

Третья сессия советско-американской координационной комиссии по быстрым реакторам

На сессии, проходившей 20—22 октября 1976 г. в Тбилиси (СССР), были подведены итоги сотрудничества со времени второй сессии (Вашингтон, ноябрь 1975 г.) и разработана программа на 1977—1978 гг. Советская и американская стороны обменялись информацией о состоянии и перспективах работ по быстрым реакторам с натриевым теплоносителем.

Советско-американское сотрудничество. За период между сессиями были проведены следующие совместные мероприятия:

1. Семинар по безопасности быстрых реакторов, Аргоннская национальная лаборатория, январь 1976 г. При обсуждении итогов семинара комиссия выделила следующие наиболее важные темы: удержание осколков в натрии, включая работу с дефектными твэлами; конструирование и испытание систем управления и контроля; естественная циркуляция как средство аварийного охлаждения; удаление осколков и радиоактивных продуктов коррозии из теплоносителя, газовой системы и оборудования (см. «Атомная энергия», 1976, т. 40 вып. 1, с. 84).

2. Техническое совещание специалистов по обмену материалами оболочек твэлов быстрых реакторов, Обнинск, июль 1976 г. На нем были согласованы номенклатура образцов, подлежащих обмену; сроки обмена (первый квартал 1977 г.), перечень и условия экспериментов, которые должны быть проведены каждой из сторон. Обсуждены результаты исследований свойств материалов оболочек и чехлов сборок твэлов, используемых в СССР и США (см. «Атомная энергия», 1976, т. 41, вып. 5, с. 367).

3. Семинар по повышению надежности и обеспечению безопасности эксплуатации парогенераторов для быстрых реакторов, Димитровград, июль 1976 г. По окончании семинара состоялись технические совещания специалистов, где были разработаны согласованные программы сотрудничества по темам: исследование эффектов взаимодействия при малых и больших течах воды в натрий; методы обнаружения течей в парогенераторах натрия — вода; перенос углерода во втором натриевом контуре быстрых реакторов.

4. Согласование номенклатуры и обмен образцами труб парогенераторов и промежуточных теплообменников, не бывших в контакте с натрием. Образцы будут использованы в программах «малые течи» и «перенос углерода» (п. 3). В первой половине 1977 г. предпола-

гается согласовать условия обмена образцами, бывшими в контакте с натрием.

5. Обмен результатами физических расчетов стандартного быстрого реактора.

Обе стороны выразили удовлетворение проделанной работой.

Программа советско-американского сотрудничества по быстрым реакторам с натриевым охлаждением на 1977—1978 гг. предусматривает проведение двусторонних семинаров по физике реакторов (СССР, 1977 г.); разработке, изготовлению и испытанию натриевых компонентов, исключая парогенераторы (США, 1977 г.); парогенераторам (США, 1978 г.); материалам оболочек твэлов (СССР, 1978 г.), а также по материалам совместных программ (п. 2, 3).

Американская программа разработки быстрых реакторов с натриевым теплоносителем LMFBFR. Задачи американской программы по LMFBFR в настоящее время сводятся к разработке и демонстрации работоспособности ядерной энергетической установки с LMFBFR в целом и подготовке к серийному производству коммерческих LMFBFR. Программу намечено осуществить до 2000 г. при минимальных финансовых затратах и широком привлечении промышленности. Основных этапов программы пять. На первом намечено завершить строительство и пуск в 1980 г. реактора FFTF мощностью 400 МВт (тепл.) для испытания топлива и материалов (Ханфордская инженерно-техническая лаборатория), на втором планируется создать и пустить в 1983 г. демонстрационный реактор CRBRP мощностью 350 МВт (эл.) на р. Клинч недалеко от Ок-Риджа. Проектирование и пуск в 1988 г. реактора PLBR мощностью около 1000 МВт (эл.) — прототипа большого коммерческого LMFBFR — предусматривается на третьем этапе. Пуск в 1993 г. реактора CBR-1 на 1500 МВт (эл.) — первого реактора из серии коммерческих LMFBFR — программа четвертого этапа, а ввод к 2000 г. 30—60 ГВт (эл.), т. е. 20—40 коммерческих установок CBR-1, — пятого этапа.

Стратегия программы обусловлена сравнением разведанных к настоящему времени запасов относительно дешевого уранового сырья (3,7 млн. т в пересчете на U_3O_8) с потребностями развивающейся ядерной энергетики США в топливе. Предполагается, что ввод коммерческих LMFBFR с 1993 г. позволит к 2000 г. сохранить потребность в сырье на уровне разведанных запасов.

Выполнение программы быстрых реакторов США

Таблица 1

Элементы программы	FFTF	CRBRP	PLBR	CBR
Проект	Близок к завершению	Разработан детальный проект установки	Проектные проработки	Сформулированы общие задачи
Технические программы	Закончены	Успешно выполняются	Заканчивается формулирование требований	
Стенды	Эксплуатируются	Модернизируются	Сформулированы предложения	

Характеристики планируемых и сооружаемых установок

Таблица 2

Параметры	FFTF	CRBRP	PLBR	СВР
Мощность, МВт	400	350	1 000	1500
Среднее выгорание топлива, МВт·сут/т	50 000	80 000	100 000	—
Время удвоения, лет	—	25—30	20	12—15
Загрузка топлива, т	2,9	4,6	12	—
Пуск, год	1980	1983	1988	1993

Программу по LMFBR (табл. 1) можно условно разделить на разработку проектов (детальный проект установки, лицензирование, размещение заказов на оборудование, строительство, испытание, пуск, выход на мощность), технических программ (физика, материалы, химия, топливо, компоненты, безопасность, топливный цикл) и стендов (испытание оборудования). На создание установок FFTF, CRBRP и PLBR (табл. 2) выделено 8,6 млрд. долл. (проекты — 2,6; технические программы — 3,7; стенды — 2,3), из которых около 4 млрд. долл. уже израсходовано.

Узловым моментом программы считается 1986 г., когда руководство ERDA будет готово принять решение о реализации широкой программы реакторов-размножителей. К этому времени должны быть закончены основные технические программы и получено одобрение (резолюция) по программам: оценка урановых ресурсов США, разработка системы гарантий сохранности ядерного топлива, захоронение радиоактивных отходов,

влияние АЭС на здоровье человека и окружающую среду, безопасность АЭС (см. рисунок).

В настоящее время работы по сооружению реактора FFTF выполнены на 62 %, на 98 % осуществлен план поставок оборудования. Находится в стадии производства или заказано более половины основного оборудования для установки CRBRP. Однако работы на строительной площадке еще не начаты из-за задержки решения ERDA на проведение «неядерных» работ. Отчеты о безопасности и влиянии на окружающую среду рассматриваются Комиссией по лицензированию. Было отмечено, что получение лицензий является наиболее трудным этапом проекта CRBRP, задерживающим остальные работы.

Компании «Дженерал электрик», «Атомикс интернейшнл» и «Вестингауз электрик» ведут предварительные проектные проработки реактора PLBR для определения его основных параметров и требований к техническим программам. Эта стадия должна закончиться в 1978 г., однако уже сейчас принято решение, что PLBR будет петлевым реактором мощностью около 1000 МВт (эл.). Основная цель создания PLBR — завоевать доверие к быстрым реакторам энергетических фирм и оценить возможности промышленности по производству оборудования для LMFBR большой мощности. Проект установки предполагается закончить к 1982 г., технические программы — к 1984 г. Доставка оборудования на строительную площадку начнется в 1985 г. До конца 1976 г. будет составлена предварительная смета расходов и определена административная структура управления проектом.

Основное оборудование и узлы установки предполагается изготовить в «коммерческом» варианте, т. е. так, чтобы они могли быть использованы непосредственно в коммерческой установке СВР-1.

До 1986 г. должно быть закончено проектирование установки СВР-1, однако решение о ее строительстве будет зависеть от решения руководства ERDA. В ста-

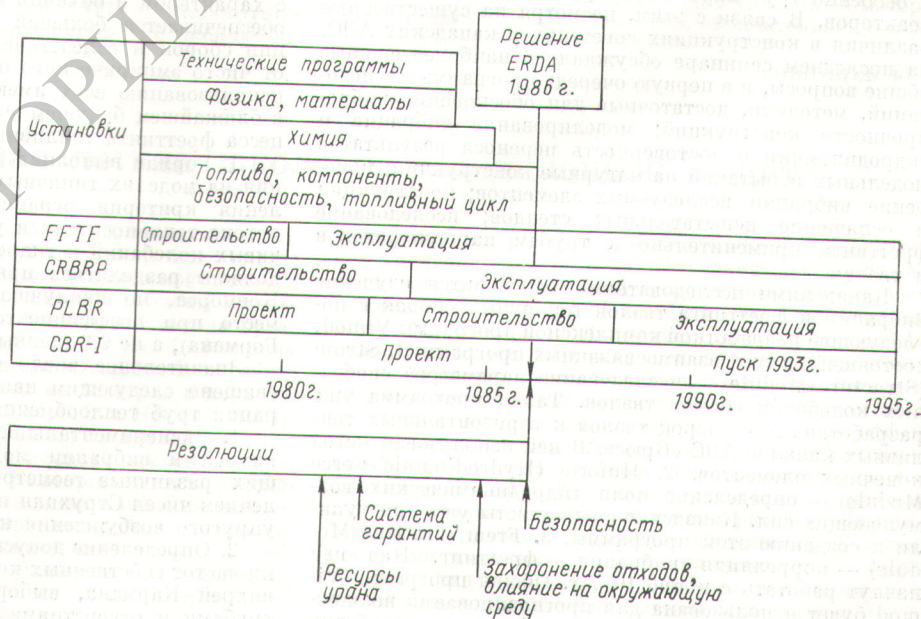


График работ по программе LMFBR

дди проектирования и лицензирования будут находиться также и другие установки СБР.

Непосредственными участниками программы по LMFBR в США являются энергетические фирмы, ERDA, национальные и инженерные лаборатории, промышленность. Их участие в программе распределяется следующим образом. Первые из них формулируют требования к коммерческим установкам, участвуют в финансировании демонстрационных проектов, осуществляют связь между программой по LMFBR и промышленностью. ERDA обеспечивает подготовку и управление программой и источники финансирования. Национальные и инженерные лаборатории выполняют технические программы, управляют всеми исследовательскими лабораториями и стендами. Промышленность разрабатывает демонстрационные проекты, в том числе программы создания узлов и компонентов, расширяет производственные мощности.

Следует отметить, что американская программа претерпевает со временем определенные изменения, в частности программы, желанием

сократить финансовые расходы, результатами выполнения технических программ и стендовых испытаний, возможностями промышленности, опытом эксплуатации быстрых реакторов в других странах, отношением общественности США к программе LMFBR. В частности, сдвинуты соответственно с 1978 г. на 1980 г. и с 1986 г. на 1988 г. сроки ввода реакторов FFTF и PLBR; отменено решение о строительстве установки PCTF мощностью 300 МВт (тепл.) для испытания модулей парогенераторов; планы строительства (после CRBRP) трех демонстрационных установок мощностью до 500 МВт (эл.) заменены проектом создания реактора PLBR.

Руководство ERDA считает программу по LMFBR напряженной, но осуществимой. Десятилетие 1976—1986 гг. явится периодом создания прочного фундамента программы быстрых реакторов. Если ее сроки будут выдержаны, то к 90-м годам США вплотную подойдут к внедрению коммерческой установки с реактором-размножителем.

АРИФМЕТИЧКОВ Е. Ф.

Советско-канадский семинар «Вибрация труб парогенераторов и топливных сборок ядерных энергетических установок»

Семинаров на эту тему состоялось два: в сентябре 1975 г. в Москве и в октябре 1976 г. в Канаде. На первом из них было заслушано и обсуждено 16 советских и 18 канадских докладов, на втором — 18 советских и 17 канадских. В настоящее время осуществляются широкие и целенаправленные программы исследований по обоснованию вибропрочности оборудования АЭС и особенно труб парогенераторов и топливныхборок реакторов. В связи с этим, несмотря на существенные различия в конструкциях советских и канадских АЭС, на последнем семинаре обсуждались наиболее важные общие вопросы, и в первую очередь программы исследований, методики, достаточные для обоснования вибропрочности конструкций; моделирование вибрации и гидродинамики и достоверность переноса результатов модельных испытаний на натурные конструкции; измерение вибрации исследуемых элементов; конструкция и оснащение испытательных стендов; исследование фреттинга применительно к трубам парогенераторов и твэлам.

Канадскими исследователями проводится изучение вибрации и фреттинга твэлов топливныхборок с последующей разработкой комплексной программы Vimod, состоящей из трех взаимосвязанных программ: 1. Strum (Structure Module) — исследование параметров свободных колебаний сборки твэлов и горизонтальных топливных каналов АЭС «Брюс». В ней использован метод конечных элементов. 2. Huforn (Hydrodynamic Force Module) — определение поля гидродинамических возмущающих сил. Канадские специалисты уже приступили к созданию этой программы. 3. Frem (Fretting Module) — корреляция вибрация — фреттинг. Над ней начнут работать в конце 1977 г. Общая программа Vimod будет использована для прогнозирования возможных разрушений вследствие фреттинга и разработки критериев проектирования топливныхборок.

Представляют интерес результаты вибрационных испытаний топливныхборок каналов реактора CANDU. Так как натурные топливные сборки образуются посредством сочленения однотипных, имеющих длину 0,5 м. то перенос результатов модельных испытаний на натуру существенно облегчается.

Анализ конструктивных тенденций в модификациях стандартных для Канады топливныхборок в сочетании с характером и объемом исследований показывает, что обеспечивается большая преемственность в конструкции борок и вследствие этого возможность перехода от чисто эмпирического обоснования к максимальному использованию всех имеющихся данных и построение в ближайшем будущем экспериментальной модели процесса фреттинга топливныхборок.

Д. Горман выполнил экспериментальные исследования на моделях типичных трубных пучков для определения критерия ограничения скорости поперечного потока теплоносителя и установил, что области устойчивых колебаний и гидроупругой неустойчивости труб должны разделяться прямой на известной диаграмме Коннора, но наилучшая корреляция данных имеет место при коэффициенте, равном 3,3 (эксперименты Гормана), а не 9,9 (данные Коннора).

Значительное число советских докладов было посвящено следующим направлениям исследования вибрации труб теплообменников.

1. Экспериментальное изучение процесса срыва вихрей и вибрации моделей трубных пучков, имеющих различные геометрические параметры, с определением чисел Струхала и критической скорости гидроупругого возбуждения колебаний.

2. Определение допустимого коэффициента отстройки частот собственных колебаний труб от частоты срыва вихрей Кармана, выбор приемлемых зазоров между трубами и отверстиями дистанционирующих решеток, а также обоснование критерия нагружения вибраций.