

деления сырьевых ядерных материалов и переработки делящихся изотопов. Вакуумная камера термоядерного реактора окружена бланкетом, содержащим ^{238}U или ^{232}Th , где генерируется основная часть тепла и перерабатывается ядерное топливо. На симпозиуме были представлены проекты гибридных реакторов на основе различных термоядерных устройств: открытых ловушек, токамаков, систем с лазерным поджигом, θ -пинчей, соленоидов. Во всех работах отмечалось, что их преимущество заключается в возможности производить большое количество делящихся изотопов (^{239}Pu или ^{233}U) для последующего сжигания в тепловых реакторах. Гибридный реактор может выдавать 700—1000 кг плутония в год на 1000 МВт тепловой мощности, что примерно в 10 раз больше, чем существующий реактор-размножитель равной мощности, и в 3—4 раза больше принципиальной возможности быстрых реакторов-размножителей. В большинстве проектов в бланкете используется естественный или обедненный уран.

Проект реактора на основе открытой ловушки был представлен Ливерморской лабораторией им. Лоуренса. В нем рассмотрены модификации бланкетов для производства плутония и ^{233}U . Спроектирован бланкет сферической формы, обеспечивающий равномерное облучение ядерного топлива и простоту сборки. Комбинация гибридного реактора с водо-водяным позволит вырабатывать электроэнергию стоимостью около 2,5 цента за 1 кВт·ч, что сравнимо со стоимостью в ядерной энергетике ближайшего будущего. Разработка принципиальной конструкции этого реактора проводится фирмой «Дженерал атомик».

Принстонская лаборатория физики плазмы представила группу докладов по гибриднему реактору на основе токамака. Плазменные параметры близки к параметрам установки TFTR, создание которой намечено в 1980 г. Мощность нейтронного излучения из плазмы, равная 0,75 МВт/м², поддерживается инжекцией дейтронов с энергией 180 кэВ. Большое внимание в докладах уделялось созданию дивертера для отвода примесей из плазмы.

Доклад о разработке реактора для сжигания актиноидов представила компания «Вестингауз». Идея сжигания радиоактивных отходов с одновременной генерацией мощности является интересной, однако для эффективного сжигания требуется высокая (до 10 МВт/м²) плотность нейтронного излучения из плазмы. Работы в этом направлении будут продолжены.

Лос-Аламосская и Ливерморская лаборатории представили проекты гибридных термоядерных реакторов на основе лазерного поджига мишени, а также доклады о параметрах таких реакторов на основе θ -пинча и соленоидов с нагревом плазмы пучком релятивистских электронов или лазером. Предложенные варианты дают возможность рассмотреть реактор удобной геометрической формы и не слишком высокого уровня мощности. Так, импульсный реактор разработки Ливерморской лаборатории имеет выходную электрическую мощность 400 МВт при полной тепловой мощности 1400 МВт и может производить 1,3 т плутония в год. Недостаток большинства импульсных систем состоит в большой электрической мощности, циркулирующей во внутреннем контуре.

В докладах ИАЭ им. И. В. Курчатова были рассмотрены вопросы выбора оптимальных плазменных и нейтринно-физических параметров гибридных реакторов и исследованы возможности испытаний модулей в проектируемой установке ДТРТ (Т-20).

Оживленная дискуссия проходила на симпозиуме об экономических показателях гибридных реакторов и выборе топливного цикла. Несмотря на то, что стоимость электростанции с гибридным термоядерным реактором в 1,5—2 раза выше, чем АЭС с быстрым реактором-размножителем, комбинированная энергетика гибридных термоядерных и тепловых реакторов экономически (по цене электроэнергии) примерно одинакова с энергетикой быстрых и тепловых реакторов. Заметные преимущества гибридного реактора — возможность сжигания значительного количества ^{238}U без перегрузки топлива, работа на естественном или обедненном уране, отсутствие ограничений по времени удвоения топлива.

Итогом работы симпозиума является вывод о перспективности использования гибридных реакторов в качестве переработчиков топлива для тепловых реакторов с одновременной выработкой электроэнергии. Пониженные требования к плазменным характеристикам позволяют рассчитывать на создание первых промышленных гибридных реакторов до конца века. Выбрать тип термоядерной установки и область оптимальных параметров такого реактора предстоит в ближайшем будущем. Обсудить эти вопросы предполагается на следующем симпозиуме.

ПИСТУНОВИЧ В. И., ШАТАЛОВ Г. Е.

Восьмая международная конференция по неразрушающему контролю

С 6 по 10 сентября 1976 г. в Каннах (Франция) проходила VIII международная конференция, в которой участвовали 1245 специалистов из 35 стран. На пленарных и секционных заседаниях было заслушано более 260 докладов практические о всех методах неразрушающего контроля конструкционных материалов, готовых изделий и находящегося в эксплуатации оборудования. Однако большая часть докладов посвящалась теории и практике методов, основанных на применении ультразвука, акустической эмиссии, проникающих излучений и электромагнитных полей. В тематике докладов отражались основные направления развития

техники неразрушающего контроля: повышение достоверности и надежности методов, использование ЭВМ для сбора, обработки и хранения результатов, механизация и автоматизация процессов контроля и др. В сравнительно большом числе докладов рассматривались методики и технические средства неразрушающего контроля для нужд атомной техники.

Активная зона ядерного реактора. Ускоренное развитие ядерной энергетики связано со значительным увеличением объемов производства особоотокостенных труб — оболочек твэлов. Во Франции разработана ультразвуковая установка, позволяющая за один прием

провести дефектоскопию и проконтролировать геометрические размеры таких труб. Ее отличительной особенностью является то, что труба движется поступательно, а ультразвуковые датчики неподвижны. Производительность установки в 10—15 раз превышает применяемые в настоящее время для этих целей установки. Приводились интересные данные о применении ЭВМ при ультразвуковом контроле осеботонкостенных труб, когда ЭВМ выполняет кроме своих функций еще и функции оператора (Дания).

Живучесть твэлов в значительной степени зависит от качества герметизирующих сварных соединений. С этой точки зрения практический интерес представляет установка для ультразвукового контроля на частоте 10 МГц сварных соединений на твэлах в оболочке из сплава циркония. С ее помощью выявляются поры диаметром более 0,2 мм и непровары в корне шва более 0,06—0,08 мм (Франция).

Обстоятельным был доклад о методике контроля дефектов, содержания и распределения ^{235}U , теплопроводности и распределения массы по длине шестигранного твэла (размер «под ключ» 12,7 мм, диаметр осевого отверстия 2,5 мм, длина 1,22 м) на графитовой основе с делящимся материалом в виде твердого раствора карбидов урана и циркония, рассчитанного на работу при температуре 2750 К и удельной мощности 4500—5000 МВт/м³ (США).

Для исследования состояния облученных твэлов в последние годы все большее применение находит нейтронная радиография. Поэтому определенный интерес вызвал доклад, содержащий сравнительные данные о точности измерения диаметров таблеток и радиальных зазоров в твэлах радиографическим и нейтроннографическим методами, проведенные на необлученных имитаторах твэлов в циркониевой оболочке. Обнаружение поврежденных твэлов в пакете (без его разборки) — такова тема двух докладов специалистов США. В них сообщались результаты исследования по выявлению твэлов с дефектами на имитаторах сборок твэлов быстрых реакторов FFTF и EBR-II нейтроннографическим методом. В сборках, содержащих ~ 100 твэлов, видимо, можно будет обнаруживать поврежденные твэлы. Нейтронная радиография используется также во Франции для контроля рабочих зазоров в термоэлектрических элементах и определения содержания водорода в таблетках геттера из циркония.

Для реакторов канального типа необходима аппаратура для периодического контроля состояния канальных труб. В Канаде продольные дефекты в канальных трубах из сплава циркония в реакторах CANDU выявляют установкой, позволяющей при осевом перемещении ультразвуковой головки из четырех искателей проконтролировать со скоростью 6 м/мин по всему периметру и длине (6,5 м) канальную трубу во время останова реактора. Обнаруживаются дефекты глубиной более 0,12 мм.

Теплообменники. Для контроля состояния труб находящихся в эксплуатации теплообменников наибольшее применение нашел метод вихревых токов. Контроль на двух-трех частотах дает возможность повысить чувствительность к дефектам в трубах на фоне мешающих воздействий (ФРГ). В США проведены предварительные исследования по ультразвуковому контролю (изнутри трубы) дефектов на двухслойных трубах внутренним диаметром 27,6 мм и толщиной стенки 4,6 мм, используемых при изготовлении парогенераторов быстрого реактора EBR-II. Стыковые сварные швы на теплообменниках успешно проверяются радиоизотопным методом. В трубу внутренним диамет-

ром 14 мм вставляется ^{170}Tl размером $0,5 \times 0,5$ мм (период полураспада 128 дней). За 6 мин проводится панорамная радиография сварного соединения. Таким образом выявляются поры диаметром более 0,18 мм (Англия). Для этих же целей фирма «Балтю» (Бельгия) разработала установку «Нуклекс» с панорамной рентгеновской трубкой, имеющей выносной подвижный анод внешним диаметром 12 мм (рабочее напряжение 70—90 кВ, диаметр фокального пятна 0,1 мм).

Корпус и элементы конструкции реактора. Как известно, большие трудности возникают при ультразвуковом контроле сварных соединений на деталях из аустенитной нержавеющей стали. Для обнаружения горячих трещин в процессе многопроходной сварки толстостенных труб при производстве оборудования для АЭС фирма «Гард» (США) использует излучаемую трещинами акустическую эмиссию. В ФРГ создано оборудование для ультразвуковой дефектоскопии сварных швов на первичном контуре быстрого реактора SNR300, изготавливаемого из аустенитной стали X6 CrNi1811. Контроль ведется несколькими наклонными искателями на частоте 1—2 МГц. В некоторых докладах отмечались преимущества применения для этих целей наклонных раздельно-совмещенных искателей (Австрия, ФРГ), а в ряде случаев совмещенных или даже фокусированных искателей (Франция, Япония).

В представленных на конференции докладах рассматривались также достоинства и недостатки разработанных систем контроля корпусов реакторов снаружи (США, Швеция) и изнутри (ФРГ, Франция, Япония, Англия, США). Накоплен довольно большой экспериментальный материал по акустико-эмиссионному контролю элементов конструкций реакторов «Вермонт Янки», реакторов на АЭС «Калверт-Клиффс» (США), «Фессенхейм» (Франция), кипящего реактора в Швеции. Достаточно хорошо проверены возможности метода для периодической инспекции первого контура, и начинается его внедрение. В ближайшие годы действующие реакторы будут оснащаться системами акустико-эмиссионного контроля средней сложности, а вновь строящиеся — более сложными системами. Характерным для прошедшей конференции было довольно большое число докладов по акустико-эмиссионному методу контроля самых разнообразных явлений, возникающих при испытаниях материалов (фазовые превращения, механические и термические воздействия, коррозия и др.).

Большой интерес для специалистов представляют доклады по определению происхождения и геометрических размеров обнаруженных дефектов различными методами (СССР, Франция, ФРГ, США, ЧССР, ПНР, НРБ и др.), электромагнитному возбуждению ультразвуковых колебаний при контроле прутков (Англия), по определению размера зерна ультразвуковым способом (ФРГ), по контролю содержания феррита в аустенитных сталях (НРБ), по ультразвуковому способу контроля степени холодной деформации, глубины упрочненного слоя и шероховатости поверхности (Франция) и многие другие.

Радиационные методы по-прежнему занимают ведущее место среди неразрушающих методов контроля. На конференции вопросам теории и практики метода была посвящена почти пятая часть докладов.

В последние годы большое внимание уделяется автоматизации процессов контроля. Примером комплексного решения проблемы может служить ультразвуковая установка фирмы «Крауткремер» (ФРГ) для контроля качества толстого листа. В ней использованы все новейшие достижения: самонастройка зоны контроля,

автоматическая регулировка чувствительности в зависимости от глубины залегания дефекта, применение ЭВМ и т. д. Оригинальная автоматическая установка для ультразвуковой дефектоскопии сварных швов на плоских конструкциях с цифровечатоу результатов контроля разработана в Японии. Во многих докладах проводились технические характеристики автоматизированных установок для контроля проката (СССР, США, Япония, ФРГ, Франция, Англия и др.).

Для делегатов конференции была организована большая выставка технических средств неразрушающего контроля. Шестидесят ведущих фирм Западной Европы, США и Японии представили разнообразную действующую аппаратуру (преимущественно в модульном исполнении), установки и вспомогательные средства для проведения неразрушающего контроля. В ней

широко используется цифровое представление контролируемых величин и графическое изображение результатов контроля. Аппаратура отличается качеством изготовления и красивым внешним видом.

В целом конференция прошла организованно и в деловой обстановке. Следует отметить большое внимание, оказанное французскими специалистами — членами оргкомитета советской делегации.

Во время работы конференции состоялось заседание Международного комитета по неразрушающему контролю, на котором принято решение о проведении очередных конференций: в Австралии в 1979 г., в СССР в 1982 г.

ГОРСКИЙ В. В.

Химическое оборудование на выставке «АСМЕА-76»

Задача международной выставки, которая состоялась 21—26 июня 1976 г. во Франкфурте-на-Майне (ФРГ), — демонстрация новейшего химического оборудования и установок для заключения торговых сделок. В ней участвовали крупнейшие фирмы, выпускающие подобное оборудование.

В представленном на выставке новейшем оборудовании использован широкий ассортимент неметаллических материалов — пластик простой и армированный металлом, стеклопластик, стирек и т. п. Фирма «Квик-фит» (ФРГ) показала, например, стеклянные реакторы объемом 5 м³ и колонны диаметром 1 м. Демонстрировались компенсаторы из армированной металлом резины и задвижки, запирающие проходное сечение сдвливанием отрезка трубы из того же материала.

Как показала выставка, особое внимание обращается на разработку установок и аппаратуры для защиты окружающей среды и создание замкнутых технологических схем. Фирма «Краусс-Маффей» (ФРГ) проанализировала технологию производства нескольких тысяч химических продуктов и на этой основе разработала «замкнутые схемы». Для очистки воздуха предлагается множество абсорберов, из которых наиболее интересными являются скруббер Мультивентури для улавливания пыли и фонтанный абсорбер фирмы «Штейлер» (ФРГ), очищающий при $D = 1$ м, $H_{ст} = 0,6$ м 1000 м³/ч воздуха от NO, HCl, HBr. Качество очистки контролируется широко представленными на выставке контрольно-измерительными приборами.

Очистка сбросных вод на заводах разных фирм ведется по схеме, включающей концентрирование осаднением, ионным обменом или флотацией, фильтрацию осадков и последующее их сжигание. По такой схеме фирма BASF (ФРГ) эксплуатирует установку производительностью 1 млн. м³/сут по очистке стоков, получаемых с заводов фирмы и из двух городов: Людвигсхафен и Фриденгаль. Для первых операций фирмами обычно используется стандартное оборудование, для сжигания предлагаются различные конструкции специальных печей. Ионный обмен обеспечивается ионитами гелевой и макропористой структур, ассортимент которых включает более 150 марок. Интересную непрерывно действующую установку для очистки стоков активированным углем производит фирма «Чиёда» (Япония). Сорбция осуществляется псевдооживленным

слоем угля, протекающего через тарельчатую колонну; уголь восстанавливается термически. Имеется также выпарной аппарат с тарелками особой конструкции, обеспечивающий дистилляционную очистку вод в 10⁶—10⁷ раз.

Следует отметить стремление всех фирм к созданию аппаратов возможно большей производительности. Так, разрабатываются способы обеспечения качественного перемешивания при увеличении объема реакторов до 200 м³. Для этого предусматривается устанавливать в реакторе по несколько мешалок, иногда разной конструкции, причем предполагается, что меньшая скорость перемешивания, поданная равномерно по сечению аппарата, дает больший эффект, чем централизованная высокоскоростная мешалка. Предлагаются различные типы мешалок и уплотнений для реакторов, работающих при температуре до 250°С и давлении до 15 атм. На выставке демонстрировались реакторы для перемешивания густых пульпы и других вязких сред.

Для систем жидкость — жидкость имеются проточные реакторы, чаще всего горизонтальные, пригодные для высоковязких сред (до 10¹⁷ сП) со шнековым транспортом и так называемые статические смесители — трубы со специальными неподвижными элементами, обеспечивающими контакт жидкостей с соотношением вязкости от 1 : 1 до 1 : 10⁶ сП (фирма «Кеникс», США). В этих смесителях можно также производить теплообмен, эффективность которого за счет элементов увеличивается в 5 раз по сравнению с общепринятой. Такие смесительные элементы применяются в вертикальных реакторах для систем жидкость — газ.

На выставке были представлены различные экстракторы, причем в отличие от прежних лет экспонировались только колонны с дополнительным подводом энергии — роторно-дисковые («Лува», Швейцария), пульсационные и вибрационные («Монтцль», ФРГ; «Робател», Франция) с ситчатыми и насыпными (кольца Рашига) насадками. Известные своими центробежными экстракторами фирмы «Робател» и «Подбильяк» ограничились только их проспектами, фирма «Робател» показала пульсационную колонну и сообщила, что такая колонна диаметром 1 м изготовлена для завода по регенерации ядерного топлива в Маркуле. В проспектах фирмы «Монтцль» описывается ситчатая