



ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№ 3

2013

Герметичность топливных элементов легководных реакторов

Высокие экономические показатели работы, ядерная, радиационная и экологическая безопасность атомных электростанций невозможны без эксплуатационной надежности ядерного топлива. Одним из основных показателей эксплуатационной надежности является целостность топлива – непревышение допустимого эксплуатационного предела разгерметизации тепловыделяющих элементов в активных зонах реакторов на протяжении всей топливной кампании во всех предусмотренных проектом режимах.

Оболочка тепловыделяющего элемента вместе с топливной матрицей является начальным барьером, препятствующим выходу в окружающую среду накапливающихся в топливе радиоактивных продуктов деления и элементов топливной композиции. Разгерметизация оболочки в процессе эксплуатации возможна вследствие производственного дефекта при изготовлении, из-за нарушения условий эксплуатации, в результате механического повреждения тепловыделяющей сборки посторонними предметами (дебризами), которые могут присутствовать в контуре теплоносителя, и др.

Общее количество тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов и ТВЭГов) в активных зонах энергетических реакторов велико: например, в реакторах ВВЭР-1000, 1200 их около пятидесяти тысяч – 163 тепловыделяющие сборки по ~ 300 топливных элементов в каждой. При таком количестве даже в условиях нормальной эксплуатации практически неизбежно присутствие в активной зоне тепловыделяющих сборок с негерметичными ТВЭлами (или ТВЭгами).

До недавнего времени считалось приемлемым «дожигание» не достигшей проектного выгорания тепловыделяющей сборки (ТВС), содержащей ТВЭлы с незначительными по размеру сквозными дефектами оболочек. Так, например, во Франции до 2002 года на всех энергоблоках типа PWR реализовывалась масштабная программа по возврату в топливный цикл таких дефектных ТВС.

Однако, несмотря на накопленный большой практический опыт, показывающий, что контролируемая эксплуатация таких ТВС может быть успешной, в настоящее время от подобной практики на большинстве АЭС с легководными реакторами в ведущих ядерных странах отказываются.

Современный этап в ядерной энергетике характеризуется увеличением единичной мощности энергоблоков и продолжительности топливных кампаний, высокими уровнями выгорания топлива и, соответственно, ростом энергонапряженности ТВЭЛов, ужесточением условий их эксплуатации. Это приводит к резкому возрастанию вероятности развития вторичных дефектов в оболочках, а наличие даже одного негерметичного ТВЭла со вторичными дефектами может привести к возрастанию удельной активности радионуклидов в теплоносителе первого контура до значения, близкого к эксплуатационному пределу. Все эти факторы приводят к объективной необходимости ужесточения требований к надежности ядерного топлива.

Концепция «нулевого дефекта твэлов»

В вышедшем в 2002 году стандарте безопасности МАГАТЭ «Управление активной зоной и обращение с топливом на АЭС» дается прямая рекомендация о недопустимости загрузки в активную зону ТВС с механическими повреждениями и/или негерметичными твэлами. В настоящий момент данного подхода придерживаются на многих АЭС, реализуя так называемую концепцию «нулевого дефекта твэлов».

Концепция подразумевает повышение эксплуатационной надежности ядерного топлива в реакторе – сокращение количества разгерметизирующихся твэлов до уровня 10^{-6} – 10^{-5} (т. е. один негерметичный твэл на 10^5 – 10^6 герметичных) и недопущение к дальнейшей эксплуатации ТВС с негерметичными топливными элементами. Во время останова реактора проводится обнаружение и выгрузка таких ТВС вне зависимости от размера дефектов. При этом на некоторых зарубежных АЭС с реакторами PWR из ТВС, отработавших одну или две кампании, проводится удаление негерметичных твэлов с последующим установлением на их место вытеснителей. Данный вид работ осуществляется на специально оборудованных для этой цели станционных стендах инспекции и ремонта. Однако, например, в Японии на АЭС с реакторами PWR от практики ремонта ТВС с негерметичными твэлами отказались. Все дефектные ТВС, обнаруженные уже на стадии предварительного контроля герметичности в перегрузочной машине, выгружаются из реактора и к дальнейшей эксплуатации не допускаются.

Неоднозначно оценивается и экономия затрат при эксплуатации ядерного топлива со значительными дефектами оболочек твэлов. Экономия на первом этапе (приобретение ядерного топлива) многократно перекрывается экономическими потерями в процессе эксплуатации АЭС, в первую очередь из-за уменьшения энерговыработки. К этому приводят внеплановые остановы энергоблока из-за превышения эксплуатационного предела по активности радионуклидов в теплоносителе первого контура, работа реакторной установки на пониженном уровне мощности, ограничения на маневренность энергоблока и др.

Движение к нулевому уровню отказа ядерного топлива реакторов ВВЭР

Принятая в России концепция допускает эксплуатацию ядерного топлива с негерметичными твэлами. На АЭС с реакторами ВВЭР в настоящее время в качестве пределов безопасной эксплуатации при оценке уровня повреждения твэлов приняты следующие значения:

количество твэлов с дефектами оболочек типа газовой неплотности, т. е. проницаемыми для газообразных продуктов деления, но исключающими контакт топлива с теплоносителем, – не более 1%;

количество твэлов с дефектами оболочек, допускающими не только выход из топливного элемента продуктов деления, но и прямой контакт топлива с теплоносителем, – не более 0,1%.

Дефекты оболочек с размерами 10-50 мкм считаются дефектами типа газовой неплотности. В качестве размера повреждения оболочки, позволяющего считать, что имеется прямой контакт топлива с теплоносителем и выход из топлива не только продуктов деления, но и элементов топливной матрицы, принят эквивалентный диаметр отверстия в оболочке больше 50 мкм. Предел нормальной эксплуатации по активности теплоносителя реактора соответствует наличию в активной зоне примерно 10 твэлов с дефектами типа прямой контакт топлива и теплоносителя и 100 газонеплотных твэлов.

Критерии индивидуальной отбраковки ТВС

При эксплуатации АЭС возможны значительные нарушения целостности топливных элементов, которые заметны даже при визуальном осмотре ТВС: поперечный перелом, отсутствие фрагмента или верхней заглушки твэла, трещины различной конфигурации и размера, сквозные отверстия и др. В качестве эталонного разрушения, при котором дальнейшая эксплуатация ТВС является недопустимой, принят поперечный перелом твэла. Особо опасным случаем нарушения оболочки твэла считается перелом оболочки, так как

предполагается, что вибрация концов такого твэла будет интенсифицировать высыпание топлива из твэлов в теплоноситель первого контура.

Количественная оценка допустимой степени разгерметизации твэлов для разных проектов ТВС определена в технических условиях или в договорах на поставку тепловыделяющих сборок. Критерием отказа (индивидуальной отбраковки) ТВС по негерметичности твэлов является превышение удельной активности реперного радионуклида ^{131}I , устанавливаемой по результатам испытаний ТВС на стенде контроля герметичности оболочек твэлов, задаваемого в этих документах значения.

Степень разгерметизации твэлов зависит от конструкции ТВС. На энергоблоках с реакторами ВВЭР-1000 Концерна «Росэнергоатом» разгерметизируется от $2,3 \cdot 10^{-5}$ (ТВС-2, большинство модификаций) до $1,5 \cdot 10^{-4}$ твэлов (ТВСА-АЛЬФА и ТВС предыдущих поколений). В то же время с начала внедрения в 2006 году до настоящего времени отсутствуют негерметичные ТВС-2М.

Для обнаружения и ремонта негерметичных тепловыделяющих сборок реакторов ВВЭР разработаны стенды инспекции и ремонта ТВС. Такой стенд позволяет в условиях бассейна выдержки проводить детальный осмотр и определять геометрические параметры ТВС, осуществлять поиск негерметичных твэлов в негерметичных ТВС, удалять с помощью специальных инструментов негерметичные твэлы из пучка и на их место устанавливать вытеснители.

Международное соглашение о достижении нулевого уровня отказа (НУО) ядерного топлива для АЭС российского дизайна

Технико-экономические показатели работы, заложенные в проекты АЭС с реакторами ВВЭР нового поколения, предполагают повышенную эксплуатационную надежность ядерного топлива.

Так, одним из принципиальных отличий проекта АЭС-2006 от предыдущих проектов АЭС с реакторами ВВЭР в части безопасности является введение критерия, ограничивающего допустимое количество разгерметизирующихся твэлов в проектных авариях типа LOCA (разрыв главного циркуляционного трубопровода, вызывающий резкое охлаждение топливных элементов); увеличенное паросодержание в теплоносителе реакторной установки ВВЭР-1200 требует повышенной устойчивости материала оболочки твэлов к очаговой коррозии и др.

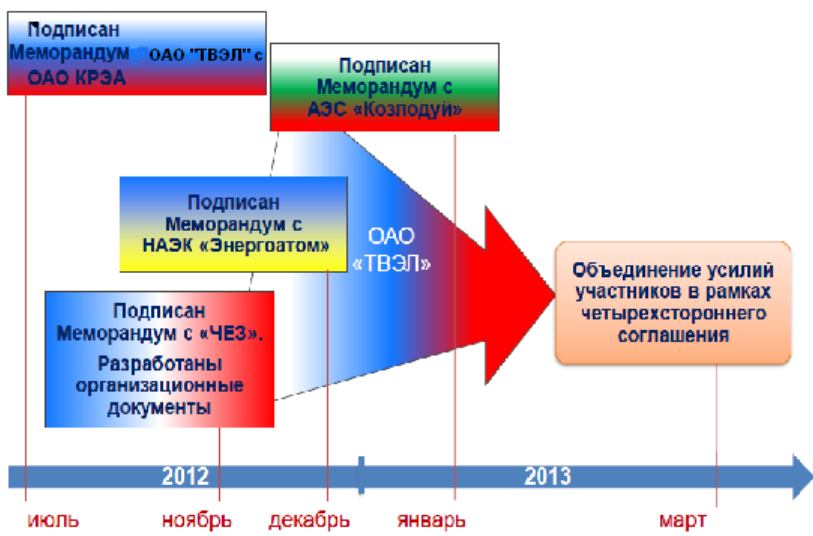
В настоящее время продолжают материалы исследования твэлов с различными оболочечными материалами в максимально жестких условиях по длительности и интенсивности кипения теплоносителя, плотности теплового потока, температуры оболочки, которые могут реализовываться в ВВЭР-1200. Продолжается опытная эксплуатация кассет ТВС-2М с антидебризными фильтрами (для повышения надежности ТВС от дебриз-повреждений) и перемешивающими решетками и др.

Совершенствуется и методика контроля герметичности оболочек твэлов, так как установленная на стенде удельная активность ^{131}I не всегда отражает фактическую степень разгерметизации твэла.

Предполагается, что концепция нулевого уровня отказа ядерного топлива будет заложена в разрабатываемые АЭС с ВВЭР-ТОИ. Эксплуатационная надежность ядерного топлива будет находиться на высоком уровне, достигнутом в странах с развитой атомной энергетикой, – количество разгерметизирующихся в процессе работы АЭС твэлов не превысит значения 10^{-6} - 10^{-5} , ТВС с негерметичными топливными элементами эксплуатироваться не будут.

Для совместных действий по достижению нулевого уровня отказа ядерного топлива для АЭС российского дизайна и перехода к эксплуатации «чистых» активных зон как на планируемых к строительству АЭС, так и на действующих был подписан четырехсторонний Меморандум о достижении нулевого уровня отказа ядерного топлива между компаниями ОАО «ТВЭЛ» и Концерн «Росэнергоатом» (Россия) с НАЭК «Энергоатом» (Украина), АЭС «Козлодуй» (Болгария) и «ЧЕЗ» (Чехия).

Сотрудничество производителей и потребителей по совершенствованию российского ядерного топлива



Качество топлива зависит от качества проектирования, изготовления и эксплуатации.

Надежность топлива на этапе проектирования обеспечивается, в первую очередь, обоснованными техническими решениями, предусматривающими защиту от повреждающих эксплуатационных факторов (дебриз-частицы, вибрация, водно-химический режим и пр.).

На этапе изготовления важны качество комплектующих, культура производства, контроль качества продукции.

Факторами, определяющими надежность ядерного топлива в процессе эксплуатации, являются соблюдение режимов эксплуатации, обеспечение чистоты контура от посторонних предметов и др.

Основные задачи проекта: анализ ситуации и выявление причин отказов ядерного топлива; разработка планов организационно-технических мероприятий по устранению причин отказов ядерного топлива; выполнение и контроль выполнения планов мероприятий на предприятиях участников проекта. В соответствии с этим основные направления работы по достижению нулевого уровня отказа ядерного топлива, согласно Меморандуму, – разработка, внедрение и контроль выполнения в проектно-конструкторских организациях, на заводах изготовителях и на АЭС организационно-технических мероприятий по исключению причин отказа ядерного топлива российского дизайна.

Предполагается, что в рамках этого проекта, рассчитанного на несколько лет, будет достигнут целевой показатель – работа 95-100% энергоблоков ВВЭР без отказов топлива (в настоящее время лишь около 70% блоков ВВЭР-1000 работают на таком уровне). Это обеспечит повышение безопасности АЭС, снижение дозовой нагрузки на персонал, улучшение экологической обстановки, снижение издержек АЭС на приобретение свежего топлива и обращение с отработавшими сборками, повышение конкурентоспособности российского ядерного топлива.

Источники:

1. Материалы научно-технической конференции ОАО «ОКБ Гидропресс» 28-31 мая 2013 г.

2. Материалы МНТК-12 «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики», Москва, 23-25 мая 2012 г.

Материал подготовили: Войтецкая Е.Ф., Комаровская Л.В., Нарейко Л.М.

Адреса для контактов:

ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99

тел.: 299-47-61, 299-45-56, факс: 299-43-55, Web-site: <http://www.sosny.bas-net.by>

E-mail: valentina.bryliova@yandex.by

Для получения данного информационного бюллетеня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

©При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь