

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

МАТЕРИАЛЫ РЕАКТОРОВ НА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНАХ

УДК 669.296:621

ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ УКРАИНЫ

В.С. Красноруцкий

Научно-технический комплекс «Ядерный топливный цикл» Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина

Описаны состояние ядерного топливного цикла в Украине на сегодня и варианты ЯТЦ, которые могут быть перспективны в будущем, а также основные стадии ядерного топливного цикла нашего государства – изготовление материалов и топлива; работа топлива в реакторе; завершающая стадия. Приведены усредненные показатели ядерного топливного цикла Украины с реакторами типа ВВЭР и структура затрат на производство урана 4% обогащения. Показано, что на этапе обращения с ОЯТ наша страна вначале должна реализовать экономически наиболее выгодные варианты хранения ОЯТ и далее подготовить обоснованное решение о вариантах ЯТЦ, реализуемых в Украине в будущем. В обобщенном виде представлен перечень задач, которые необходимо решать государству на различных стадиях ЯТЦ.

ВВЕДЕНИЕ

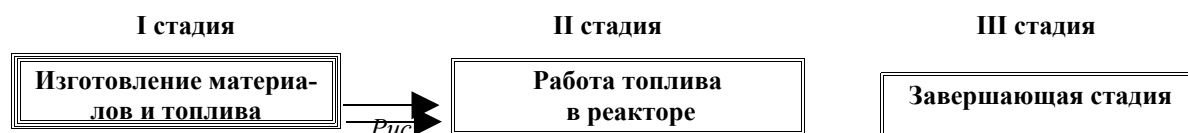
После распада СССР в Украине сложилась нестандартная ситуация – наличие мощной базы по производству электроэнергии на АЭС, практически отсутствие инфраструктуры по сопровождению эксплуатации АЭС, развитию атомной энергетики в целом и как составной ее части – ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Поэтому в первые годы существования государства все обеспечение по эксплуатации АЭС в основном осуществлялось фирмами Российской Федерации на основе контрактов. Кроме того, введение моратория на атомную энергетику (АЭ) в Украине, катастрофически затормозило проведение организационных мер по становлению предприятий

и организаций, существующих в Украине и способных обеспечивать функционирование атомной энергетики. Главное – в этот период во многом были потеряны кадры и коллективы, которые непосредственно занимались этой деятельностью.

Отмена моратория позволила начать работы по организации инфраструктуры обеспечивающей АЭ, и разрабатывать планы и программы по отдельным видам деятельности, в том числе по организации полного ядерного топливного цикла в Украине.

Были приняты соответствующие решения на государственном уровне.

Известно, что ЯТЦ состоит из следующих основных стадий и этапов (рис. 1).



1. Стадии ядерного топливного цикла

На сегодня Украина реализует открытый ядерный топливный цикл с отложенным решением (хранение отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) в период 30...40 лет), т.е. в этом вопросе Украина ориентируется на мировой опыт и в большей мере на достижения и предложения фирм Российской Федерации. Первостепенное значение в выработке решений по этой проблеме имеют экономические и экологические аспекты. Известно, что в атомной энергетике практическое решение проблемных задач требует достаточно длительного периода времени и к этому необходимо заблаговременно готовиться.

С учетом этих аспектов рассмотрим состояние ЯТЦ Украины на сегодня и задачи, которые должны быть решены, чтобы создать основы для будущего.

Ядерный топливный цикл Украины с реакторами типа ВВЭР после пуска 2^{го} блока Хмельницкой АЭС и 4^{го} блока Ровенской АЭС будет характеризоваться следующими усредненными показателями:

- потребление природного урана ~ 2900 т/год;
- потребление количества единиц разделительных работ по обогащению урана (взято среднее обогащение 4%, в хвосте 0,3%U²³⁵) ~1,7млн/год;
- комплектующие из конструкционных материалов ~ 170т/год;
- количество ОЯТ выгружаемых из реакторов ~ 350 т/год.

Эти усредненные показатели могут существенно изменяться в зависимости от того, какой – трехлетний или четырехлетний – цикл работы топлива реализуется на АЭС.

НАЧАЛЬНАЯ СТАДИЯ ЯТЦ

В Украине на сегодня принято, что АЭ является базовой, и ее доля в производстве электроэнергии в среднесрочной перспективе будет составлять ~ 50%. Кроме того, известно, что конкурентоспособность

ядерной энергетики в первую очередь определяется ядерным топливным циклом и главным образом стоимостью свежего ядерного топлива.

Учитывая этот аспект и обеспечение максимальной независимости от внешних поставщиков, государства, развивающие атомную энергетику, стремятся в максимальной мере использовать собственные ресурсы в организации производства топлива для АЭС.

Какова ситуация в Украине по этой проблеме? На сегодня топливо для АЭС поступает из РФ по контрактам. В 2001 г. созданное ЗАО СП УКРТВС, включающее в себя предприятия РФ, Казахстана и Украины, должно было организовать производство ядерного топлива для АЭС Украины с максималь-

ным использованием сырьевых ресурсов и возможностей нашей страны. В первую очередь планировалось организовать производство в Украине комплектующих из конструкционных материалов для твэлов и ТВС и развернуть добычу урана до объемов, обеспечивающих потребности государства. Важность самообеспечения ураном определяется в первую очередь экономическими показателями.

Простейшие расчеты показывают, что, варьируя количеством природного урана, при производстве обогащенного урана можно получать различную стоимость конечного продукта. В таблице, как пример, показана структура затрат производства урана 4% обогащения в зависимости от содержания U^{235} в отвалах.

Структура затрат на производство урана 4% обогащения

Наименование продукта, операция	Стоимость	Затраты на 1 кг т.м., дол.	
		Содержание U^{235} в хвосте	
		0,2%	0,36%
Уран U_3O_8	18 дол/кг	158	220
Конверсия	6 дол/кг	52	73
Обогащение	75 дол/1ЕРР	492	356
Конечный продукт U 4% об.		702	649

Из таблицы видно, что при указанных стоимостных показателях разница в стоимости обогащенного урана составляет до 59 долл. на 1 кг топлива. Если рассматривать весь объем потребляемого АЭС Украины обогащенного топлива, то эта разница при рассматриваемых показателях, может достигать 18 млн. дол. в год, т.е. в данном случае при низкой цене природного урана, выгодно затрачивать на производство обогащенного урана больше природного урана и меньше единиц разделительных работ. Такое положение сохраняется примерно до цены 33 дол/кг U_3O_8 , при стоимости обогащения 75 дол/1ЕРР. При данных условиях при возрастании цены на U_3O_8 , уже выгоднее затрачивать меньше природного урана и больше единиц разделительных работ. Все это означает: чтобы иметь возможность получать экономическую выгоду при заказах обогащенного урана, необходимо быть хозяином природного урана, т.е. добывать уран в Украине и усовершенствовать процесс переработки урановых руд.

В программе создания ЯТЦ в Украине предусмотрено расширение добычи урана, но практически «Программа» не выполнялась. В настоящее время руководством Минтопэнерго принимаются меры по выполнению «Программы» как в части увеличения добычи урана, так и в части создания в Украине производства сплавов циркония и комплектующих ядерного топлива. Доля стоимости комплектующих в цене ядерного топлива может достигать 20%. Поэтому в программе создания ЯТЦ предусматривается не только поставка циркониевого сырья в РФ, но и создание производства сплавов циркония и элементов из него для ядерного топлива, изготавливаемого СП для АЭС Украины.

В Программе ЯТЦ нет работ по созданию производства обогащенного урана и собственной промышленной базы изготовления твэлов и ТВС. Это положение обусловлено в первую очередь наличием в мире (и в РФ) избыточных мощностей, как по обогащению урана, так и по сборке твэлов и ТВС. Но, несмотря на это обстоятельство, страны, развивающие атомную энергетику, стремятся в первую очередь иметь собственную промышленную базу изготовления твэлов и ТВС, так как наличие такой базы позволяет очень гибко решать все вопросы внедрения усовершенствованных вариантов топлива и различных топливных циклов.

С точки зрения полного ЯТЦ и экономики производства свежего топлива всегда целесообразно иметь собственную промышленную базу по обогащению урана. Если учитывать политические аспекты и большие экономические затраты по созданию такой базы в Украине на основе существующих методов разделения изотопов урана, то создание производства обогащения урана в настоящее время нецелесообразно и нереально. Однако следует учитывать, что методы изотопного разделения элементов необходимы и для других направлений деятельности, в частности, медицины, сельского хозяйства, промышленности и др. В Украине осуществляются исследования по разработке новых, экономически выгодных методов разделения изотопов. Поэтому, учитывая мировые достижения, научный потенциал Украины и необходимость обеспечения максимальной независимости атомной энергетики от зарубежных поставщиков услуг в области ЯТЦ, целесообразно в государстве организовать работы по исслед-

дованию и разработке экономически эффективных методов обогащения урана.

ТОПЛИВО В РЕАКТОРЕ

Именно работа топлива в реакторе обеспечивает выработку электроэнергии на АЭС и через тариф на отпускаемую электроэнергию определяет экономичность атомной электроэнергетики.

В Украине начаты работы по переходу реакторов ВВЭР на четырехлетний цикл работы ядерного топлива. Работа 2^{го} блока Хмельницкой АЭС и 4^{го} блока Ровенской АЭС запланированы на 4^х летний цикл. На других АЭС трехлетний цикл практически будет существовать еще достаточно длительный период времени.

Стадия работы ядерного топлива в реакторах на сегодня характеризуется главным образом выполнением регламентных требований поставщика топлива и научного руководителя реакторов ВВЭР.

На сегодня основная проблема – организация полнокровного научного обеспечения эксплуатации ядерного топлива.

Задачи, которые необходимо выполнить, известны, основные из них:

- отслеживание работы топлива в реакторе, создание базы данных;
- повышение эффективности топливоиспользования;
- проведение подготовительных мероприятий к режимам работы слежения за нагрузкой;
- работы в обоснование возможности перехода на 18 месячный цикл работы;
- обоснование работы активных зон реакторов со смешанными загрузками ядерного топлива различных поставщиков.

ОБРАЩЕНИЕ С ОЯТ

По оценкам, затраты на завершающей стадии могут составлять до 30% затрат по всему ЯТЦ в зависимости от варианта обращения с отработавшим топливом. Поэтому принятое в Украине «отложенное решение» по обращению с ОЯТ не означает, что можно не спешить с решением задач по этой проблеме. Крайне необходимо в ближайшее время принять конкретные решения по этапам заключительной стадии ЯТЦ и подготовить технические базы по дальнейшему обращению с ОЯТ. На сегодня практика складывается таким образом, что открытый ядерный топливный цикл, по оценкам, экономичнее, чем закрытый. Однако в данном случае существует неопределенность в оценке затрат на кондиционирование и окончательное удаление ОЯТ в открытом цикле, что не позволяет делать категорических утверждений о сопоставимости открытого и закрытого ЯТЦ. Кроме того, прогнозные оценки показывают, что стоимость природного урана будет постепенно расти, и в недалеком будущем экономически более выгодно будет реализовывать закрытый топливный цикл.

Практически это означает, что на первом этапе Украина должна реализовать экономически наиболее

выгодные варианты хранения ОЯТ и подготовить обоснованное решение о вариантах ЯТЦ, реализуемых в Украине во времени.

Затраты на хранение ОЯТ, выгружаемых в год из реакторов Украины, за время до 40 лет, по оценкам, могут достигать до 100 млн.дол. в зависимости от реализуемых вариантов. Поэтому в Украине принято решение постепенно сокращать вывоз ОЯТ на хранение в РФ и создавать собственные сухие хранилища ОЯТ, как наиболее экономичные. Практически эта задача реализуется. Создано СХОЯТ на Запорожской АЭС, идет подготовка по созданию подобных хранилищ на других атомных станциях. На этом этапе специалисты Украины должны принять участие в работах по обоснованию безопасности конструкций СХОЯТ и условий хранения отработавшего топлива. Во многом работы по обоснованию выбора параметров хранения твэлов осуществляются совместно со специалистами РФ, в частности с НИИАР.

Подготовка решения о временных рамках внедрения закрытого топливного цикла в атомную энергетику Украины требует тщательного обоснованного анализа всех экономических показателей ЯТЦ Украины как на основе собственных данных, так и мировых прогнозных оценок. С точки зрения среднесрочной перспективы, в первую очередь необходимо оценить, будет ли экономическая выгода от использования вторичных продуктов деления, извлекаемых из ОЯТ при переработке, в реакторах ВВЭР в виде МОХ топлива и в каких вариантах во времени.

С точки зрения долгосрочной перспективы кажется неизбежным освоение крупномасштабного закрытого ядерного топливного цикла.

Если основываться на сегодняшних тенденциях развития атомной энергетики, предполагаемого истощения природных ресурсов урана и требований экологии среды, то наиболее приемлемым и экономически выгодным для Украины представляется реализация в будущем предложений специалистов России о сочетании работы реакторов на тепловых и быстрых нейтронах, размещаемых на одной площадке, с производственными мощностями по переработке ОЯТ и изготовлению нового смешанного уран-плутониевого топлива для перегрузок.

В этом случае ядерный топливный цикл обеспечивает радиационную эквивалентность по количеству радиоактивных продуктов деления на этапах добычи топливного сырья и удаления РАО как завершающего этапа цикла. Такое положение обеспечивается возвратом в топливо нарабатываемых в реакторе радионуклидов и сжиганием их в быстром реакторе.

В совокупности все говорит о том, что для обеспечения атомной энергетики в будущем необходимо иметь в государстве производство ядерного топлива и переработку ОЯТ. Практически эту ситуацию не меняет и рассмотрение возможности введения ядерного топливного цикла с использованием тория. Этот вариант при широкомасштабном применении в любом случае требует наличия переработки ОЯТ.

Учитывая вышесказанное, необходимо в Украине вести предварительные работы и подготовку специалистов по следующим направлениям:

- проектирование активных зон реакторов со смешанными загрузками МОХ топлива, уран-плутониевонитридного топлива и др., обеспечивающих не только экономичность ЯТЦ, но и повышение безопасности работы реакторов;
- исследования в обоснование создания технологий изготовления топлива и применению твэлов с МОХ топливом, UN + PuN, уран-ториевое, уран-плутоний-ториевое;
- исследования по поиску и освоению операций и технологий переработки ОЯТ;
- создание коллективов и исследовательских участков по разработке эффективных технологий изготовления ядерного топлива и переработки ОЯТ.

Если рассматривать сегодняшнее состояние ядерного топливного цикла как устойчивое планомерное развитие атомной энергетики в Украине с позиций выполнения работ по завершающему этапу ЯТЦ – удаление (захоронение) радиоактивных продуктов, то становится очевидным – необходимо сосредоточить внимание на решении следующих задач.

- Разработка технологий кондиционирования ОЯТ для последующего окончательного удаления. Такая постановка диктуется тем, что топливо РБМК практически не имеет смысла перерабатывать, и в любом случае необходимо его захоронение или удаление на долговременное контролируемое хранение, в зависимости от того, какая концепция будет принята. Вполне вероятно, что и часть ОЯТ реакторов ВВЭР экономически целесообразно будет также кондиционировать и захоронить. Рассматривать варианты использования услуг зарубежных фирм по кондиционированию ОЯТ украинских АЭС в настоящее время не представляется возможным. Но представляется, что наиболее целесообразно развивать это направление в Украине в любом случае.
- Поиск и обоснование мест окончательного удаления кондиционированных ОЯТ и РАО - неизбежный этап ЯТЦ Украины. По этому этапу крайне необходимо уже сегодня форсировать развертывание работ, так как известно, что работы, которые необходимо провести в обоснование приемлемости условий для захоронения (удаления) радиоактивных продуктов, очень долговременны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение необходимо сказать, что атомная энергетика и ЯТЦ в целом – это не просто выработка электроэнергии – это, в первую очередь, использование передовых достижений ядерной физики и технологий для обеспечения и повышения уровня жизни населения государства, народов всего мира. Понятно, что ядерные технологии должны быть безопасны. Но в настоящее время они могут быть таковыми, если обеспечивается полноценное научное сопровождение не только на момент внедрения этих технологий, но и на всем жизненном цикле их существования. Безопасность работы АЭС и работ по отдельным этапам ЯТЦ определяет отношение к ядерным технологиям и является показателем того, как государство относится к поддержке работ в области ядерных технологий.

В Украине до последнего времени, государственное управление по проблеме атомной науки и техники было мало заметным. Практически постановка задач сводилась только к вопросам работы АЭС и выработки электроэнергии. И в этом вопросе практически вся ответственность, в том числе и за развитие отрасли, была возложена на эксплуатирующую организацию.

Необходимо разделять эти функции. Государство должно создавать условия для продвижения науки по созданию более совершенных ядерных технологий, в том числе в области ЯТЦ. Одним из инструментов этого является тариф на электроэнергию. Правила организации тарифа в условиях рынка и конкуренции должны быть одни и те же для всех типов энергопроизводства. Именно в тарифе могут быть заложены отчисления на все затраты по всем стадиям ЯТЦ, постройку новых АЭС и научную поддержку. Пока вопрос тарифа на электроэнергию – сложнейшая задача для Украины. Постепенно этот процесс идет, но он далек от оптимального.

В части государственного отношения к проблеме атомной науки и техники в последнее время наметились заметные сдвиги. Начато более тесное взаимодействие Минтопэнерго и Академии наук Украины в части организации работ как в области фундаментальных исследований, так и в части научного обеспечения эксплуатации АЭС Украины. Но практически основные мероприятия и работы в этом направлении еще впереди.

Работа выполнена в рамках Программы проведения фундаментальных исследований по атомной науке и технике ННЦ ХФТИ.

ЯДЕРНИЙ ПАЛИВНИЙ ЦИКЛ УКРАЇНИ

В.С. Красноруцький

Описано стан ЯПЦ в Україні на сьогодні й варіанти ЯПЦ, які можуть бути перспективні для України в майбутньому, а також основні стадії ядерного паливного циклу України – виготовлення матеріалів і палива; робота палива в реакторі; завершальна стадія. Наведено усереднені показники ядерного паливного циклу України з реакторами типу ВВЕР та структуру витрат на виробництво урану 4% збагачення. Показано, що на етапі поводження з ВЯП Україна спочатку повинна реалізувати економічно найбільш вигідні варіанти зберігання ВЯП і далі підготувати обґрунтоване рішення про варіанти ЯПЦ, які будуть реалізовані в Україні в майбутньому. В узагальненому вигляді представлений перелік завдань, які необхідно вирішувати Україні на різних стадіях ЯПЦ.

NUCLEAR FUEL CYCLE IN UKRAINE

V.S. Krasnorutskiy

The study presents a detailed description of the current state of the Nuclear Fuel Cycle (NFC) in Ukraine and the nuclear fuel cycle options that could be potentially implemented in Ukraine in the future. The study provides averaged characteristics of the Ukraine's VVER fuel cycle. The main stages of the nuclear fuel cycle in Ukraine are described: material and fuel production, in-reactor fuel performance, final stage. A structure of expenses on the production of 4 percent enriched uranium is provided. It is shown that at the stage of spent fuel handling Ukraine should first implement the most economically sound spent fuel storage options and further develop a justified decision on the fuel options to be implemented in Ukraine in the future. A summary of the tasks that have to be resolved at different NFC stages in Ukraine is provided.