

с помощью микроволн механизм взаимодействия лазерных пучков с плотной плазмой. Изучаются процессы в плазме щелочных металлов, поведение разрядов в условиях интенсивной оптической накачки, механизм ускорения микрочастиц с помощью лазера. В настоящее время Оксфордский университет активно включился (совместно с лабораторией им. Резерфорда) в общую программу работ по лазерному УТС.

Кафедра физики плазмы Лондонского имперского колледжа была организована еще в 1947 г. В настоящее время там наряду с учебной работой в ограниченном масштабе ведутся экспериментальные и теоретические исследования по физике плазмы. На установке POLYTRON исследуется удержание плазмы тороидальной конфигурации в полях остроугольной геометрии. Магнитное поле создается 36 одновитковыми катушками, образующими тор и включенными навстречу друг другу. Ускорение ионов в магнитных «щелях» за счет эффекта Холла приводит к уменьшению радиальных потерь плазмы. Экспериментально изучаются механизмы взаимодействия пучка релятивистских электронов (300 кэВ, 45 кА) с нейтральным газом и плазмой. По контракту с Калэмской лабораторией изучается возможность получения плотной (до 10^{20} см⁻³) плазмы с помощью сильноточного z-пинча.

Серьезные исследования по физике электрических пробоев в газах и дуговых разрядам ведутся в лаборатории электротехнического факультета Ливерпульского университета. Практически все работы имеют прикладную направленность и выполняются по договорам с электротехническими фирмами. Исследования дуговых разрядов в потоках газа связаны с разработкой новых мощных коммутаторов с автоматическим гашением дуги для электрических сетей. Цикл исследований имеет целью оптимизацию плавких предохранителей на различную разрывную мощность. Изучаются вакуумные дуговые разрядники с лазерной инициацией. Следует отметить интересные результаты, полученные

при изучении механизмов электрических пробоев, в частности, доказательство того, что теория пробоя, основанная на механизме ускорения микрочастиц с анода, экспериментального подтверждения не находит.

В лаборатории им. Резерфорда делегации была предоставлена возможность ознакомиться с разработками по технической сверхпроводимости. До последнего времени основные разработки лаборатории были связаны с ускорительной тематикой (импульсные дипольные магниты для протонных синхротронов, магниты каналов транспортировки пучков ускоренных частиц и т. п.). В последнее время начаты работы и в области УТС. По заказу Калэмской лаборатории разрабатывается проект сверхпроводящей магнитной системы для крупного токамака с энергией, запасенной в магнитном поле, $1,2 \cdot 10^{10}$ Дж.

Фирма «Брентфорд электрик» специализируется на разработке и выпуске широкого спектра источников питания. Значительную часть продукции составляют системы питания электрофизических установок. По заказу ЦЕРНа изготовлены источники питания электромагнитов каналов транспортировки пучков с высоким уровнем стабилизации ($5 \cdot 10^{-6}$). Для термоядерных лабораторий Гархинга, Юлиха (ФРГ), Калэма и Фонтене-о-Роз (Франция) разработаны и изготавливаются источники питания инжекторов нейтральных частиц. Интересно схема калэмского источника питания на напряжение 0–60 кВ и ток 20 А, в которой для стабилизации выходного напряжения используется электро-механическое управление коэффициентом трансформации первичного трансформатора. Фирмой освоен выпуск источников стабилизированного тока напряжением до 800 В и током до 1500 А с погрешностью стабилизации $5 \cdot 10^{-6}$.

В заключение хотелось бы отметить гостеприимство, оказанное советской делегации сотрудниками Калэмской лаборатории и других научных центров, включенных в программу визита.

ЕЛИСЕЕВ Г. А.

Переработка и хранение радиоактивных отходов в Канаде

До 1971 г. в Канаде не существовало проблемы радиоактивных отходов, поскольку свыше 99% радиоактивных продуктов деления, обусловленных работой ядерных реакторов, вывозилось за пределы страны. Вместе с тем исследовательские реакторы эксплуатируются более 26 лет, и за этот период выполнена большая научно-исследовательская программа по реакторному топливу, потребовавшая ряд разработок и частных решений в области радиоактивных отходов. Развитие ядерной энергетики в настоящее время сделало проблему радиоактивных отходов для Канады актуальной.

Знакомству с программой переработки и захоронения радиоактивных отходов была посвящена поездка в Канаду советских специалистов в октябре 1976 г.

Долгосрочная программа по обращению с радиоактивными отходами, учитывающая собственный опыт, накопленный в Чок-Ривере, и мировой, разрабатывается с 1973 г. в исследовательском центре Уайтшелл. Экономика страны в настоящее время неблагоприятна для развития работ, и такое положение предполагает до 80-х годов. Поэтому в ближайшие годы отходов от регенерации ядерного топлива не будет, так как оно будет храниться непосредственно в виде отработанных элементов с учетом извлечения плутония в будущем.

До последнего времени для хранения и сброса отходов использовались главным образом поверхностные грунтовые формации. Принят ряд технических решений по переработке отходов, которые либо переработаны, либо находятся в стадии подготовки к проверке на пилотных и крупномасштабных установках (обратный осмос, сжигание, унаривание).

Для хранения отработанного топлива разрабатывается альтернатива созданию сухого хранилища после пятилетней выдержки топлива в водных бассейнах. Прототип бетонной канистры для этой цели создан и испытывается в Уайтшелле.

Канистры цилиндрической формы (диаметр 335,5 см, высота 488 см, толщина 76,25 см) вмещают 220 сборок реактора CANDU, т. е. около 4,4 т топлива. Топливо в корзинах помещается в свинцовый контейнер, облицованный жестью, который вкладывается в бетонные канистры на месте их сооружения. В Уайтшелле испытывается несколько таких канистр, где моделируется тепловое поле с помощью электронагревателей и проверяется стабильность защиты во времени при загрузке отработанного топлива. Параллельно разрабатывается и проверяется транспорт для перевозки сборок.

Программа предусматривает создание в будущем завода по регенерации отработанного топлива. Отходы такого завода предполагается отверждать и хранить длительное время. При этом подземные хранилища в глубоких формациях рассматриваются как наиболее надежное место для захоронения. В настоящее время главное внимание обращено на технологию переработки и хранения отходов АЭС. Для жидких отходов разработана схема, включающая следующие технологические узлы: сбор низкосолевых отходов → очистка методом обратного осмоса → очищенный эфлюент сбрасывается в гидрографическую сеть; сбор высокосолевых отходов → выпаривание → конденсат сбрасывается в открытую гидрографическую сеть, а кубовый остаток идет на отверждение битумированием (или на хранение в емкость). При этом метод диспергирования полностью не исключается. Жидкие отходы, отвечающие национальным нормам сброса, направляются в открытые водоемы. Низкоактивные твердые отходы должны сжигаться с последующим битумированием остатков. Разработана система газоулавливания в процессе сжигания. Для хранения отвержденных отходов в Уайтшелле, Чок-Ривере и на АЭС «Брюс» создаются специальные бетонные хранилища. Ранее в Чок-Ривере такое хранение проводилось просто в грунте.

Узлы технологической схемы имеют разные степени проработки. Так, для сжигания твердых отходов смонтирована и в ближайшее время будет пущена в эксплуатацию промышленная установка на АЭС «Брюс». Установка включает конвейер загрузки отходов; первичную камеру сжигания (вертикальная, двойные стальные стенки с внутренним охлаждением, загрузка 8,5 м³, работа периодическая, температура в камере 150—600 °С); вторичную (рабочая температура до 1000 °С); теплообменник воздуха (1000 — 200 °С); фильтры грубой и тонкой очистки из фибростекла и асбеста работают непрерывно при 260 и до 200 °С соответственно; газодувку; контейнеры для сбора и транспортировки золы.

В Чок-Ривере создана и испытывается пилотная установка обратного осмоса. Процесс битумирования отходов изучается, имеется небольшой опытный битуматор. Технологическая схема в целом не осуществлена. Проводятся исследования включения отходов, содержащих плутоний от топлива UO_2-PuO_2 , в полимерные материалы с использованием формальдегида, фосфорной кислоты и др.

В Чок-Ривере в течение 15 лет наблюдают за хранением 25 стеклоблоков, полученных в результате

включения в нефелин-сиенитовые стекла 1100 Ки продуктов деления. Остекловывание в указанные композиции — оригинальные исследования канадских ученых.

Большое значение придается хранению отходов после их переработки. Можно считать, что с инженерных позиций эта часть работ в Канаде всесторонне изучена и технически разработана. Созданию хранилищ предшествует детальная геологическая и гидрогеологическая оценка места его размещения. Учитывается накопленный опыт сорбции и миграции радионуклидов в грунтах и грунтовых водах при долготельном использовании грунтовых формаций в Чок-Ривере для хранения в них отходов как собственных, так и доставляемых из других мест.

Предусматриваются хранилища только для твердых или отвержденных отходов. Основные типы инженерных сооружений разработаны для АЭС «Пикеринг» и «Брюс». Хранилище создано на территории АЭС «Брюс». Оно включает бетонированные емкости трапезной типа с поперечным делением на отсеки для складирования сухих и отвержденных отходов, упакованных в полиэтиленовые мешки (после заполнения отсек закрывается бетонной крышкой); заглубленные в землю бетонные трубы с крышками, предназначенные для хранения контейнеров с отходами (144 трубы); построенные наземные бетонные трапезы для хранения отработанных сорбентов из системы первого контура реакторов. Последние с целью защиты обваловываются песчаным, гравелистым грунтом. Для всех их создается система дренажных труб, предупреждающая возможность миграции радионуклидов в подстилающие грунты. Трапезы имеют общий объем 3400 м³. Отходы, поступившие в хранилище до пуска установки сжигания, будут извлекаться для вторичной переработки сжиганием. Хранилище оборудуется с учетом возможности извлечения отходов.

Таким образом, особенности в подходе к обезвреживанию радиоактивных отходов в Канаде сводятся к практическому внедрению обратного осмоса; к оригинальности в разработке остекловывания высокоактивных отходов в нефелин-сиенитовые композиции и многоступенчатой проверке выщелачивания радионуклидов из таких стекол; к детальным и методически обеспеченным исследованиям гидрогеологических и физико-химических условий площадок для хранилищ отходов. Кроме того, к предусмотренной и технически осуществляемой возможности перезахоронения отходов и разработке сухих хранилищ для отработанного топлива.

БАЛУКОВА В. Д