

EBR II, проработавших в течение 16 лет, в том числе 70 тыс. ч на мощности с 600 циклами ее повышения.

Разработаны принципы парогенератора для промышленных реакторов с планируемым ресурсом 40 лет. В 1982 г. предполагается изготовить модель одностенного геликоидального парогенератора мощностью 70 МВт. Испытания модели планируются на 1983 г. Предполагается также проведение детальных испытаний двустенного прямотрубного парогенератора на моделях в масштабе 1/3 и 1/2. Проведены испытания модели парогенератора для установки в Клинч-Ривере (США) и модульного парогенератора разработки фирмы «Атомик интернэйшнл» в условиях протечек большого количества воды в натрий (до 13 кг в течение 10 с).

Значительное внимание на конференции было уделено проектированию и испытанию опытных образцов и прототипов оборудования натриевых контуров (электромагнитные насосы, температурные регуляторы, системы останковки) и установок с литиевым теплоносителем.

**Отмывка оборудования, очистка натриевого теплоносителя.** Накоплен большой опыт уничтожения значительных количеств щелочных металлов и изыскания средств, обеспечивающих отмывку и дезактивацию оборудования в промышленных масштабах. Очистке натрия от примесей посвящены как специальные доклады, так и разделы в докладах об опыте эксплуатации промышленных установок и экспериментальных стендов. Основные направления дальнейших

разработок связаны с оптимизацией имеющихся конструкций для повышения емкости ловушек по примесям и с разработками холодных и горячих ловушек специального назначения, например для очистки от гидрида натрия (в пусковом режиме),  $^{54}\text{Mn}$  и  $^{60}\text{Co}$ .

**Влияние щелочных металлов на механические характеристики конструкционных материалов.** В основной части докладов содержатся результаты исследований ползучести и усталостных характеристик ферритных 2,25 Cr — 1 Mo, 9 Cr — 1 Mo и аустенитных сталей серии 300 в натрии в зависимости от исходной термической обработки, нагрузок и карбюризационного потенциала натрия. Отмечена недостаточная устойчивость к радиационной ползучести стали 2,25 Cr — 1 Mo при ее обезуглероживании. Установлено отсутствие влияния натрия на прочностные свойства стали 9 Cr — 1 Mo при пластичной радиационной ползучести. Усиленное распухание на третьей стадии ползучести, наблюдаемое у аустенитных сталей, связывается с комбинированным воздействием натрия и развитием межзеренной ползучести.

Конференция явилась важным событием, отражающим как успехи, достигнутые в промышленном освоении натрия в качестве теплоносителя быстрых реакторов, так и задачи, возникающие в связи с решением проблем оптимизации и повышения надежности энергетических установок. Ее труды будут изданы.

ЗАГОРУЛЬКО Ю. И.

## 4-е заседание международной Рабочей группы по ИНТОРУ

На заседание, состоявшееся 20—31 октября 1980 г. в Вене, каждая из сторон представила черновой вариант национального эскизного проекта ИНТОРа. Рабочие группы и Координационный совет совместно с Руководящим комитетом подтвердили основные параметры реактора и спецификацию для проектирования. Внесены дополнительные данные, которые расширили и уточнили таблицу параметров. Сделан шаг вперед по сравнению с 3-м (июньским) заседанием в выборе самосогласованного варианта характеристик потоков частиц и тепла, падающих на стенку реактора, диверторные пластины и придиверторную зону. Этот набор параметров служит в настоящее время основой для дальнейшего проектирования первой стенки и дивертора.

В физической группе обсуждались конфигурация полоидальной тороидальной магнитной поля, физика плазмы в пристеночной области и взаимодействия плазмы со стенкой, рабочий сценарий, а также дополнительные вопросы, выдвинутые на заседании: параметры плазмы и неустойчивость срыва. Сделан вывод, что уменьшение малого радиуса плазмы с 1,3 до 1,2 м, связанное с использованием магнитного полоидального дивертора с одним нулем, возможно лишь в случае поддержания тока плазмы на уровне 6,4 МА при магнитном поле на оси камеры 5,5 Тл и коэффициенте запаса устойчивости 2,1. Для создания диверторного канала во внутренней части тора имеются две возможности: применение дополнительных катушек для подкатушки магнитного потока во внутренней части тора или использование конфигурации полоидального магнитного дивертора с двумя нулями. Были приведены новые экспериментальные данные о физике плазмы в пристеночной области, полученные на установках с полоидальным дивертором: ASDEX (ФРГ), PDX (США), Doublet III (США), T-12 (СССР). Поступила дополнительная информация с установок DITE (Великобритания), TFR (Франция) и T-10 (СССР). В результате обсуждения этих данных и характеристик систем с полоидальным дивертором предпочтение отдано дивертору с двумя нулями.

Отсутствие новой экспериментальной информации о неустойчивости срыва в токамаке послужило аргументом

для сохранения характеристик данного процесса, приняты на предыдущей сессии.

Выявлена значительная неопределенность роли гофрировки тороидального магнитного поля, которую она играет в переносе тепловых и быстрых ионов в плазме токамака. Учитывая экспериментальные результаты на PLT (США) и стеллараторе W VII (ФРГ) и теоретические выводы, группа заключила, что требования на значение гофрировки должны остаться неизменными. Однако высказаны рекомендации о возможности увеличения угла инжекции нейтрального пучка. Вновь рассмотрен рабочий сценарий и сделано заключение, что в настоящее время нет оснований для существенного его изменения.

В инженерной группе рассматривались эволюция основных различий представленных на сессию проектов и ключевые проблемы проекта, сформулированные на прошлой сессии. Руководящий комитет определил цель работы инженерной группы — иметь четыре национальных эскизных проекта к январю 1981 г., сходящихся по мере их обсуждения в один. На этом пути есть большие трудности. Группа достигла соглашения по наиболее важным проектным решениям, что должно облегчить работу по сведению четырех национальных проектов в один международный.

На сессии достигнуты следующие основные согласованные решения:

система тороидального магнитного поля должна состоять из 12 катушек внутренним размером около  $10,5 \times 7,5$  м;

проект должен основываться на выполнимых для производства решениях;

для анализа циклических нагрузок на систему тороидального поля следует рассмотреть механику разрыва; динамический анализ требуется провести для конструкции токамака в целом;

сверхпроводник  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  является наиболее приемлемым;

сильфоны или эквивалентные элементы с тонкой стенкой будут использоваться вместо электрических разъемов в вакуумной камере;

в бланкете воспроизводства трития оказывается возможным использование водяного охлаждения; дивертор с одним нулем внизу является эталонной конфигурацией;

диверторные устройства будут проектироваться как сменные модули;

при необходимости для улучшения конфигурации катушки полоидального поля могут быть помещены внутри тороидальных катушек;

все внешние катушки полоидального поля могут быть сверхпроводящими;

трансформаторная колонна не требуется.

Инженерная группа детально обсудила общие черты проекта и обслуживания, систему поло- и тороидального полей, первую стенку, бланкет, защиту и дивертор, испытательные устройства.

На заседании нейтронной группы были приняты решения, определяющие главные черты конструкции реактора. Материал первой стенки выбран из сравнения способности разных материалов противостоять распылению и воздействию срывов плазмы и одновременно выдерживать стационарную тепловую нагрузку. Два основных материала — сталь и алюминий — могут противостоять распылению, однако не выдерживают воздействие срывов. Для части камеры, не подвергающейся максимальному воздействию плазмы при срыве, была выбрана сталь как наиболее изученный материал с известным поведением при облучении. Для защиты внутренней поверхности камеры рекомендован графитовый экран, передающий тепло на стенку излучением. Тепловые и прочностные расчеты различных конструкций первой стенки с использованием стали и графита должны быть представлены к следующей сессии.

Было принято решение о введении в конструкцию реактора литиевого бланкета с элементами, выполненными на основе керамики. Предпочтительным материалом был назван ортосиликат  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ , имеющий по теоретическим оценкам достаточно высокое давление насыщенных паров в диапазоне 500—700 °С. Обсуждаемые в качестве альтернативных решений варианты бланкетов с литиевыми эвтектиками типа  $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$  и  $\text{LiPb}_5\text{Bi}_4$  были признаны более сложными с точки зрения инженерных решений и должны рассматриваться в качестве запасного варианта. В обоих вариантах необходимо достижение коэффициента воспроизводства трития в реакторе не ниже 0,6, для этого требуется покрыть бланкетом 50—60% поверхности плазменной камеры.

Расчеты и конструкторские проработки показали, что проблема отвода тепла от диверторных пластин может быть решена в конструкции, где внешний слой толщиной 2—3 мм выполнен из сплавов тяжелых металлов (молибдена или вольфрама). Однако вследствие их сильного распыления и отсутствия данных, подтверждающих радиационную стойкость при полном ресурсе ИНТОРа, пластины предлагается делать сменными с ресурсом 0,5—2 года.

На сессии была сформирована группа для рассмотрения вопросов безопасности и охраны окружающей среды. Задача — влиять на проект ИНТОРа таким образом, чтобы он мог быть осуществлен с этой точки зрения в любой стране — члене МАГАТЭ.

Сессия прошла успешно. Следующая состоялась в январе 1981 г.

ПИСТУНОВИЧ В. И.

### 3-я международная конференция по радиационной технологии

Конференция проходила 26—31 октября 1980 г. в Токио (Япония). В ее работе участвовали 297 специалистов из 32 стран мира. Было заслушано 143 доклада, в основном прикладного характера, в которых приведены многочисленные примеры промышленного внедрения радиационных процессов. Отмечалось, в частности, что в США стоимость продукции, выпущенной в 1979 г. с использованием радиационной технологии, составила 3 млрд. долл.

Можно выделить две большие группы проблем, рассмотренных на конференции: технологические и аппаратные вопросы осуществления радиационных процессов. Большое внимание было уделено источникам излучения. В настоящее время в радиационной технологии используют такие источники, как препараты  $^{60}\text{Co}$  и ускорители электронов, перспективными считаются  $^{137}\text{Cs}$  и радиационные контуры ядерных реакторов.

**Установки с источниками  $\gamma$ -излучения.** В докладе К. Моргенштерна (США) приведены данные о мощности изотопных гамма-установок с источниками  $^{60}\text{Co}$  в мире (~1 МВт). В США насчитывается около 20 изотопных установок для стерилизации, и они сосредоточены в 10 промышленных фирмах, а всего, согласно докладу Дж. Ронсохофа, акцидуатируется 26 с  $^{60}\text{Co}$  общей активностью 20 млн. Ки. В США используют главным образом хранилища бассейнового типа, что позволяет легко изменять конфигурацию и распределение загрузки в облучателе в зависимости от вида облучаемой продукции. Такая конструкция считается предпочтительной, несмотря на несколько большую ее стоимость по сравнению с установками, имеющими хранилища сухого типа.

По данным Н. Тамура, общая активность облучателей гамма-установок, действующих в Японии и сосредоточенных в четырех промышленных фирмах, составляет 2 МКи (~30 кВт). Три из этих установок предназначены для стерилизации медицинских инструментов и оборудования

и одна — для радиационной обработки картофеля. Наиболее удобным типом хранилища источников также признан бассейновый. На небольших установках полупромышленного типа с активностью источников  $^{60}\text{Co}$  ~100 кКи используют свинцовую защиту хранилища и бетона рабочих камер. Для облучения больших количеств картофеля создана специальная установка на основе опыта использования двух облучателей плоского типа с  $^{60}\text{Co}$  и конвейерной системы перемещения стандартных картонных упаковок в Исследовательском центре в Такасаки. Максимальная ее производительность 13 т/ч, активность  $^{60}\text{Co}$  100 кКи (~1,5 кВт). Это обеспечивает облучение картофеля дозой, разрешенной в Японии (максимальная 15 крад, минимальная 6 крад). При создании промышленной установки было решено отказаться от плоских облучателей и параллельных конвейерных линий ввиду необходимости применения большегрузных контейнеров размером 100 × 160 × 130 см, вмещающих 1,5 т облучаемого картофеля каждый. В связи с этим на установке предусмотрено кольцевой конвейер диаметром около 10 м и центральный источник, выполненный в виде цилиндрической стойки диаметром 1 и высотой 1,2 м, по образующей которой размещены препараты  $^{60}\text{Co}$ . Активность источника промышленной установки 300 кКи. Конструкция хранилища (водный бассейн глубиной 6,4 м) и защита рабочей камеры, выполненная из бетона толщиной 2 м, позволяет увеличивать загрузку  $^{60}\text{Co}$  до 1 МКи. Первоначальную загрузку и периодическую замену источников проводят через верхнюю разборную часть бетонной защиты. На установке с 1974 г. обработано свыше 100 тыс. т картофеля, стоимость облучения составила 2,3 иены/кг, что вызвало повышение стоимости продукта на 1,4—2,5%.

Большое внимание уделяется радиационной безопасности в связи с крупномасштабным использованием изотопных радиационных установок. В частности, Исследова-