

требуется улучшить потребительские характеристики программ (упростить системы подготовки исходных данных, увеличить быстродействие программ, повысить информативность исковых количественных показателей);

необходимо расширить работы по сравнительному анализу программ, что позволит отбирать и рекомендовать лучшие;

весьма актуальной остается проблема разработки универсальных моделей, алгоритмов и программ, пригодных

для различных специализированных систем энергетики и их оборудования, как важного средства унификации, упрощения и взаимосогласования исследований надежности;

целесообразно приступить к формированию каталогов и библиотек специализированных программ.

Труды семинара будут опубликованы в сборнике СЭИ СО АН СССР.

ГОЛУБЕВА Т. А.

Международный симпозиум по обращению с газообразными отходами, образующимися на ядерных установках

Симпозиум проходил в Вене 18—22 февраля 1980 г. Организаторы — МАГАТЭ и Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития. В работе симпозиума приняли участие 174 делегата от 36 стран. На 8 секционных заседаниях заслушано 43 доклада.

В исследовательском центре Колорадо (США) изучено поведение радиоиода и его соединений в газовых выбросах шести американских реакторов PWR и BWR. Обнаружены различные соединения иода: молекулярный иод (I_2), иодистый метил (CH_3I), гипоиодная кислота (HOI), иодистый водород (HI). Фракция органического иода во всех случаях составляла не менее 50% как во время работы реакторов, так и при остановках. Результаты работы угольных адсорбентов для улавливания радиоиода показали, что эффективность очистки от метилиодида снижается с 99 до 56% после 1 года эксплуатации.

Молекулярный иод эффективно улавливается активным углем, применение импрегнированных углей обеспечивает интенсивное улавливание органических соединений иода. В большинстве стран применяются активные угли, импрегнированные иодистым калием (KI), $KI + I_2$ и триэтилендиамином (ТЭДА). Однако эти угли сравнительно быстро теряют свою эффективность, т. е. стареют или отравляются (из-за адсорбции паров воды, органических и неорганических примесей — SO_2 , NO_x , O_3 и т. п.).

В Великобритании в течение ряда лет ведутся работы по определению эффективности импрегнированных углей в различных средах и механизма их старения. Угли, импрегнированные иодистым калием и ТЭДА, испытывали в течение 800 дней в атмосфере инертных газов (аргоне), сухом, влажном воздухе и кислороде, насыщенном водяными парами. В отсутствие O_2 и H_2O угли, импрегнированные KI , практически не теряют эффективности. Старение во влажной атмосфере происходит из-за окисления иодистого калия кислородом. Угли, импрегнированные ТЭДА, в атмосфере влажного воздуха и кислорода практически сохраняют первоначальные свойства в течение указанного времени.

Для улавливания ^{129}I из выбросов на заводах по переработке ядерного топлива широко применяются материалы, содержащие серебро, но их использование ограничивается из-за высокой стоимости и дефицитности серебра. Во многих странах предусматривается применение двухступенчатой схемы очистки. В Советском Союзе для первой ступени очистки от ^{129}I разработан новый абсорбционный способ улавливания при помощи кремнийорганических жидкостей, что позволит значительно сократить использование остродефицитного азотнокислого серебра.

В Молле (Бельгия) на опытно-промышленной установке для улавливания ^{129}I на первой ступени очистки используется колонна с азотнокислой ртутью в азотной кислоте (процесс «меркурекс»). Коэффициент очистки равен 1000. На второй ступени установлена колонна с сорбентом, содержащим серебро.

В Карлсруэ (ФРГ) разрабатываются методы удаления иода из растворов облученного топлива в газовую фазу. Были опробованы различные химические методы обработки растворов, и сделано заключение, что соотношение соединений иода в растворе зависит от многих факторов: от условий растворения, чистоты употребляемой кислоты, скорости удаления молекулярного иода и т. п. Данные по удалению иода из раствора методом дистилляции показали, что для получения в остатке 0,2% иода необходимо отогнать более 50% объема раствора, при этом требуется строгий контроль за уровнем раствора и введение больших объемов свежей кислоты. Лучшие результаты были получены при использовании дистилляции под давлением с возвратом конденсата. При этом иод удаляется из раствора на 98% и потери конденсата незначительны. Но и в этом случае в конце процесса необходимо добавлять окислы азота.

Для очистки от аэрозолей разработаны фильтры различной конструкции. Для предварительной очистки широко используются керамические и металлокерамические фильтры. Песчаные и гравийные фильтры пока используются мало. Однако в некоторых странах их предлагают применять для газоочистки жидкометаллических быстрых реакторов-размножителей. В частности, в Индии разрабатываются песчаные фильтры многослойной конструкции с большим коэффициентом очистки для крупных частей. Эффективность абсолютных НЕРА-фильтров различных конструкций достигла 99,97% и более. Но срок их службы желательнее увеличить. Для защиты НЕРА-фильтров предложено применять гофрированные «мини-фильтры». Исследования ведутся в Харвардской лаборатории (США). Вероятно, срок службы НЕРА-фильтров при использовании мини-фильтров можно увеличить примерно в 2 раза.

В настоящее время большое количество радиоактивных благородных газов (РБГ) сбрасывается в атмосферу, так как они менее опасны. Однако признано, что увеличение выброса ^{85}Kr в некоторых случаях может привести к увеличению глобальной дозы излучения. В связи с этим в последнее время начаты интенсивные разработки методов улавливания, фиксации и захоронения ^{85}Kr . В Великобритании, США, ФРГ проводятся работы по включению ^{85}Kr в металлические пленки, фольги, адсорбенты и пористые стекла низкой плотности. В ФРГ предложен метод имплантации ионов криптона при низком давлении и примерно нормальной температуре в металлические пленки или фольги, покрытые металлами (Cu, Ag, Al, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Fe, Co, Ni, Pd). В результате может быть получен термически стабильный криптонированный продукт. В некоторых металлах (Cu, Ti, Fe) было получено 3—6 ат. % ^{85}Kr . Грубые оценки показывают, что для имплантации ^{85}Kr , выделяющегося на заводе мощностью 40—50 ГВт, требуется энергия $5 \cdot 10^6$ кВт/ч и металлическая матрица 0,5—1 м³/год.

В Великобритании разрабатывается метод внедрения газовых пузырьков ^{85}Kr в металлические матрицы. В США

также исследуются процессы включения ^{85}Kr в металлические матрицы и пористые стекла. Интересным оказался состав $\text{Fe}_{0,16}\text{Zr}_{0,19}\text{Kf}_{0,05}$. Преимуществом процесса — сравнительно низкое давление $\sim 1,3$ Па и невысокая температура. При растворении ^{85}Kr в стеклах, пористость которых достигает 30%, можно добиться включения 7 см^3 криптона на 1 г стекла. Утечка из стекла составляет не более 1,8% за 10 лет.

В Карлсруэ проводятся работы по изучению возможности хранения ^{85}Kr в различных адсорбентах. Исследования показали, что лучшие результаты достигаются на цеолите марки 5А. При давлении $3 \cdot 10^7$ Па и температуре 520°C можно адсорбировать $30\text{—}40\text{ см}^3$ $^{85}\text{Kr}/\text{г}$.

В Нидерландах, несмотря на Лондонскую конвенцию и решение МАГАТЭ, разрабатываются сферические контейнеры с двойными стенками для захоронения ^{85}Kr в море. Рассматривались контейнеры объемом 0,01; 0,05 и $0,1\text{ м}^3$ с зазором между внутренним и внешним шарами 0,01 м; общая масса контейнеров 1300, 2500, 3700 кг соответственно.

В ФРГ и Бельгии изучается возможность хранения ^{85}Kr в течение длительного времени в баллонах под давлением. Для снижения давления и адсорбции рубидия, получающегося в результате распада ^{85}Kr , бельгийские специалисты предлагают помещать в баллоны активный уголь.

В настоящее время не принят процесс «волокодирования», поэтому тритий почти полностью ($\sim 90\%$) находится в водных растворах на заводе по переработке ядерного топлива. Перед удалением для последующего хранения необходимо

его концентрирование. В Бельгии исследуется метод окисления трития с применением гидрофобного катализатора (процесс «элекс»), являющийся комбинацией двух процессов: электролиза воды и обмена трития между водородом и водой. В качестве катализатора применяется платина (30—40%) с политетрафторэтиленом. Для уменьшения объема в 100 раз требуется пять ступеней изотопного обмена.

В Карлсруэ рассматривались различные процессы выделения трития из водных растворов и из растворов, содержащих кислоты. Для обогащения трития предлагается рециркуляция раствора. По полученным данным после 15-кратной рециркуляции концентрация трития в растворе возрастала в 15 и более раз.

Для улавливания ^{14}C прорабатываются следующие методы: непосредственные реакции с неорганическими веществами; окисление всех углеродных соединений до CO_2 с последующим улавливанием CO_2 различными поглотителями; улавливание CO_2 твердыми адсорбентами. В Оксфордской национальной лаборатории испытывались твердые гидроксиды: $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Наиболее эффективно действие гидроксиды бария, но стоимость ее выше. Для удаления CO_2 перед криогенной дистилляцией ^{85}Kr испытывались молекулярные сита. Лучшие результаты получены для цеолита марки 4А. Различные методы улавливания ^{14}C исследуются в ФРГ: адсорбция на молекулярных ситах; вымораживание при низких температурах; улавливание в суспензии $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{Na}(\text{OH})_2$.

СМИРНОВА Н. М., ГОРБУНОВ С. В.

Стадия эскизного проектирования реактора ИНТОР

В 1979 г. Международная рабочая группа (МРГ) закончила нулевую фазу проекта ИНТОР — физическое обоснование реактора и выпустила Отчет, который был утвержден Международным советом по термоядерным исследованиям на совместном заседании с Руководящим комитетом МРГ 16—18 января 1980 г. На заседании были сформулированы задачи МРГ для следующей фазы проекта ИНТОР — фазы эскизного проектирования, которая продлится до июля 1981 г. С 24 по 28 марта 1980 г. в Вене проходила вторая сессия МРГ по ИНТОРУ на этой стадии. Руководящий комитет предложил следующую организационную структуру МРГ на стадии эскизного проектирования реактора: Руководящий комитет, Координационный совет, рабочие группы и подгруппы. Определены рабочие группы: по физике, инженерии, нейтронике, балансу систем, планированию и безопасности; созданы две подгруппы: по конструкционным материалам и испытательным модулям. На пленарном заседании МРГ обсуждены и уточнены связи между рабочими группами и подгруппами.

На второй сессии проходили заседания Руководящего комитета, Координационного совета и трех рабочих групп. Координационный совет и рабочие группы обсудили представленные участниками материалы, согласовали их и составили детальный список вопросов, на которые необходимо дать ответы к следующей сессии (16—27 июня 1980 г.).

Вторая сессия показала, что наступил новый этап проекта, качественно отличающийся от нулевой фазы. На этом этапе необходимо выбрать и принять конкретные решения как по отдельным узлам, так и по реактору в целом и подготовить единый международный эскизный проект. Детально обсуждались основные вопросы, решение которых необходимо для проектирования реактора. В группе физики к таким вопросам относятся: конфигурация полоидальных магнитных полей; диверторы; проблема управления горением термоядерной реакции и гофрировка тороидального магнитного поля; неустойчивость срыва тока плазмы;

сценарии изменения плазмофизических параметров во времени.

Большое внимание обращалось на изучение возможности создания полоидального дивертора с одной нулевой точкой. Для этого необходимо определить, смогут ли обмотки полоидального поля, расположенные снаружи тороидальных обмоток, обеспечить требуемую форму плазмы с устойчивыми предельными значениями $\beta = 5 \div 6\%$ в стационарном режиме горения термоядерной реакции. На стадии дополнительного нагрева плазмы необходимо обеспечить магнитную конфигурацию, когда сепаратриса проходит через диверторный канал в течение всего времени нагрева плазмы.

Обсуждалась также возможность поддержания равновесия плазмы как при наличии полоидального дивертора с двумя нулевыми точками, так и в случае внутреннего и внешнего расположения полоидальных обмоток относительно тороидальных.

При рассмотрении вертикальной устойчивости плазменного шнура требуется определить условия, при которых должна работать система обратных связей для стабилизации вертикальной неустойчивости с учетом электрических свойств первой стенки и защиты.

Изучение вопроса, связанного с выбором и обоснованием дивертора, предусматривает изложение требований, предъявляемых к диверторным пластинам, ширине и длине диверторного канала и системе откачки гелия. Хотя в настоящее время предпочтение отдается полоидальному дивертору, по-прежнему актуально изучение других вариантов — бандл-дивертора, локального полоидального (гибридного) дивертора. Остается возможность для анализа бездиверторного варианта.

При обсуждении проблемы управления горением термоядерной реакции ставилась цель достигнуть понимания возможности стабилизации температурной неустойчивости с помощью увеличения гофрировки тороидального магнитного поля, а также при работе в подкритическом режиме