

УДК 621.039.578:623.827

А.А. Иванов (4 курс, каф УЯР), Г.П. Вологодина, д.т.н.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АКТИВНЫХ ЗОН ТРАНСПОРТНЫХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Одним из основных направлений развития транспортных ядерных энергетических установок (ЯЭУ) справедливо можно считать работы по *улучшению качества активных зон ЯЭУ*. За рубежом, а именно в США, Великобритании и Франции, такие работы ведутся постоянно.

Что же подразумевается под термином “*улучшение качества активной зоны*”? Во-первых, это улучшение показателей надежности активной зоны, а во-вторых, увеличение их кампании и срока службы.

Для реализации сформулированных принципов зарубежные разработчики используют следующие методы:

использование более совершенных методов расчета зон и улучшение их теплотехнических и гидравлических характеристик;

повышение надежности твэлов;

поиск новых топливных композиций;

увеличение глубины выгорания топлива;

сохранение низкой энергонапряженности активной зоны (50...70 МВт/м³);

выравнивание поля тепловыделения по объему активной зоны;

экономические преимущества проектируемых активных зон

унифицирование активных зон.

Теперь рассмотрим поподробнее практическое применение этих методов.

Первые активные зоны транспортных ЯЭУ США имели топливную композицию из металлического, легированного цирконием урана, обогащением 18...20%. Оболочка твэла была выполнена из сплава циркалой-2. Твэлы были выполнены в виде пластин прямоугольного сечения, имеющего максимальное отношение обогреваемого периметра к площади топливного сердечника, что увеличивает поверхность теплосъема на единицу объема топлива. Кроме того, уровень деформации оболочки пластинчатого твэла существенно ниже, чем у стержневых. Толщина твэла составляла 2-2,5 мм. Описанная выше активная зона обеспечила кампанию не более 2500 часов (в пересчете на номинальную мощность), а коэффициент объемного энерговыделения по объему активной зоны достигал 4,5.

После применения более совершенных методов расчета зон и улучшения их теплотехнических и гидравлических характеристик качество активной зоны удалось повысить. От металлического урана, в качестве топливной композиции, отказались и заменили его на топливную композицию, состоящую из оксида урана UO₂ в смеси с двуокисью циркония ZrO₂. Причем, стали применять пористое топливо, что позволило заметно уменьшить распухание сердечника твэла и увеличить расчетное накопление осколков деления в топливной композиции. Применяемый в первых активных зонах в качестве материала оболочки циркалой-2, показавший в процессе эксплуатации недостаточную коррозионную стойкость при высоких температурах, был заменен на циркалой-4. Обогащение топлива по урану-235 достигло 40%. Претерпела изменение и сама форма твэлов. Применение получили элементы в виде винтообразной ленты или узкой

скрученной пластины. Большие размеры кассет привели к значительной неравномерности энерговыделения по объему активной зоны. Для устранения этого недостатка использовались поглощающие материалы в виде присадок до 20% гафния (Gf) или самария к цирконию в топливном сердечнике. Проведенные мероприятия позволили увеличить кампанию ЯЭУ. Для примера можно привести авианосец “Энтерпрайз”, который при первой загрузке активной зоны (первый вариант) прошел примерно 200 000 миль, а при второй загрузке (второй вариант) проплавал в течении 4 лет и прошел около 300 000 миль. На ПЛА “Наутилус” реализация данных мероприятий позволила увеличить кампанию активной зоны с 2500 часов до 6500, т.е. в 2,6 раза.

Дальнейшее совершенствование активных зон транспортных ЯЭУ велось на береговых стендах и стационарных реакторах. Так, в период с 1960 по 1970 годы только Беттиская лаборатория ядерной энергетики в г. Питтсбурге (Пенсильвания, США) разработала более 20 модификаций активных зон для транспортных ЯЭУ различного назначения. Наибольшее количество активных зон было изготовлено для ВМС США для установок S5W и S5W-2. Кампания и срок службы активных зон этих установок возросли примерно в два раза и достигли 7000 ч и 10 лет соответственно.

В конце 70-х разработчики ЯЭУ пришли к выводу о необходимости унификации активных зон ЯЭУ, т.е. возможности их использования как на ПЛА и ПЛАРБ, так и на надводных кораблях. Ярким примером использования ЯЭУ с такой активной зоной может считаться: ПЛАРБ “Огайо” с установкой S8G, и установка D1G для надводного корабля.

Топливная композиция этих активных зон представляла собой прессованные гранулы UO_2 высокого (до 93%) обогащения диаметром (160 ± 3) мкм, покрытые никелем или хромом. Толщина покрытия частиц 7...9 мкм. Эти частицы диспергированы в матрице из циркалоя-2, который, по мнению американских специалистов, затрудняет выход осколков деления в контур и повышает надежность работы твэла. Оболочка твэла выполнена из сплава циркалой-4. В данных активных зонах удалось получить большую глубину выгорания топлива. При этом удалось сохранить энергонапряженность зоны в пределах 63...67 МВт/м³, что, конечно же, увеличивает массу и габариты активной зоны, но увеличивает ее надежность. Кампания такой активной зоны на ПЛАРБ “Огайо” составила 9...10,5 лет.

Постоянное совершенствование конструктивных, нейтронно-физических и теплогидравлических характеристик активных зон транспортных ЯЭУ проводится в условиях незначительных изменений в компоновке активной зоны и реактора.

За время использования ЯЭУ на кораблях и ПЛА кампании и срок службы активных зон возрос примерно в 4 раза и составил 10000...13000 ч и 12...15 лет соответственно, что практически обеспечивает эксплуатацию корабля с ЯЭУ с одной перегрузкой активной зоны.