

Поиски

Рей Солличин

альтернативных видов топлива

В рамках ИНПРО эксперты рассматривают возможность использования ториевых топливных циклов в помощь обеспечению устойчивого развития ядерной энергетики в XXI веке.

Торий, подобно урану, является воспроизводящим материалом, и его можно использовать для получения делящегося материала, который в свою очередь может служить топливом для ядерного реактора. Использование тория в поддержку будущего крупномасштабного развертывания ядерно-энергетических систем исследуется в ИНПРО в рамках совместного проекта под названием "Дальнейшее исследование ториевых топливных циклов". В осуществлении этого проекта участвуют Европейская комиссия, Индия, Канада, Словакия, Российская Федерация, Китай, Франция и Республика Корея.

Нейтроны, возникающие в реакции деления, инициируемой ураном-235, могут также использоваться для получения нового делящегося материала, плутония-239 и урана-233, в результате их захвата воспроизводящим материалом, таким как, соответственно, уран-238 и торий-232. Это важно для расширения доступности делящегося материала, что делает ядерную энергию устойчивой.

Основная проблема при получении больших количеств плутония-239 связана с распространением материала, так как плутоний-239 может использоваться для производства ядерного оружия. Та же проблема существует в отношении распространения материалов с использованием тория, так как и уран-233 может теоретически использоваться в ядерном оружии. Однако небольшое количество продукта деления урана-232, радиоактивный распад которого сопровождается испусканием мощного, обладающего высокой проникающей способностью гамма-излучения, значительно осложняет задачу сокрытия оружия на основе урана-233 и делает это оружие намного более опасным в обращении. Кроме того, отсутствуют данные о том, что где-либо в мире сегодня разрабатывается оружие на базе урана-233, и, с учетом действующего в настоящее время моратория на испытания, успешную разработку новой оружейной технологии на основе урана-233 было бы сложно продемонстрировать или провести ее испытания.

Устойчивость ториевого топливного цикла с точки зрения нераспространения может также быть улучшена в будущих конструкциях реакторов на тепловых нейтронах посредством "рециклинга" урана-233 в реакторе без удаления его для переработки из обогриванной средствами защиты реакторной установки.

Использование тория привело бы к сокращению производства плутония и трансурановых элементов и помогло бы утилизировать военный плутоний. В некоторых специальных конструкциях реакторов, использующих торий, плутоний может "сжигаться", что является практичным и экономичным методом утилизации ядерного оружейного материала.

Ториевое топливо обладает лучшими тепловыми и физическими свойствами, а также более высокими характеристиками стойкости к облучению, чем урановое топливо. Оно может быть лучшим топливным вариантом для конструкций ядерно-энергетических систем, работающих при более высоких температурах, таких как системы для неэлектроэнергетических применений. Кроме того, точка плавления двуокиси тория приблизительно на 500 градусов Цельсия выше, чем у двуокиси урана. Это различие обеспечивает дополнительный запас безопасности в случае временного скачка мощности или потери теплоносителя в реакторе.

Еще одно возможное преимущество ториевого топливного цикла связано с долгосрочным обращением с отработавшим топливом. По сравнению с ураново-плутониевыми топливными циклами, в ториевых топливных циклах образуется меньшее количество высокоактивного отработавшего топлива с продуктами деления, имеющими более короткие периоды полураспада. Инженерно-технические решения для долгосрочного захоронения отходов при ториевом топливном цикле в отношении как жизненного цикла, так и необходимых площадей хранилища могут быть менее строгими, чем в случае ураново-плутониевого топливного цикла.

Высокая радиоактивность отработавшего ториевого топлива, главным образом ввиду присутствия гамма-излучающего урана-232 и его цепочек распадов, создает для разработчиков и операторов установок по обращению с отработавшим топливом проблемы инженерно-технического, но не фундаментального физического характера. С другой стороны, присутствие мощных гамма-излучателей также открывает возможности для инновационных разработок новых промышленных применений. Например, отработавшее ториевое топливо может быть введено в конструкцию долгоживущего топлива (для реакторов малой и средней мощности без перегрузки топлива на месте) в качестве внутренне присущего средства сдерживания саботажа или хищения во время перевозки в центр по централизованной переработке

Варианты ториевых циклов согласно ИНПРО

Во время консультативного совещания МАГАТЭ/ИНПРО в январе 2009 года были определены для рассмотрения государствами – членами ИНПРО варианты ториевого топливного цикла. На этом совещании были указаны следующие три группы вариантов топливного цикла, подходящих для применений краткосрочного и среднесрочного характера:

- ① однократный ураново/ториевый топливный цикл в HWR, PWR, BWR и HTGR. Он включает традиционное однократное перемещение топлива и рециклирование механически реконфигурированного топлива;
- ② однократный плутониево/ториевый топливный цикл в HWR, PWR, BWR и HTGR. Он аналогичен первому варианту, за исключением того, что для запуска процесса деления до достижения достаточного количества урана-233 в активной зоне реактора используется не уран-235, а имеющийся плутоний-239. Специальным вариантом этого являются конструкции, созданные с целью уменьшения количества плутония как потенциального оружейного материала; и
- ③ синергизм между реакторами на быстрых нейтронах (БР) и реакторами на тепловых нейтронах, благодаря которому ряд БР эксплуатируется в качестве установок для превращения тория-232 в уран-233, используемый как топливо для других реакторов.

Помимо участвующих членов совместного проекта, в данном совещании принимали участие несколько наблюдателей из компаний “Ториум пауэр” (США), “Тор энерджи” (Норвегия) и Института энергетических исследований в Юлихе (Германия).

отработавшего топлива. Другие применения могут быть связаны со стерилизацией медицинского оборудования и использованием при облучении пищевых продуктов, в радиотерапевтическом оборудовании, медицинском диагностическом оборудовании, оборудовании таможенного контроля и т.д.

Экономика ториевого топлива

При осуществлении в крупномасштабных рамках ториевый топливный цикл может потенциально обеспечивать экономическое преимущество перед нынешним открытым топливным циклом на основе урана, несмотря на то, что ожидаемая стоимость изготовления ториевого топлива может быть выше, чем в случае уранового топлива.

Ожидаемая возможно более высокая стоимость является следствием более сложного обращения с ураном-233 и связанным с ним высокорadioактивным ураном-232. Однако другие факторы могут смягчать влияние более высокой стоимости изготовления; например, в ториевом топливном цикле не требуется никакого обогащения, а для превращения оксида природного тория в топливные формы, готовые к первому облучению, требуется меньше технологических этапов конверсии, чем в случае урана.

Кроме того, определенным дополнительным экономическим преимуществом, вероятно, станет возможность “рециклирования” ториевого топлива и его эксплуатации при более высокой температуре. Конверсия воспроизводящего тория-232 в уран-U233 происходит во время ядерного деления, т.е., в процессе производства энергии, и образующийся в результате этого делящийся уран-233 может и далее подвергаться ядерному

делению и производить энергию в течение длительного времени (более глубокое выгорание), вплоть до предела, задаваемого поведением материала оболочки твэлов и поддерживающих конструкций. Эксплуатация при более высоких температурах будущих конструкций реакторов на основе использования тория должна повысить тепловой КПД ядерно-энергетических систем с нынешнего наилучшего уровня 34% до 50% или еще более высоких уровней, что будет непосредственно способствовать снижению стоимости топлива на единицу производства энергии.

Почему мы не можем начать использовать торий?

Использование тория может быть начато сегодня, в нынешнем поколении ядерно-энергетических систем, при условии некоторого изменения конструкции и повторного лицензирования. Однако при незамкнутом ядерном топливном цикле (т.е., без использования рецикла для извлечения оставшегося урана-233 после выгрузки) использование ториевого топлива не очень экономично.

Разрабатывается несколько усовершенствованных конструкций с целью оптимального использования тория, обладающих повышенной эффективностью использования или со специфическими целями (например, для утилизации плутония). К ним относятся модифицированные конструкции или эволюционные конструкции на основе современных типов реакторов, такие как усовершенствованный тяжеловодный реактор Индии и BBR-100 на основе тория, совместно разработанный США и Россией; реактор с засыпкой из микротвэлов на основе тория, реакторы на быстрых нейтронах (с жидкометаллическим теплоносителем и газоохлаждаемые); и новые разработки, такие как реактор на солевых расплавах и система с использованием ускорителя.

Кроме того, были предложены и в настоящее время разрабатываются несколько концепций реакторов с целью удовлетворения потребностей небольших потребителей энергии. Некоторые из этих проектных концепций могут быть оптимизированы для использования ториевого топлива.

Наибольшей проблемой для внедрения ториевого топливного цикла с целью коммерческого производства электроэнергии является отсутствие инфраструктуры, связанной с изготовлением топлива.

Атомная отрасль воспользовалась наличием такой инфраструктуры для производства уранового топлива, которая стала возможной благодаря инвестициям в прошлом для целей негражданских применений. Однако инфраструктуру по изготовлению топлива для ториевого топливного цикла необходимо будет развивать, исходя из коммерческих соображений. ✂

Рей Солличин – исполнительный директор института “Неопанора – сеть технологий в сфере энергетики”; с 2006 по 2009 год он являлся членом группы ИНПРО в качестве бесплатного эксперта, предоставленного правительством Канады. Эл. почта: ray.sollychin@neopanora.com