

жидкометаллических быстрых реакторов с дефектными твэлами (США, ФРГ);

изучение аварийного развития повреждений до появления сигналов от запаздывающих нейтронов и выхода топлива в теплоноситель (Франция, ФРГ, США, Великобритания);

разработку новых, более стойких к температуре и излучению датчиков запаздывающих нейтронов (Франция, ФРГ).

Индивидуальный контроль сборок вне реактора дает удовлетворительные результаты и теперь является лишь инженерной задачей. Контроль радиоактивных продуктов в пробах натрия также достаточно изучен и совершенствуется в направлении разработки стационарного дистилляционного пробоотборника, позволяющего провести быстрый контроль примесей в осадке (США). Таким образом, в частности на EBR II, удалось зарегистрировать в натрии уран (выше $1 \cdot 10^{-9}$ г/г) и плутоний (около $1 \cdot 10^{-10}$ г/г). Следует отметить усиленное развитие в США контроля посредством изотопных меток. Достигнута эффективность регистрации за счет улучшения системы отбора, регистрирующей и обрабатывающей информацию аппаратуры.

Индивидуальный контроль сборок в активной зоне остановленного реактора применяется только в нашей стране. К его эффективности и технологии был проявлен большой интерес.

Доклады об исследованиях и разработках в области КГО представляли несомненный интерес, были содержательными и полными. Однако следует выделить сообщения, вызвавшие наибольший интерес участников совещания. В нашей стране исследуется непрерывный метод контроля радионуклидов иода и цезия в теплоносителе на высоком фоне ^{24}Na . Контроль коротко- и долгоживущих радионуклидов криптона и ксенона, а также ^{131}I , ^{134}I , ^{136}I , ^{137}Cs позволяет следить за развитием дефекта в оболочке, т. е. определить степень негерметичности, оценить выгорание топлива в твэле, потерявшем герметичность, контролировать и прогнозировать загрязнение первого контура продуктами деления.

В ФРГ совместно с Японией начата разработка и подготовка к исследованиям новых бета-детекторов для индивидуального контроля сборок с негерметичными твэлами на работающем реакторе. Детекторы размещаются непосредственно над сборкой, имеют диаметр ~ 3 , высоту ~ 10 см, они спарены с термопарой. Сигнал от детектора будет пропорционален бета-излучению короткоживущих продуктов деления, испускающих высокоэнергетические β -частицы. По оценкам, чувствительность прибора $\sim 10^{-10}$ А для 1 см^2 свободной поверхности топлива. Однако здесь еще много нерешенных вопросов.

О создании детекторов, стойких к температуре и β -излучению, сообщили специалисты Франции и ФРГ. Во Франции испытан и продолжает совершенствоваться новый детектор запаздывающих нейтронов, стойкий к высокой температуре и излучению. Чувствительным элементом детектора является обогащенный уран (90% ^{235}U) в нержавеющей стали. Рабочая температура 600°C , мощность дозы γ -излучения до 10^5 рад/ч. Первый прототип детектора испытывался при 550°C и $3 \cdot 10^4$ рад/ч. Чувствительность прибора несколько ниже, чем ВФ₃-детектора. С использованием детекторов предполагается разработать интегральный метод контроля запаздывающих нейтронов непосредственно в среде натрия первого контура без замедлителя. Детекторы будут размещаться в промежуточных теплообменниках. Метод, по словам разработчиков, позволяет упростить и удешевить КГО по запаздывающим нейтронам и уменьшить время доставки носителей к детектору.

В США получен положительный опыт локализации сборок с негерметичными твэлами методом меток твэлов газообразными веществами (140 композиций ^{124}I , ^{126}I , ^{128}I , ^{129}Xe).

Участники совещания проявили большой интерес к объему, назначению и идеологии КГО (цели, ограничения и т. п.), однако пришли к единому мнению, что для обсуждения необходимо присутствие специалистов, работающих в смежных областях.

ЯКШИН Е. К.

Советско-индийский семинар по переработке радиоактивных отходов

На семинаре, состоявшемся в Атомном исследовательском центре им. Баба в Тромбее (Индия), обсуждались доклады о технологии переработки и отверждения отходов высокого, среднего и низкого уровня активности, хранении и окончательном захоронении отверженных отходов, развитии работ по улавливанию короткоживущих радиоактивных благородных газов, ^{85}Kr , радиоактивного иода и др.

Усилия индийских специалистов направлены на создание установки отверждения отходов высокого уровня активности, завершение монтажа которой и начало работы на реальных растворах предполагается в I квартале 1982 г. Установка строится в атомном центре в Тарапуре, расположенном на Западном побережье Индии в 100 км севернее Бомбея. На территории этого центра расположена АЭС с двумя кипящими реакторами мощностью по 210 МВт (эл.). Здесь же в 1978 г. построен завод по переработке твэлов на основе обогащенной двуокиси урана с оболочкой из циркаллой производительностью 0,5 т/сут. Технологическое оборудование отверждения, в том числе выпарную систему, плавитель, систему газоочистки, агрегат заварки бидонов и пеналов крышками, размещает в горячей камере габаритами $10,6 \times 10,6 \times 11,9$ м. Камера будет снабжена системами автоматического управления процессом и быстрой дистанционной замены всех

аппаратов и узлов установки. Производительность установки по исходному раствору ~ 11 л/ч.

Установка выполняется в виде отдельных модулей, что позволит их заменять в случае необходимости. С этой целью вентили, пробоотборники, подводные линии для волю, электроразъемы и другие узлы расположены снаружи модуля в зоне, доступной для обслуживания манипуляторами. Камера оборудуется манипуляторами, рассчитанными на усилие 45 кг, и одним силовым манипулятором — электромеханической «рукой» на 100 кг.

Высокоактивные отходы предполагают включать в боросиликатное стекло, допустимая радиационная нагрузка для которых 10^{10} Гр, что определяет верхний предел включения в стекло окислов продуктов деления 25%. Предполагается получать стеклоблоки (125 кг) удельной радиоактивностью $5 \cdot 10^{14}$ Бк/л, тепловой мощностью 40 Вт, общей радиоактивностью $2,2 \cdot 10^{16}$ Бк. Сушка концентратов солей выпарного аппарата, перевод их в окислы, последующее включение радионуклидов в боросиликатное стекло будут проводиться в тигле из сплава никонель-600 с донным сливом, нагреваемом в трехзонной индукционной печи. Его сливной патрубок оснащен индукционным нагревателем для слива и приспособленным для «замораживания» стекла путем обдува воздухом.

Готовая стекломасса будет выливаться из тигля в бидон из нержавеющей стали, завариваемый крышкой. Два бидона предусматривают помещать в пенал, заваривать крышкой и направлять во временное хранилище с воздушным охлаждением путем естественной конвекции. Качество заварки бидона и пенала проверяется гелиевым методом, проводится ультразвуковое испытание и γ -сканирование для проверки контакта между стеклом и стенками тигля и однородностью продукта соответственно. Имеется специальное устройство, позволяющее определять тепловыделение стеклоблока и его теплопроводность. Предусмотрена дезактивация как отдельных бидонов со стеклом, так и заваренного пенала. Система газоочистки установки остекловывания жидких отходов обеспечивает суммарный коэффициент очистки сбросных газов от радионуклидов 10^{12} .

Большое внимание уделено безопасности работы установки: все емкости и оборудование находятся под давлением по отношению к давлению в камере, оборудование отверждения обеспечивается двойной защитой на случай аварии и т. п. В системе управления установкой предусмотрена ЭВМ.

Следует отметить, что Индия будет второй страной после Франции, которая внедрит технологию непрерывного остекловывания производственных высокоактивных отходов.

В Индии проводят исследования по изучению свойств отвержденных материалов — устойчивости к излучению, термической и механической устойчивости, микроскопической гомогенности остеклованных отходов, химического воздействия окружающей среды на стекло в условиях долговременного хранения и окончательного захоронения. Моделирование дозы α -излучения и эффекта атомов отдачи в течение нескольких тысяч лет проведено с использованием $^{10}\text{B} (n, \alpha)^7\text{Li}$ -реакции в реакторе.

Установки для изучения скорости выщелачивания позволяют термостатировать процесс ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) и одновременно исследовать 10 проб в статических и динамических условиях. Рециркуляционный тип течения воды увеличивает выщелачивание по сравнению с однофазной циркуляцией. Исследования на изгиб, а также модуля эластичности показали, что остеклованные продукты имеют относительно лучшую механическую прочность по сравнению с пирексом и натриево-кальциевым (оконным) стеклом. Принятый срок временного хранения отвержденных отходов в Тарапуре — 20 лет.

Для переработки отходов среднего уровня активности, образующихся при регенерации отработанного ядерного топлива, выбрана выпарная схема на базе термосифонных аппаратов. Для отверждения (битумирования) таких отходов создали и проверяют на модельных растворах установку на базе тонкоплёночного роторного битуматора. В качестве матрицы применяют эмульгированный битум, битуматор обогревается органическим теплоносителем. Степень наполнения битума солями до 55—60%.

Как следует из докладов индийских специалистов и знакомства с работой промышленных установок, основой технологии переработки низкоактивных отходов являются две стадии: химическая обработка и ионный обмен. В процессе химической обработки нейтрализуются и осаждаются соли с использованием сульфата меди, ферроцианида калия или сульфата бария, ферроцианида меди. На этой стадии осаждаются стронций и цезий, содержащиеся в сточных водах. Шламы затем уплотняют и направляют на цементирование. Применение в качестве флокулянтов полиэлектролитов, например полиакриламида, в 2 раза сокращает количество потребляемых для осаждения химикатов, не снижая при этом коэффициента очистки сточных вод. Ионный обмен применяют на конечном этапе очистки. Неорганические обменники считаются предпочтительнее синтетических смол. Наиболее широко используется гранулированный вермикулит.

При обработке отходов образуется много концентратов, включая шламы ионообменных материалов, кубовые остат-

ки. Все эти материалы поступают на отверждение в барабаны емкостью 200 л, которые затем захоранивают в приповерхностные бетонированные траншеи и колоды (глубина ~ 4 м). Особое внимание обращают на гидроизоляцию. Для этих целей, в частности, используют беспористые каменные плиты. Концентраты цементируют непосредственно в бетонных траншеях.

Включение синтетических ионитов в отверждаемые отходы исследовали на цементных, битумных и полимерных матрицах. Некоторые преимущества, по мнению индийских специалистов, имеет их включение в полиэфирстирол. В этом случае иониты предварительно обрабатывают для достижения совместности с полимером. Для этого осушают поверхность частиц, что достигается добавлением до 30% молотого силикагеля. В целях уменьшения его количества до 10—15% иониты обрабатывают метанолом. Для уменьшения горючести вводят трехокись сурьмы или хлорированный углеводород.

В Индии внедрено в промышленность выпаривание жидких отходов низкого уровня активности с использованием солнечной энергии. Был представлен доклад о создании комплексной централизованной схемы переработки жидких отходов ядерных реакторов, установок по регенерации ядерного топлива и лабораторий Исследовательского центра реакторов Калпакам, расположенного примерно в 70 км южнее Мадраса, которая, с точки зрения разработчиков, позволит избежать дублирования в технологических схемах, обеспечит гибкость в работе и эффективный контроль за выбросом радиоактивности.

Из докладов по переработке газообразных отходов АЭС и установок регенерации отработанного ядерного топлива следует, что для улавливания короткоживущих радиоактивных благородных газов разработана и внедрена на АЭС адсорбция на активном угле при 25—30 $^\circ\text{C}$, что определяется экономикой процесса. Интенсивно развивают исследования по улавливанию радиоактивного иода: элементарного, органических соединений (CH_3I) на различных сорбентах с протиткой KI , KOH , $\text{KI} + \text{NaOH}$, триэтилендиамином и др. Для аварийных ситуаций на АЭС с учетом высокой концентрации радиоактивного иода и возможного повышения температуры в парогазовом потоке исследуют молекулярные сита как негорючие сорбенты. Найдено, что сита PbX и AgX эффективно улавливают молекулярный иод и метилиодид. AgX не отравляется органическими парами, если адсорбент имеет температуру 100 $^\circ\text{C}$, молекулярный иод и метилиодид не десорбируются из AgX при 180 $^\circ\text{C}$. Интересны исследования по влиянию короткоживущего ^{134}I , имеющего высокую энергию излучения, на температурный режим работы улавливающих систем.

В качестве абсолютных фильтров для атомной промышленности в Индии производят фильтры на основе стеклотумаги с эффективностью не менее 99,97%. Это требует строгого соблюдения стандарта на изготовление фильтра и тщательности в их монтаже. Есть несколько методов для исследования эффективности фильтров: метод Д. О. Р. — монодисперсный аэрозоль генерируется испарением жидкого диоктилфталата с последующей конденсацией; метод NaCl — аэрозоль генерируется распылением 2%-ного водного раствора NaCl сжатым воздухом; урановый метод — аэрозоль генерируется распылением 1%-ного раствора урановой соли; полидисперсный метод — генерируются полидисперсные аэрозоли на основе диоктилфталата. Диапазон дисперсности генерируемых аэрозолей от 0,3 до $\geq 3,0$ мкм. Этот метод используется для контроля при производстве абсолютных фильтров в Атомном исследовательском центре им. Баба. Однако проверка этим методом эффективности абсолютных фильтров на месте их эксплуатации показала, что только в 20% достигаемый коэффициент очистки соответствовал ожидаемому. В связи с этим обращено внимание на необходимость тщательного монтажа всей системы газоочистки.

Материалы семинара представляют несомненный интерес для специалистов.