

проводящих материалов реактора-токамака, работающего как на смеси дейтерия и трития, так и на чистом дейтерии. Размеры магнитной системы при этом составляют: большой радиус тора 5 м для ДТ и 10 м для ДД-реактора, малый радиус 1,7 м и 4 м, напряженность магнитного поля в обоих случаях 160 кэ.

Сообщение Лонга (Ок-Ридж, США) было также посвящено проекту магнитной системы реактора-токамака с радиусом 10,5 м. Утверждается, что система с общим вакуумным объемом технически и экономически более выгодна, чем отдельные криостаты для каждой катушки. Найдены значения тепловых потоков в системе, а также рассмотрены вопросы стоимости сверхпроводящих материалов и рефрижераторной установки.

Конструкция обмоток из сверхпроводящих материалов для стелларатора W-7 описана в докладе Випфа (ФРГ). Большой радиус системы 2 м, внутренний радиус катушек 40 см, наружный — 70 см. Обмотки находятся в стадии изготовления.

Последние два доклада этой секции были посвящены исследованию магнитных систем термоядерного реактора-стелларатора.

В докладах Георгиевского (ХФТИ, СССР) и Хьюберта (Франция) показано, что применение для магнитных систем реактора винтовой обмотки торотронного типа с модулированным по специальному закону углом навивки позволяет существенно упростить магнитную систему реактора-стелларатора. В результате экономические показатели реактора-стелларатора и реактора-токамака оказываются близкими. Кроме того, такой стелларатор имеет ряд преимуществ: позволяет работать в стационарном режиме; применять дивертор, не на-

рушающий конфигурацию магнитного поля; существенно уменьшает поперечные силы, действующие на обмотку, и т. п.

## Заключение

1. Симпозиум показал, что проблема создания термоядерного реактора не ограничивается задачами термоизоляции и нагрева плазмы. Имеется широкий круг задач, связанных с разработкой больших магнитных систем и мощных источников питания, явлениями на стенке реактора и радиационной стойкостью материалов, необходимостью защиты сверхпроводящих материалов, воспроизводства трития и съема тепла с реактора. Для решения этих задач потребуется 5—10 лет.

2. За рубежом (в первую очередь в США, а также в ФРГ и Великобритании) проводится широкая программа исследований. Об этом свидетельствует большое число участников (от США более 120 человек, представляющих 11 университетов, 10 исследовательских центров и 8 фирм).

3. На симпозиуме обсуждались результаты предэскизной проработки различных аспектов тороидального реактора (токамака и стелларатора), реакторов на основе тороидального  $\theta$ -пинча и открытой лопушки.

4. Термоядерный реактор представлялся участникам симпозиума как оптимальный, в смысле воздействия на окружающую среду, экономически приемлемый вариант решения проблем энергетики будущего.

В. С. СРЕЛКОВ

## Инженерные аспекты радиационного охрупчивания материалов реакторных корпусов

10—13 мая 1971 г. в Вене проходило совещание экспертов рабочей группы МАГАТЭ, на котором были заслушаны сообщения или выступления экспертов о влиянии облучения и других факторов, вызывающих охрупчивание корпусных сталей в рабочих условиях; обсуждены предложения представителей членов МАГАТЭ по проведению стандартных исследований «эталонной» марки стали в рамках национальных программ с целью сопоставления результатов и оценки радиационной стойкости различных марок сталей; рассмотрены основные направления материаловедческих исследований, проводимых для обеспечения надежности работы корпусов реакторов в течение всего срока эксплуатации АЭС.

В совещании рабочей группы, проходившем под председательством известного специалиста в области реакторных материалов Р. Николса (Инженерная и материаловедческая лаборатория в Рисле, Англия), приняли участие 17 ученых из Англии, Бельгии, Евратома, Италии, СССР, США, Франции, Швеции, ЧССР, Швейцарии и Японии.

В соответствии с решениями предыдущих совещаний рабочей группе экспертов было поручено подготовить «Стандартную минимальную программу исследования «эталонной» марки стали» для реализации в рамках национальных программ. Предложения по указанной программе были внесены представителями ФРГ, Япо-

нии, ЧССР и СССР. Принятые в качестве основы предложения экспертов СССР и ЧССР исходили из необходимости выполнения некоторого минимума исследований и использования уже существующих методик. Стандартная минимальная программа предусматривает исследование стали А533 (0,25% С, 1—1,5% Мп, 0,7—1% Ni, 0,5% Мо), поставляемой США всем странам-участникам без какой-либо оплаты, согласно соглашению с МАГАТЭ. При этом указываются: место отбора образцов из стального блока; нейтронная доза и температура облучения образцов; типы испытываемых образцов и определяемые свойства и желательный срок выполнения исследования.

Применительно к материалам корпусов реакторов существуют общие проблемы, в решении которых заинтересованы страны, строящие и эксплуатирующие реакторы корпусного типа. По мнению экспертов, к ним относятся:

1. Радиационное охрупчивание и влияющие на него факторы (структура и состав стали, методы контроля охрупчивания, практические и теоретические аспекты устранения радиационных повреждений термообработкой).

2. Влияние комплексного воздействия условий работы на свойства материалов корпуса (деформационное и тепловое старение в сочетании с действием облучения, поведение высокопрочных сталей и проблемы,

связанные с применением их в качестве материалов для корпусов реакторов, циклическая прочность, водородная хрупкость применительно к условиям использования высокопрочных сталей).

3. Анализ условий разрушения и вопросы безопасности конструкций (использование толстостенных сварных конструкций, особенно в зоне облучения, снижение вязкости и анализ этого явления применительно к обеспечению надежности работы корпусов, использование данных механики разрушения при проектировании корпусов реакторов, явления усталостного роста трещин, программа изучения образцов-свидетелей для прогнозирования изменений свойств стали, установление предельно допустимых условий работы корпусов, вопросы моделирования и составление программ для анализа на ЭВМ влияния различных факторов на свойства материалов, учет влияния нейтронного спектра при оценке данных исследования образцов-свидетелей и др.).

В настоящее время эксперты едины в своем мнении относительно подхода к проблеме обеспечения надежности работы корпусов реакторов. В качестве гарантии, исключающей возможность хрупкого разрушения, принят контроль за рабочей температурой корпуса. При этом рабочая температура нагруженного корпуса всегда должна быть выше критической температуры хрупкости.

В докладах Л. Стила, (США), Ж. Сиверса (ФРГ) и Т. Фудзимур (Япония) было показано усиление хрупкости сталей А302 и А533 от длительного температурного воздействия. Этот эффект в сочетании с деформационным старением вносит существенный вклад

в повышение критической температуры хрупкости облученной стали.

В настоящее время во многих странах интенсивно ведутся исследования по механике разрушения материалов, включая и исследования на облученных образцах.

В обстоятельном докладе Л. Стила было отмечено, что присутствие в стали примеси меди (более 0,1 вес.%) является нежелательным, так как в условиях облучения возникает повышенная склонность к охрупчиванию. Сера и фосфор также оказывают отрицательное влияние. В связи с неоднородностью структуры и состава стали металла сварного соединения особо актуальным для сварных корпусных конструкций является исследование поведения металла шва и зоны термического влияния в условиях облучения. Поэтому эксперты считают, что вопросы обеспечения надежности работы корпусов в первую очередь должны быть рассмотрены для сварного соединения.

В настоящее время наши познания, относящиеся к комбинированному влиянию многочисленных эксплуатационных факторов на свойства материалов и состояние корпусных конструкций таковы, что имеется еще необходимость в периодическом контроле корпусов по специально разработанным программам.

Состоявшаяся в рабочей группе МАГАТЭ дискуссия инженерных аспектов радиационного охрупчивания была плодотворной и полезной. Деятельность рабочей группы МАГАТЭ как организующего звена заслуживает одобрения.

А. Д. АМАЕВ

## Международный симпозиум по быстрым методам контроля радиоактивности окружающей среды

С 5 по 9 июля 1971 г. в Институте по исследованию излучений и окружающей среды, расположенном близ Мюнхена, проходил Международный симпозиум, организованный МАГАТЭ и правительством ФРГ. В работе симпозиума участвовали 217 специалистов из 30 стран, представившие около 80 докладов. Быстрые методы анализа загрязнения окружающей среды радиоактивностью могут иметь большое значение, с одной стороны, при авариях на ядерных установках, а с другой — при нормальной работе последних, делая контроль более совершенным и эффективным прежде всего с точки зрения защиты окружающей среды. Заслушанные и обсужденные доклады охватывают огромный круг задач, показывают многообразие подходов к их решению и отражают научно-техническое состояние этого вопроса в передовых странах мира.

Доклады были сгруппированы по следующим тематическим разделам (секциям): общие задачи или основные проблемы, химические лабораторные методы, полевые методы, обычный дозиметрический контроль, аварийный контроль, обработка данных, будущее развитие.

При рассмотрении общих задач или основных проблем в докладах К. Моргана и Д. Харли (США) большое внимание обращалось на вопросы дозиметрии и защиты окружающей среды от радиоактивных загрязнений в связи с ростом ядерной энергетики и намечаемой в ряде стран большой программой строительства АЭС. Особо отмечалась необходимость серьезной по-

становки и проведения дозиметрических и экологических исследований. Однако Морган считает, что облучение населения, обусловленное атомной промышленностью, во много раз меньше, чем облучение населения за счет лучевой терапии и диагностики, а ядерные энергетические установки значительно безопаснее, чем тепловые станции, являющиеся источником одного из главных и наиболее опасных загрязнений — окиси серы. Тем не менее, подчеркивает Харли, общественность США требует, чтобы уровень радиоактивного загрязнения внешней среды и дозы, получаемые населением, были минимальными.

Вопросам оценки риска загрязненности внешней среды вследствие аварий и организации служб контроля, описанию объема радиометрических измерений и методов измерений уделено внимание и в ряде других докладов первой секции.

На химической секции было заслушано самое большое число сообщений. Обзорный доклад прочитал польский ученый Д. Минчевский. Другие доклады были посвящены конкретным методам определения  $\alpha$ ,  $\beta$ - и  $\gamma$ -активных изотопов в различных объектах внешней среды и продуктах питания, подготовке проб с использованием методов сухого и влажного озоления, приемам и аппаратуре, ускоряющим эти процессы, особенно процесс мокрого озоления (Б. Боррель, ФРГ). Уделено внимание быстрым методам радиохимического выделения продуктов деления, в частности изотопов