

ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

МОЩНЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ И ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ИХ ОСНОВЕ

В.Л. Ауслендер, Р.А. Салимов, А.Н. Скринский, Г.А. Спиридонов

В последние годы все более широкое применение в промышленности, медицине, сельском хозяйстве и ряде других отраслей находит использование электронно-лучевой технологии с использованием ускорителей электронов на энергии от десятых долей до единиц мегавольт.

Общее преимущество этой технологии по сравнению с обычными термическими и химическими методами заключается в ее большей экономической выгоды, энергосберегающем характере, существенно большей компактности (меньшие рабочие площади) и в особенности в ее абсолютной экологической чистоте.

Институтом ядерной физики СО АН СССР разработано два типа ускорителей — ЭЛВ и ИЛУ (рис. 1 и 2), предназначенных для использования в промышленных технологических процессах. Ускорители типа ИЛУ перекрывают диапазон энергий электронов от 400 до 2500 кэВ при максимальной мощности ускоренного пучка от 20 до 40 кВт (в зависимости от диапазона энергий электронов), а типа ЭЛВ — от 200 до 2500 кэВ при максимальной мощности ускоренного пучка от 10 до 100 кВт с относительно высоким промышленным КПД (до 70–80%). Ускорители типа ЭЛВ снабжены как фольговыми системами выпуска электронов в атмосферу, так и системами с выпуском концентрированного пучка через отверстие малого диаметра (2–3 мм). При концентрированном выпуске достигнута продолжительная работа с пучками мощностью до 110 кВт. Для обеспечения эффективного облучения плоских и трубчатых изделий, проводов, цилиндров большого диаметра с односторонним, двусторонним и квазикруговым облучением в институте созданы линейные системы выпуска различной длины (от 400 до 2000 мм) (рис. 3), системы выпуска типа трапеции, елочки, лирообразные системы. Разработаны и созданы различные магнитные системы, расширяющие возможности выпускных устройств и повышающие эффективность использования электронных пучков при реализации ряда процессов, а также специальные системы протяжки проводов и трубок в зоне действия электронного пучка.

В развитие разработанных концепций ускорителей ЭЛВ и ИЛУ институтом развернута работа по созданию новых, более мощных ускорителей: ведутся разработки ускорителей с энергией 2,5–3,0 МэВ и мощностью 150–200 кВт (ЭЛВ) и с энергией до 5 МэВ и мощностью 50 кВт (ИЛУ). Осуществляется сборка опытного образца ускорителя мощностью до 500 кВт с энергией до 10 МэВ.

Институт ядерной физики поставил различным организациям, как внутри страны, так и за рубежом, более 65 ускорителей типа ЭЛВ и ИЛУ в различных модификациях. Ускорители ИЯФ СО АН СССР поставлены в Чехословакию, Болгарию (типа ЭЛВ),

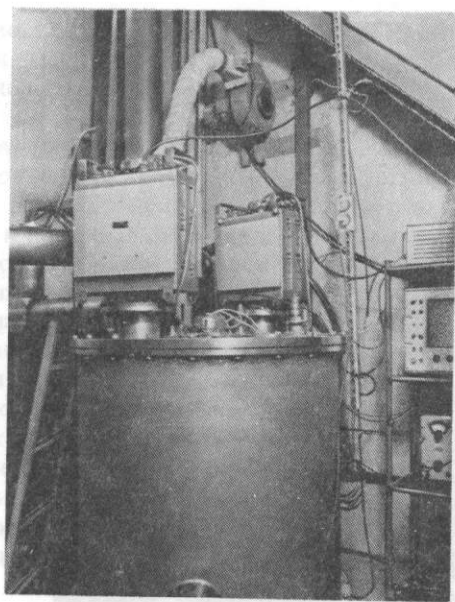
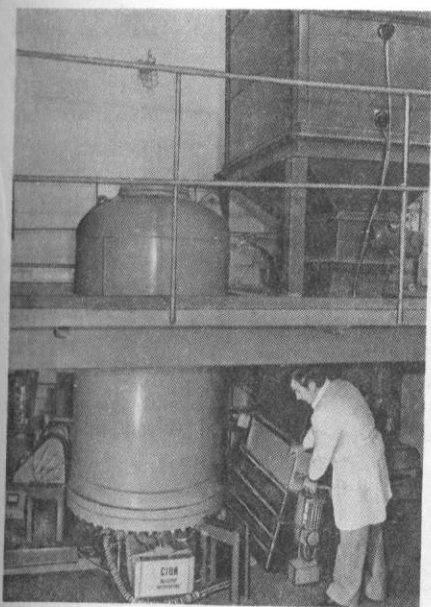


Рис. 1. Ускоритель электронов типа ЭЛВ-2 в установке электронно-лучевой дезинсекции зерна

Рис. 2. Ускоритель электронов типа ИЛУ-6

КНР (типа ИЛУ и ЭЛВ), Польшу, Венгрию и Индию (типа ИЛУ). На базе поставленных за рубеж ускорителей организованы или организуются производства по выпуску термостойких кабельных изделий и проводов, термоусаживаемых трубок. Часть ускорителей используется в целях обработки новых для этих стран технологических процессов.

Оценка потребности промышленности и возможных экспортных поставок такой наукоемкой продукции, как мощные электронные ускорители, особенно с учетом возрастающей потребности в стерилизации медицинских изделий разового применения, составляет не менее 10–15 ускорителей в год.

Дальнейшее развитие ускорительной техники для использования в народном хозяйстве ведется в ИЯФ СО АН СССР по нескольким направлениям:

- увеличение мощности электронного пучка в единичной установке при приближающемся к 90% коэффициенте преобразования электрической энергии в электронный пучок, что особенно важно при использовании ускорителей в крупнотоннажном производстве;

- повышение энергии с сохранением достаточно высокой средней мощности ускоренных электронов (для облучения толстостенных материалов и изделий и достижения более эффективной трансформации электронного пучка в тормозное излучение);

- создание ускорителей на низкие (до 300 кэВ) энергии для отверждения лакокрасочных и защитных полимерных покрытий и производств по выпуску высококачественных магнитных носителей памяти (гибких флоппи-дисков, магнитных лент и др.);

- создание малогабаритных ускорителей электронов с относительно небольшой мощностью в пучке (20–50 кВт), способных работать в широком диапазоне энергий при сохранении номинальной средней мощности, для обработки большого ассортимента изделий с высокой эффективностью (малые габариты ускорителя дают возможность уменьшить затраты на создание радиационной защиты, а для энергий менее 700 кэВ – создавать технологические установки с ускорителями в местной защите);

- разработка специальных систем выпуска пучка электронов в атмосферу, позволяющих создавать специализированные линии для облучения проводов, кабеля, поли-

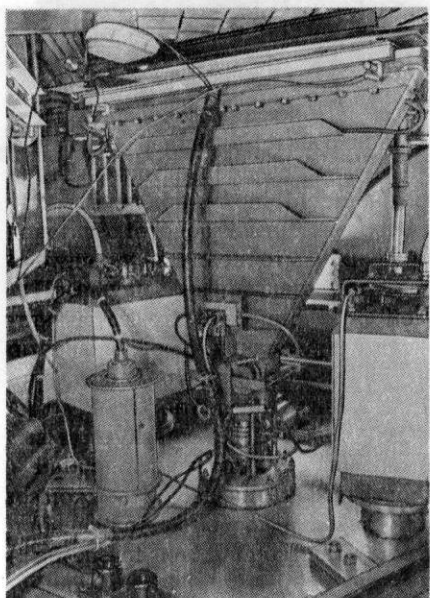


Рис. 3. Типичное устройство для выпуска пучка электронов в атмосферу из ускорителей электронов типа ЭЛВ и ИЛУ ("Линейная развертка")

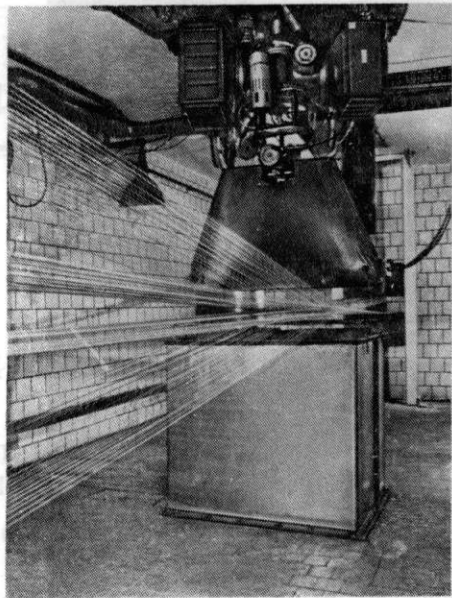


Рис. 4. Камера облучения проводов с использованием ускорителя ЭЛВ-2

мерных труб и шлангов, осуществления различных термических процессов с высокой эффективностью использования ускоренного пучка.

Ниже приводятся конкретные примеры использования ускорителей, разработанных в ИЯФ СО АН СССР.

Радиационная модификация изоляции проводов и кабеля. В настоящее время на предприятиях Минэлектротехприбора СССР работает 14 ускорителей типа ЭЛВ (рис. 4) и один ускоритель типа ИЛУ. Облучение проводов позволяет обеспечить длительную работоспособность дешевой полиэтиленовой изоляции при температурах до 135°C (при кратковременном нагреве до 250°C). Экономический эффект от использования кабельной продукции с облученной изоляцией составляет порядка 50 млн руб. в год.

Производство термоусаживающихся труб, шлангов и др. изделий. После облучения изделия приобретают свойства "памяти" формы. Если его нагреть и растянуть, то после охлаждения в растянутом виде изделие остается увеличенным. При повторном нагреве оно стремится принять прежние размеры и плотно обжимает вложенные в него детали. Около десяти линий в химической и электротехнической промышленности выпускают термостойкие трубки, шланги, пленки. В этом производстве используются ускорители обоих типов. Народнохозяйственный экономический эффект при выпуске таких изделий составляет в год в среднем 1–3 млн руб. на технологическую линию. На предприятиях Министерства атомной энергетики и промышленности организован выпуск термоусаживаемых манжет для монтажа вентсистем. Разработка технологии производства термоусаживаемых изделий осуществлена такими организациями, как НПО "Пластик" и ОНПО "Пластполимер" Министерства химической и нефтеперерабатывающей промышленности СССР, ВНИИ КП Министерства электротехнической промышленности и приборостроения СССР и др.

С использованием электронно-лучевой технологии была выпущена небольшая опытная партия термоусаживаемых манжет для изоляции от коррозии сварных стыков магистральных нефте- и газопроводов из труб с заводской изоляцией, изготовленных по отечественной технологии. Манжеты прошли успешные испытания, и несколько

десятков тысяч их было использовано при монтаже трубопроводов в Тюменской области. Разработка технологии изготовления манжет осуществлена предприятиями атомной промышленности с участием Новополюцкого отделения ОНПО "Пластполимер" и ИЯФ СО АН СССР.

Производство искусственных кож и пленочных материалов технического и бытового назначения с резиновыми и полимерными покрытиями.

Электронно-лучевая технология позволяет резко улучшить экологию производства, отказаться от тепловой серной вулканизации и полимеризации, сократить число ингредиентов, необходимых для формирования покрытий с нужными свойствами, уменьшить, а порой и полностью исключить из технологического процесса органические летучие растворители. Создание на основе разработанной Ивановским НИИ искусственных кож и пленочных материалов технического назначения технологии производства различных материалов на Кировском комбинате искусственных кож существенно изменило в лучшую сторону экологическую обстановку на предприятии.

Дезинсекция зерна. С использованием ускоренных электронов можно с высокой производительностью (200–400 т/ч) без изменения пищевых свойств зерна производить его очистку от вредных насекомых и их личинок. Два ускорителя электронов типа ЭЛВ успешно работают на одесском портовом элеваторе. Ими уже обработано несколько миллионов тонн зерна. В настоящее время создается еще одна установка для дезинсекции зерна с размещением ее на волгодонском перевалочном элеваторе. Процесс электронно-лучевой стерилизации зерна разработан во ВНИИзерна.

Стерилизация медицинских препаратов и инструментов. Процесс на базе электронно-лучевой технологии особенно интересен при использовании его в производстве инструментов разного использования (шприцы, лезвия хирургического инструментария) и различных медицинских препаратов, особенно тех, стерилизация которых не может быть осуществлена с использованием тепла или окиси этилена. Пока предполагается создание линии по стерилизации разработанного Институтом цитологии СО АН СССР препарата иммозима (на Бердском биохимзаводе) на базе ускорителя ИЛУ-6. Возможности для использования этого процесса значительно увеличатся с созданием высокочастотного ускорителя с энергией 5 МэВ и с созданием для него системы конверсии электронного пучка в жесткое гамма-излучение.

Защита окружающей среды. Электронно-лучевая обработка бытовых промышленных сточных вод позволяет не только проводить их дезинфекцию, но и в ряде случаев очищать от вредных примесей. В Воронеже на базе двух ускорителей ЭЛВ создана опытно-промышленная установка по очистке воды от поверхностно-активных биологических жестких веществ производительностью до 20 тыс. м³/сут. В ходе длительной эксплуатации установка продемонстрировала высокую степень эффективности очистки вод от некаля. Очистка осуществляется в две стадии: на первой — электронно-лучевая, на второй — обычная биологическая, которая не могла до этого работать без предочистки из-за отравления активного ила. Технология очистки разработана во ВНИИ радиационной техники.

В Советском Союзе разработано несколько проектов, использующих электронно-лучевую технологию для обеззараживания сырых осадков и избыточного активного ила биологических очистных сооружений с получением в качестве конечного продукта органоминеральных удобрений и кормов. Намечается реализация этих проектов, разработанных с участием Института физхимии АН УССР и Белорусского госуниверситета.

На базе мощных ускорителей типа ЭЛВ в 1990 г. предполагается сооружение опытных установок по очистке отходящих газов на Новосибирском оловокомбинате, Южной ТЭЦ Москвы, ТЭЦ вблизи Варшавы и по очистке природных горючих газов в Оренбурге. В нашей стране комплекс проектных работ по созданию опытной установки очистки газов ТЭЦ осуществляется под руководством "Теплоэлектропроекта".

Тепловые процессы с использованием электронного пучка. Выпущенный в атмосферу узкий электронный пучок ускорителей типа ЭЛВ позволяет достичь плотности тепловыделения порядка миллиона ватт на квадратный сантиметр, что позволяет осу-

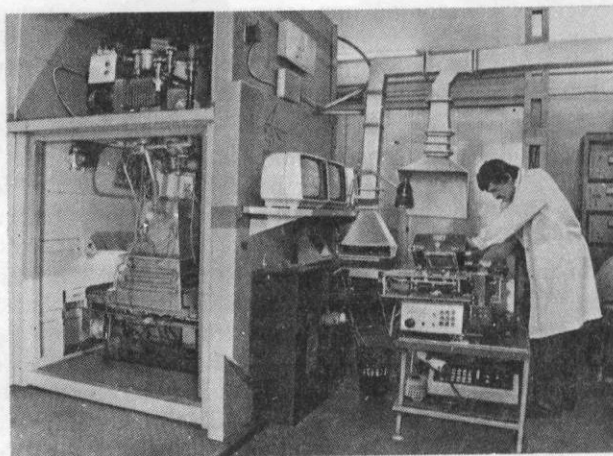


Рис. 5. Ускоритель электронов типа ИЛУ-8 в составе технологической установки для электронно-лучевого вжигания пассивных элементов плат для гибридных схем

ществлять с его использованием резку металлов, их сварку, наплавку тугоплавких и износостойких порошков на детали, термическую обработку. С помощью такого пучка можно, в частности, изготовить более активный катализатор для производства аммиака, произвести наплавку покрытий на детали устройств для непрерывной разливки стали, восстановить изношенные прокатные валки, а также осуществить другие операции.

Первая опытно-промышленная установка по производству катализатора на основе электронно-лучевой технологии введена в действие в Государственном институте азотной промышленности (г. Москва). Опытный цех по упрочнению деталей металлургического производства с использованием ускорителя электронов создается в НПО "Черметмеханизация" (г. Марганец). Аналогичный участок создается также на Новолипецком металлургическом комбинате.

Изготовление пассивных частей гибридных интегральных схем. Первая опытно-промышленная установка на базе ускорителя ИЛУ-8 (рис. 5) создана в НПО "Вега" (г. Бердск). Показано, что время вжигания паст составляет по новой технологии 40–60 с вместо примерно одного часа при использовании обычных тепловых печей. Помимо значительного ускорения процесса вжигания новая технология обеспечивает получение и более качественных элементов гибридных сборок.

Облучение деталей шин перед сборкой. Эта технология широко используется за рубежом, улучшая условия и качество сборки шин, их износостойкость. Силами ряда организаций Белоруссии проведены с использованием ускорителя ИЛУ-6 предварительные научно-исследовательские работы с созданием единичных образцов шин для легковых автомобилей, подтвердившие перспективность электронно-лучевой технологии в этих целях. Облученные образцы шин прошли испытание на ПО "Бобруйскшина" и получили высокую оценку. Принято решение о создании на этом объединении опытного участка с ускорителями электронов для обработки металлокорда. В дальнейшем предполагается использование электронно-лучевой технологии для модификации других элементов заготовок шин.

Некоторые области использования электронно-лучевой технологии еще не получили развития в нашей стране, хотя практика и исследования ряда стран свидетельствуют об их перспективности. Отметим прежде всего применение данной технологии в производстве магнитных носителей памяти (магнитных лент, флоппи-дисков) для ЭВМ и бытовой техники, позволяющее значительно повысить качество записи. Эта технология широко используется ведущими фирмами США и Японии. Весьма заманчиво при-

менение новой технологии в переработке целлюлозосодержащего сырья на корм, для производства кормовых дрожжей и в других производствах.

По опыту ИЯФ СО АН СССР создание одной технологической установки с ускорителем электронов обходится в среднем в 1,5–2,0 млн руб., включая стоимость обучения. Однако широкое внедрение радиационной технологии в существенной мере сдерживается тем, что экономический эффект получается не в сфере производства изделий, а в области их использования.

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Б.П. КОНСТАНТИНОВА

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ДИФРАКЦИОННЫЕ РЕШЕТКИ – ДАТЧИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ВЫСШЕЙ ТОЧНОСТИ

Б.Г. Турухано

Характеристика и оценка потребности. Начиная с конца 60-х годов начали развиваться голографические измерительные системы. К этому периоду традиционные измерительные системы, основанные на нарезных растрах, достигли высокого совершенства, как и сам метод нарезания. Поэтому трудно было ожидать существенного прогресса в этой хорошо изученной области. Однако потребности промышленности, в особенности станкоинструментальной, оптико-механической, электронной, требовали и требуют создания измерительных систем, превосходящих по точности существующие и, что особенно важно, существенно большего размера, чем достигнутые.

Отечественная промышленность пока не освоила производство измерительных систем высоких классов точности, потребность в которых удовлетворяется в основном за счет импорта. Но даже точность зарубежных измерительных систем уже не удовлетворяют все возрастающие запросы ряда отраслей науки и техники.

Степень новизны и сущность предлагаемого решения. В Ленинградском институте ядерной физики развито новое направление: синтез апертуры интерференционного поля неограниченной протяженности, что позволило синтезировать линейные радиальные метрологические голографические дифракционные решетки (МГДР).

Для практического осуществления нового направления – синтеза апертуры интерференционного поля – необходимо было развить ряд новых методов и приборов для их реализации:

- метод синтеза апертуры линейной и радиальной голографических дифракционных решеток;
- высокочастотный анализ фазовой структуры интерференционного поля;
- автоматический контроль процесса синтеза с помощью двухчастотной модуляции интерференционного поля;
- исследование фазовых сдвигов интерференционного поля с помощью подвижной голографической решетки;
- адаптивный интерферометр для синтеза апертуры голографических решеток;
- метод аттестации голографических дифракционных решеток;
- метод копирования голографических дифракционных решеток.

Практически все созданные установки защищены авторскими свидетельствами и патентами.

Процесс фазового синтеза длинной МГДР сводится к последовательной записи участков линейного интерференционного поля на пошагово перемещающийся фотоноситель и фазированному соединению записываемых участков интерференционного поля. Фазирование последовательно записываемых участков осуществляется с помощью