

## 4. УРАН-ТОРИЕВЫЙ ЯТЦ

Интерес к торию, как топливу для ядерных реакторов объясняется возможностью образования делящегося изотопа  $^{233}\text{U}$  в результате захвата теплового нейтрона природным  $^{232}\text{Th}$ . Как правило, в топливных системах отработавшее топливо перерабатывается с целью извлечения делящегося  $^{233}\text{U}$ . Однако в некоторых случаях  $^{233}\text{U}$  сжигается на месте без переработки и производства нового топлива. Так как  $^{233}\text{U}$  не существует в природе, топливный цикл может начаться лишь на существующем в природе делящемся изотопе, а именно на  $^{235}\text{U}$ . Если в топливе накоплено достаточное количество  $^{233}\text{U}$ , то реактор может работать длительное время лишь на тории и воспроизводимом  $^{233}\text{U}$ .

Реакторы на ториевом топливном цикле подобны реакторам на быстрых нейтронах. В реакторах этого типа естественный  $^{232}\text{Th}$  при поглощении нейтронов превращается в делящийся изотоп урана ( $^{233}\text{U}$ ). Этот изотоп, участвуя в цепной реакции деления, выделяет теплоту и избыточные нейтроны, которые преобразовывают еще большее количество тория в  $^{233}\text{U}$ . Такая технология привлекательна тем, что, во-первых, позволяет избежать производства плутония, во-вторых, в качестве топлива используется довольно распространенный торий, а, в-третьих, эффективность использования топлива может быть близка к эффективности реакторов на быстрых нейтронах. Однако, количество расщепляющегося  $^{233}\text{U}$ , производимого в такой установке, не достаточно, чтобы поддерживать цепную реакцию деления. Поэтому, хотя интерес к таким проектам не затухает вот уже на протяжении последних 30 лет, тем не менее до их промышленного применения пока еще далеко.

Отметим, что реакторы на тепловых нейтронах лучше работают на топливе  $^{232}\text{Th}$ - $^{233}\text{U}$ , тогда как реакторы на быстрых нейтронах более эффективны для уран-плутониевого цикла.

Внедрение ториевого топлива в атомную энергетику диктуется несколькими причинами: Запасы тория на планете превосходят запасы урана в 4 - 5 раз. Ториевые месторождения более доступны, чем урановые. Особенно это важно для России: российских разведанных запасов урана хватит только на 20 лет, а запасов тория в месторождениях в районе Новокузнецка и Томска (туганское месторождение тория, титана, циркония) достаточно много.

С точки зрения наработки делящихся нуклидов, преимущество тория перед ураном состоит в его тугоплавкости: лишь при 1400-1500°C кристаллическая решетка тория начинает претерпевать фазовые превращения. Это позволяет реактору на ториевом горючем работать при более высоких температурах.

Ториевая энергетика, в отличие от урановой, не нарабатывает плутоний и трансурановые элементы. Это важно как с экологической точки зрения, так и с точки зрения нераспространения ядерного оружия (Выделение из уранового топлива оружейных актиноидов позволяет создать государствам-«изгоям» и террористам собственное ядерное оружие).

Поскольку ториевая энергетика принципиально неосуществима без использования в ней оружейного урана, реакторы на ториевом горючем естественным образом позволяют использовать непосредственно оружейный уран (не разбавляя его ураном-238, как приходится делать в урановом топливном цикле).

Ядерные реакторы на ториевом топливе более безопасны, чем на урановом, поскольку ториевые реакторы не обладают запасом реактивности. Поэтому никакие разрушения аппаратуры реактора не способны вызвать неконтролируемую цепную реакцию.

Как уже упоминалось, при всех различиях современных быстрых и тепловых реакторов есть одна черта, их объединяющая. И тот и другой работают по схеме выжигания активной компоненты топлива (уран-235, плутоний-239) в активной зоне: в них первоначально закладывается активного материала больше, чем это требуется для непосредственного поддержания критического уровня. Стационарное положение балансируется стержнями - поглотителями нейтронов. Поэтому ни один из ныне существующих реакторов, работающих по принципу выгорания, нельзя отнести к безусловно безопасным, ибо, если по какой-то причине регулирующие стержни покинут активную зону, то возникнет значительная надкритичность. Цепная реакция в таких условиях будет развиваться настолько быстро, что никакая аварийная защита не поможет.

Урановый реактор слабо защищен от террористического акта. Ни одна атомная электростанция не выдержит удара крупного самолета. Если произойдет разрушение узла привода поглотительных стержней, систем управления защиты, ядерный реактор взорвется, как атомная бомба. В этой связи решающим преимуществом модернизации действующих атомных станций с переводом их на торий является то, что ториевый реактор по своей внутренней физической сути не способен привести к ядерному взрыву. Реактор можно разрушить до основания, конечно, дорогую цену заплатить за загрязнение зала, самой территории станции, но он никогда не взорвется подобно Чернобылю. Так что единственная возможность предельно обезопасить ныне действующие атомные станции - это перевести их через модернизацию на использование тория. Ториевый реактор способен обеспечить полную ядерную безопасность.

В ходе модернизации действующих атомных электростанций в плане перевода их на торий, в тех же габаритах, в корпусе ядерного реактора можно разместить ториевые тепловыделяющие элементы, которые с этого же объема активной зоны снимут в 2-3 раза больше энергии. В ходе реконструкции не строится новая

атомная станция, а простой сменой топлива удваивается мощность старой, путем добавления паровых турбин, теплообменников и электрических машин. Важно так же, что ториевая энергетика позволяет обеспечить непрерывную работу реактора на 30-50 лет. (Сегодня атомная станция раз в год или в полтора года останавливается для перезагрузки). За это время никаких перезагрузок топлива, никаких ядерных отходов, никаких проблем переработки.

Использование тория на модернизированных реакторах действующих АЭС позволяет решить следующие проблемы:

В отличие от существующих реакторов, которые работают на смеси изотопов урана-235 (делящийся) и урана-238 (изотоп для производства плутония), предлагается использовать комбинированное топливо: уран-235 (изотоп для возбуждения реакции деления) и торий-232 (изотоп для получения основного делящегося изотопа урана-233). В ториевом реакторе нарабатывается не плутоний-239, а изотоп урана-233, что обеспечивает высокое выгорание ядерного топлива. Отсутствие в цикле плутония важно с точки зрения нераспространения ядерных материалов.

Ториевый цикл обладает следующими преимуществами:

- отработавшие твэлы не нуждаются в радиохимической переработке, что значительно снижает риск загрязнения среды;
- снимается проблема накопления плутония, а, следовательно, и его распространения (в виде оружия);
- не требуется создавать новых реакторов, а достаточно модернизировать существующие под загрузку твэлы с новым топливом;
- ториевые реакторы обладают повышенной внутренней ядерной безопасностью.

Сплавы тория с небольшими добавками оружейного урана и плутония в ядерном отношении безопасны и не требуют специальных мер при хранении. Они опасны только в радиационном отношении, однако это их свойство может служить дополнительной гарантией от хищения.

Возможно, в будущем торий займет место урана и станет важнейшим стратегическим материалом - энергоносителем.

Недостатки ториевого цикла то же хорошо известны:

- Ториевый цикл, в целом, дороже уранового.
- Исходные ториевые твэлы обладают высокой гамма-радиоактивностью, что затрудняет обращение с ними.

Топливо из тория и образующегося урана-233 характеризуется жестким  $\gamma$ -излучением энергии 2.6 Мэв, источником которого является  $^{208}\text{Tl}$ , образующийся при радиоактивном распаде  $^{232}\text{U}$ , образовавшегося из  $^{233}\text{U}$  в результате (n, 2n) реакции. Жесткое  $\gamma$ -излучение обуславливает необходимость дистанционного управления всеми операциями топливного цикла из операторского помещения, обеспеченного защитным экраном, что увеличивает затраты ториевого цикла по сравнению с урановым топливным циклом.

Поэтому ториевое топливо пойдет в энергетические реакторы только после существенной модернизации уран-ториевого цикла, т.е. после создания новой технологии производства тепловыделяющих элементов.