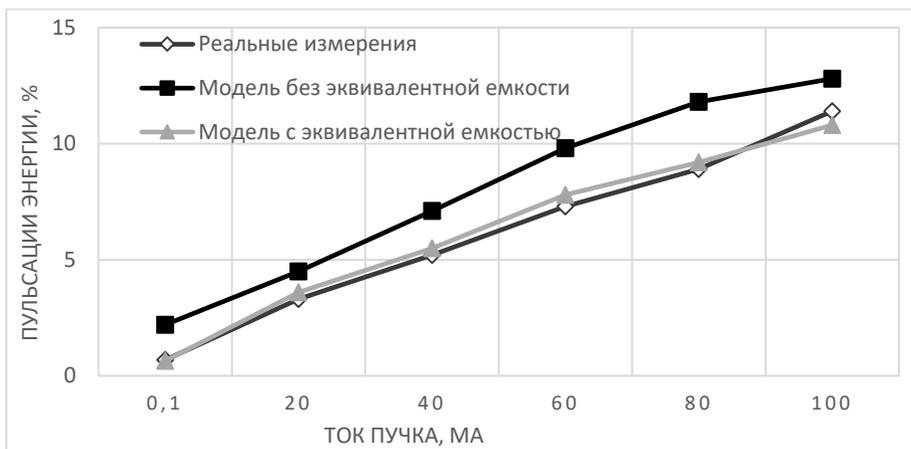


Рис.4. Сравнение реально измеренных и расчетных пульсаций энергии в зависимости от тока пучка с учетом эквивалентных конструктивных емкостей.

Раздел 5 сопоставляет результаты моделирования высоко-вольтовой колонны с секциями, собранными по последовательно-параллельной схеме с результатами измерений пульсаций энергии на реальных ускорителях ЭЛВ с учетом и без учета эквивалентных конструктивных емкостей (рис. 4). Показаны пути дальнейшего снижения пульсаций энергии за счет увеличения частоты работы и емкости фильтрующих конденсаторов на входе преобразователя частоты.

В 6-ом разделе рассматривается построение расчетной модели каскадного генератора для проекта БНЗТ. Эквивалентная модель повышающего трансформатора рассчитана с учетом, что длина и высота первичной обмотки примерно равны – $H_{pw} \approx D_{pw}$. Модель высоковольтной колонны содержит 18 повышающих секций, как и оригинальная колонна, собранных по схеме симметричного множителя напряжения (рис.5 слева). В модели для расчета

пульсаций высокого напряжения помимо эквивалентных конструктивных емкостей внешних экранов секций на экран первичной обмотки учитываются конструктивные емкости высоковольтного фидера и ускорительных электродов (рис.5 справа). Расчет первой модели с типовыми

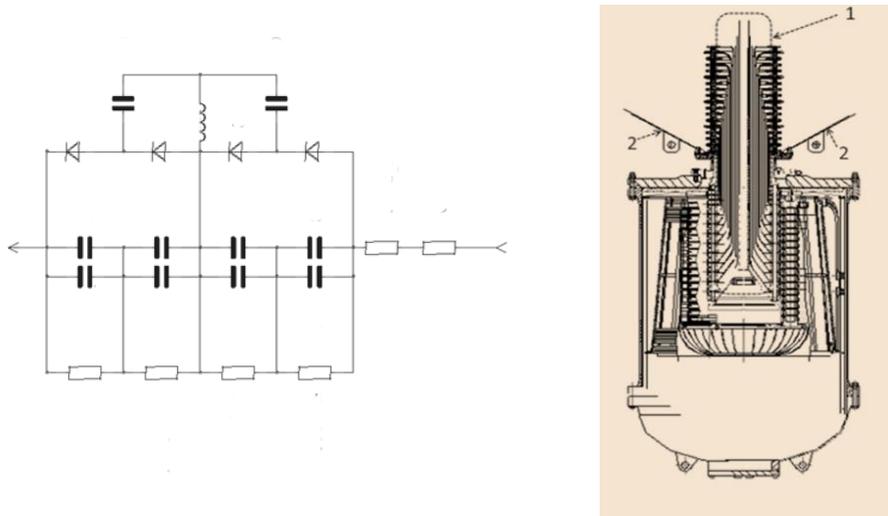


Рис. 5. Электрическая схема секции с четырехкратным умножением напряжения (слева) и общий вид высоковольтного трансформатора проекта БНЗТ (справа) фидера. 1 – трубчатый высоковольтный фидер для передачи потенциалов от колонны к ускоряющим электродам, 2 – ускоряющие электроды (показан внешний электрод).

повышающими секциями на энергии 1,2МэВ с током 20мА показал пульсации на уровне 2,9% с учетом конструктивных емкостей (4,2% без учета оных), что коррелируется с данными реальных измерений – 4%. Поскольку по результатам работы первой модели и с связи с

ужесточившимся требованием максимально снизить пульсаций напряжения в конструкцию высоковольтного генератора БНЗТ был внесен ряд изменений, был промоделирован второй вариант генератора, показавший возможность снижения пульсаций энергий ниже 1% с увеличением частоты преобразователя выше 700Гц.

Из вышеуказанного можно сделать выводы, что созданные компьютерные модели позволяют с достаточной точностью количественно оценить модернизации каскадного генератора для различных требований.

В третьей главе проводится анализ линейного распределения тока пучка вдоль длины выпускного устройства (раструба) в зависимости от формы магнитопровода низкочастотной развертки и, на основании сравнения с реальными измерениями однородности облучения, ставится задача снижения скорости сканирования на краях раструба. Сравнивается два варианта изменения скорости сканирования на краях раструба – увеличение нагрузочного сопротивления R (рис.6 слева) и введение в цепь нагрузки дополнительного конденсатора C (рис.6 справа). Из анализа расчета параметров работы и моделирования в программе NL выбирается использование добавочной емкости – поскольку данный способ не требует увеличения выходного напряжения и мощности системы сканирования. Результаты реального применения данной методики приводятся на примере модернизации ускорителя для облучения широкого полиэтиленового листа в марте 2012 года (Рис. 6, внизу).

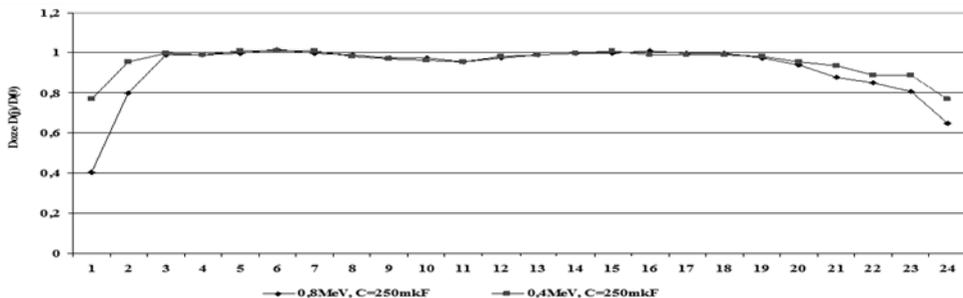
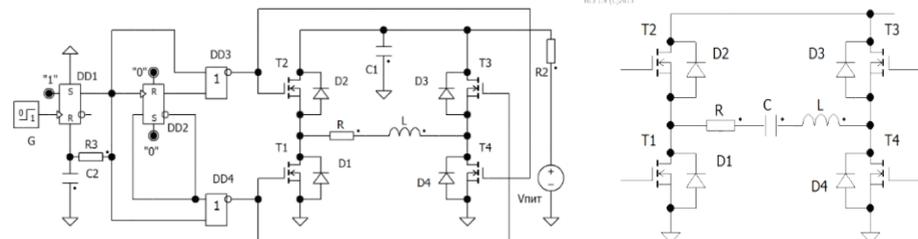


Рис. 6. Изменение схемы для расчёта тока отклоняющей системы в случае RLC-цепи и зависимость приведенной дозы облучения от энергии по длине выпускного окна при добавочной емкости 250мкФ.

В четвертой главе проведена сравнительная оценка эффективности двух- и четырехстороннего облучения, полученная моделированием в среде Mathcad (рис.7) для диапазона энергии от 0,5 до 2,0МэВ на типоразмере изоляции кабелей из полиэтилена марки ВППО-10-271-70к и изложена работа системы четырехстороннего облучения (раздел 4.2).

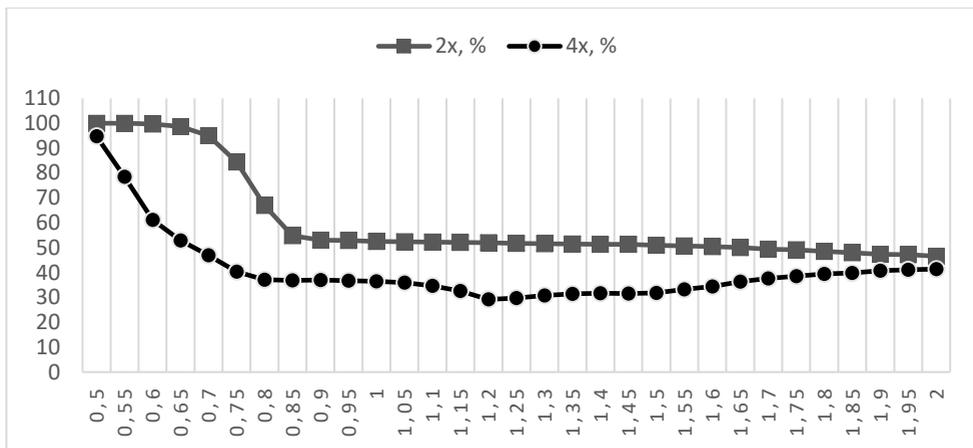


Рис. 7. Зависимость неравномерности поглощенной дозы облучения (в процентах, ось у) от энергии (в МэВ, ось х) для двустороннего (синий) и четырехстороннего облучения (красный).

В разделе 4.3 описываются порядок и процедуры настройки системы четырехстороннего облучения.

В разделе 4.4 показаны результаты практического применения данной системы на ОАО «НП Подольскабель», реальные измерения азимутальной однородности дозы облучения в сравнении с двухсторонним.

В пятой главе дано обоснование создания и реализации информационной системы контроля процесса облучения. Приведено описание системы, функциональная схема (рис. 8 слева), программы управления и визуализации, результаты внедрения на ОАО «НП Подольскабель» (рис. 8 справа).

В заключении перечислены основные результаты работы.

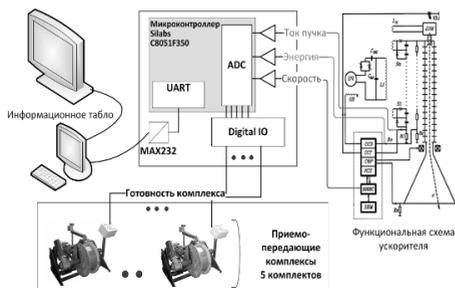


Рис. 8. Функциональная схема и реальная работа информационной системы на участке облучения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время архитектура ускорителей ЭЛВ полностью сформирована. Тем не менее, она является достаточно гибкой для изменения при решении новых задач, как в промышленных, так и научно-исследовательских целях, поэтому работы по совершенствованию ускорителя и его систем управления и питания продолжают непрерывно. Целью данных работ являются повышение эксплуатационных параметров ускорителя, его надежности, времени безаварийной работы, возможности внедрения в новые технологические процессы. Подтверждением этого факта служат основные результаты данной работы:

- Произведена оценка влияния уровня пульсаций энергии на радиационную модификацию типовых материалов. Промоделированы и проверены на экспериментах схемы высоковольтной колонны каскадного генератора, учитывающие особенности применяемых конденсаторов и диодов. Созданы математические модели каскадных генераторов, учитывающие влияние конструктивных емкостей

высоковольтной колонны, которые позволяют с приемлемой точностью рассчитывать параметры работы создаваемых моделей ускорителей ЭЛВ – пульсации энергии, режимы работы высоковольтных компонентов и т.п.

– Показано, что переход на новые высоковольтные конденсаторы не влияет на качество радиационной обработки материалов, проведено тестирование новой компонентной базы высоковольтной колонны. Предложена методика замены конденсаторов на старых моделях ускорителей без снижения надежности работы.

– Обосновано применение последовательно-параллельной схемы для создания ускорителей с током пучка до 100мА, что позволило упростить структуру высоковольтной колонны и снизило затраты на обслуживание оборудования без снижения основных параметров работы. Использование на крайних секциях схемы выпрямления на основе диодного моста позволило повысить надежность работы ускорителя. В настоящее время такая модификация ускорителя ЭЛВ-4 широко востребована в промышленности и составляет до 50% объема всех выпускаемых ускорителей данного типа.

– Проведен расчет пульсаций энергии с учетом конструктивных емкостей высоковольтной колонны и фидера для проекта БНЗТ.

– Предложена простая методика повышения однородности дозы облучения широкой

полиэтиленовой ленты для выпускного окна увеличенной длины.

– Обосновано использование четырёхсторонней системы облучения и показаны её преимущества за счет более эффективного использования тока пучка, меньшей необходимой энергии облучения и снижения азимутальной неоднородности дозы облучения.

– Дополнительная интеграция ускорительного и технологического оборудования в виде системы визуализации и контроля позволило увеличить производство продукции, оптимизировало работу операторского персонала, и помогло наладить дополнительный технологический контроль качества выпускаемых изделий. Сопровождение и сервисное обслуживание позволило выработать подходы для дальнейшей интеграции и автоматизации работы с ускорителями.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 статей в отечественных (4) и зарубежных журналах(4), из которых 3 работы опубликована в реферируемом ВАК издании:

1. Kuksanov N.K., Fadeev S.N., Golubenko Y.I., Kogut D.A., Korchagin A.I., Lavrukhin A.V., Nemytov P.I., Salimov R.A., Domarov E.V. «Development of the model range and improve performance accelerators

ELV», Problems of Atomic Science and Technology Issue 3, June 2012, Pages 15-18

2. Куксанов Н.К. Салимов Р.А. Фадеев С.Н. Немытов П.И. Когут Д.А. и другие «Источники электронного пучка для радиационных технологий» "Актуальные проблемы химии высоких энергий" (Сборник докладов IV Российской конференции) 2015, Москва, из-во "Граница"
3. Куксанов Н.К. , Фадеев С.Н., Салимов Р.А., Голубенко Ю.И., Когут Д.А., Корчагин А.И., Немытов П.И. «Технические средства улучшения качества облучения материалов ускорителями ЭЛВ», "Физика элементарных частиц и атомного ядра". - 2014. - Т. 11, № 5 (189). - С. 950-957
4. Kuksanov N.K., Fadeev S.N., R. A. Salimov, Golubenko Y.I., Kogut D.A., Korchagin A.I., Lavrukhin A.V., Nemytov P.I., Domarov E.V., Semenov A.V. «Technical Facilities for Improving the Quality of Irradiation of Materials by ELV Accelerators», ISSN 1547_4771, Physics of Particles and Nuclei Letters, 2014, Vol. 11, No. 5, pp. 610–614. © Pleiades Publishing, Ltd., 2014.
5. Куксанов Н.К., Фадеев С.Н., Когут Д.А., «Повышение однородности электронно-лучевой обработки материалов ускорителями ЭЛВ», «ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ» №1(20), стр. 94 – 99, 2013.
6. Kuksanov N.K., Golubenko Y.I., Kogut D.A., Nemytov P.I., Chakin I.V. «Information Measuring Support

Electron Accelerators Of Elv And Related Technology Equipment», //Problems of Atomic Science and Technology, 2012, № 3, стр. 211-214

7. Golubenko Y.I., Kuksanov N.K., Salimov R.A., Fadeev S.N., Nemytov P.I., Korchagin A.I., Lavruchin A.V., Semenov A.V., Kogut D.A., and others «The development of ELV accelerators for optimization of EB processing of polymers», ELEKTROTECHNICA & ELEKTRONICA E+E, Vol. 51. No 5-6/2016
8. Kuksanov N.K., Golubenko Y.I., Nemytov P.I., Salimov R.A., Fadeev S.N., Korchagin A.I., Kogut D.A., Domarov E.V., Lavruchin A.V., Cherepkov V.G., Semenov A.V. «Tendency of development of DC type ELV accelerators for industrial application and research experiments», ELECTROTECHNICA & ELECTRONICA (E+E), №№5-6, 2014 стр 168-174

КОГУТ Дмитрий Анатольевич

Разработка и усовершенствование узлов промышленных ускорителей ЭЛВ для улучшения эксплуатационных параметров

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Сдано в набор 01.07.2021 г.

Подписано в печать 02.07.2021 г.

Формат бумаги 60x90 1/6 Объем 1.0 печ.л., 0.8 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 6

Обработано на РС и отпечатано на
ротапринте ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11