

17. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Современная ядерная индустрия и в оружейном и энергетическом направлениях базируется на уран-плутониевом цикле, в котором уран играет доминирующую роль. Такое положение сложилось по объективным причинам – преимущество урана неоспоримо, но и недостатки уранового цикла тоже очевидны:

- Большое количество отработанного топлива и радиоактивных отходов топливного цикла;
- Большие и дорогостоящие работы по обогащению урана и разделению урана и плутония;
- Весьма мала доля топливоиспользования (порядка 0,8%);
- Технологическая, экономическая и организационно-хозяйственная разомкнутость звеньев топливного цикла;
- Трудности в обеспечении сохранности критических ядерных материалов.

К настоящему времени выявились три проблемы урановой промышленности: проблема отработанного топлива и радиоактивных отходов, требующая перехода от тепловых к быстрым реакторам; проблема накопления обеднённого урана, причём не в виде металла, а в виде химически активного и токсичного гексафторида урана; проблема перехода энергетических реакторов на смешанное уран-плутониевое (МОКС) топливо. Именно с решением этих проблем и связаны перспективы урановой промышленности.

Недостатки текущего состояния уран-плутониевой атомной энергетики с реакторами на тепловых нейтронах связаны с этическими, техническими и экономическими проблемами обращения с РАО и ОЯТ как на АЭС, так и на предприятиях топливного цикла. Это - ограниченность разведанных природных ресурсов урана в России или растущая дороговизна их добычи, зависимость от наличия месторождений и их качества, а также рост цен на природный уран в мире. В настоящее время (2008) в России степень заполнения хранилищ твердыми радиоактивными отходами – 73%, жидкими – 67%, причём поступление РАО всё время увеличивается, так что расходы на хранение существенно возрастают.

Для понимания возникающих трудностей рассмотрим движение материалов в замкнутом топливном цикле с тепловым ВВЭР мощностью 1 гигаватт. Для того чтобы цикл работал, в течение года нужно добыть 160 тонн природного урана и произвести его обогащение таким образом, чтобы в отвалах оказалось не более 0,1% ^{235}U . При этом нужно 139 тонн отправить на склад отвального урана, 21 тонну топлива изготовить и 20 тонн разместить в хранилище.

Преодолеть недостатки существующей атомной энергетики можно при использовании реакторов на быстрых нейтронах.

В замкнутом топливном цикле с реактором на быстрых нейтронах мощностью 1 гигаватт, все процессы замкнуты в цикл: изготовление топлива, обогащение, проход через реактор на быстрых нейтронах (АЯТ), сразу регенерация и затем изготовление топлива. Подпитка осуществляется со склада отвального урана. Со склада отработанного ядерного топлива после его регенерации и подмешивания можно добавить оружейный плутоний. Важно, что и подпитка весьма мала и РАО после этого совершенно несоизмеримо малы по сравнению с тепловым реактором. Объемы радиоактивных отходов, связанные с сопутствующими процессами, еще уменьшаются ещё существенней. Особенно перспективным такой цикл становится, если его замыкание происходит прямо на площадке, где находится этот энергоблок.



Рис. 275. Топливообеспечение атомной энергетики с реакторами на тепловых нейтронах.

Составляющие проектируемой технологической платформы:

- энергоблок с реактором на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем;
- производство по переработке уран-плутониевого топлива РБМ;
- производство уран-плутониевого топлива из регенератора РБМ и подпиточных материалов;
- производство по кондиционированию и хранению РАО;
- развитие транспортных технологий.

В России быстрый энергетический реактор БН-800 (с созданием производства МОКС-топлива) находится в стадии строительства - пуск в 2012, разработан проект такого реактора на 1800 мегаватт.

Экономический эффект от исключения потребности в природном уране путем замещения тепловой энергетики быструю показывает, что при строительстве в России 15,6 гигаватт мощностей на быстрых реакторах, отпадёт необходимость добычи природного урана в объеме 14700 тонн. Причём с самым совершенным обогащением. При этом объём отработанного топлива уменьшится на 2 тыс. тонн. Экологический эффект от внедрения инновационных технологий: исключение необходимости расширения горнорудных разработок, исключение необходимости хранения отработанного топлива в виду его отсутствия, многократное снижение объемов радиоактивных отходов с одновременным уменьшением их потенциальной опасности. Не менее важно и стратегическое значение замкнутого топливного цикла с

реакторами на быстрых нейтронах для энергобезопасности России: практически неисчерпаемые запасы уже добытого топливного сырья ^{238}U с исключительно высокой потенциальной энергоемкостью; независимость от колебаний мировых цен на природный уран и органическое топливо; замещение цен органического сырья



природного газа 2 миллиарда кубов на один гигаватт установленной мощности АЭС; исключительно мобильный резерв энергоснабжения страны, независимый от внешних факторов; большая глубина экономического планирования.

К сожалению, в мире не существует дешёвых и надёжных быстрых энергетических реакторов. Не решена даже проблема теплоносителя: натрий (БН-600), свинец (БРЕСТ) или что иное. В России начать массовый ввод в энергетику быстрых реакторов планируется после 2030 года. *Ясно, что этим планам не суждено сбыться – если в 2050 у нас будет работать 3-4 быстрых реактора, то и то хорошо.*

Рис. 276. Замкнутый топливный цикл на быстрых нейтронах.

Перейдём теперь к проблеме обеднённого урана, хранящегося в форме гексафторида урана (ОГФУ).

В процессе изотопного обогащения урана наряду с обогащенным гексафторидом урана образуется большое количество обедненного гексафторида урана (ОГФУ) с процентным содержанием ^{235}U 0,35% и ниже. К примеру, из 8 кг природного урана 7 кг (87%) попадает в «хвосты» в виде обедненного гексафторида урана. На практике возможно до-обогащение этих хвостов, в случае если себестоимость ЕРР низкая, а отвалы как сырьё обходятся по низкой или нулевой стоимости. При производстве урана с природным содержанием ^{235}U из отвального урана, из 6,4 кг изначального сырья (в рассматриваемом случае - из отвального урана) 5,4 кг (или 84%) попадает во вторичные отвалы в виде гексафторида урана с еще большим обеднением. Часть оставшихся отвалов проходят еще одно до-обогащение. Выделяемый обогащенный уран используется для внутренних нужд, а объем отвалов уже с обогащением 0,1% сокращается.

К 2008 в мире были накоплены большие объёмы отвального гексафторида урана (800000 т России). Из них 125000 т прибыло Западной Европы. Ежегодно только за счет природного урана, добываемого в России, запасы ОГФУ увеличиваются на 4000 т/г. Оценочно к 2030 запасы ОГФУ в России превысят 1 млн. тонн в случае, если будет выбрана стратегия долговременного хранения ОГФУ. Запасы отвального гексафторида урана постоянно растут.

В США ОГФУ рассматривается как радиоактивные отходы, во Франции и России как ценное энергетическое сырьё для реакторов на быстрых нейтронах. Утилизация российских запасов ОГФУ в реакторах на быстрых нейтронах выглядит маловероятной в виду неразработанности технологий быстрых реакторов, их высокой стоимости и высокого риска распространения ядерных материалов. Конечно, большое количество обедненного урана может быть использовано в бланкетах в зоне воспроизводства - порядка 100 тонн металлического эквивалента обедненного урана в год, но для того, чтобы использовать 680 тыс. тонн обедненного урана потребуется 6800 реакторо-лет. Это означает ввод в эксплуатацию 220 реакторов со сроком службы 30 лет, при условии отсутствия рециклинга облученного топлива. При рециклинге облученного ядерного топлива и бланкетов быстрых реакторов количество реакторо-лет, необходимых для использования наработанного ОГФУ увеличится в соответствии с числом циклов повторного использования облученного урана. Очевидно, что ввод в эксплуатацию такого количества быстрых реакторов нереален.

ОГФУ - опасное вещество, хранить его трудно. При разгерметизации стальных контейнеров, в которых содержится ОГФУ, возможно поражение с летальным исходом в радиусе 500-1000 м, а радиус поражения с ущербом для здоровья ещё выше. Поэтому для гарантии безопасного хранения ОГФУ необходимо обесфторивать, т.е. переводить в более стабильную форму (оксид или тетрафторид урана) для безопасного хранения. Существуют различные технологии обесфторивания, хранения и захоронения обедненного урана. Наиболее используемая - перевод ОГФУ в форму U_3O_8 . Выделенный оксид урана хранится в специальных контейнерах. В процессе обесфторивания в качестве побочного продукта выделяется плавиковая кислота (при конверсии 1 тонны ОГФУ получается 450 кг 70% плавиковой кислоты и обесфторенный уран в форме закиси-оксида), которую можно реализовать на рынке, что снизит себестоимость обесфторивания и утилизации ОГФУ. Обесфторенный обедненный уран планируется использовать в ядерной энергетике на быстрых нейтронах.

В российско-казахском Центре по обогащению урана предполагается обогащение 6000 тонн природного урана при использовании 5 млн. ЕРР. Если принять, что на выходе будет 700 тонн урана обогащением 4,5% и урановые отвалы обогащением 0,2%, то в результате обогащения 6000 тонн природного урана будет производиться 7800 тонн ОГФУ в год. В перспективе международный центр по обогащению урана (МЦОУ) на базе Ангарского ЭХК рассматривается как пункт приёма и утилизации отработавшего ядерного топлива.

Таким образом, утилизация отходов обедненного гексафторида урана является второй из нерешенных проблем ядерной энергетики. Третьей нерешённой проблемой – широким использованием МОКС-топлива в энергетических реакторах мы займёмся в учебном пособии ПЛУТОНИЙ.