

Олейник Ю.С.

Национальный технический университет Украины «КПИ»

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РЕАКТОРОВ И ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

В работе рассмотрены перспективы использования технологии МОКС-топлива и РЕМИКС-топлива, проведена сравнительная характеристика их использования в реакторах ВВЭР-1000.

Самым простым и эффективным средством улучшения экономических показателей АЭС является увеличение мощности ядерного реактора без принципиального изменения его систем. Каждое эволюционное совершенствование легководяных ядерных реакторов сопровождалось повышением электрической мощности до 1400-1600 МВт, что снижало стоимость каждого киловатта установленной мощности на 15-20%.

Общий путь повышения эффективности АЭС – совершенствование конструкций некоторых элементов активной зоны ядерных реакторов (топлива, конструкции ТВС, материалов выгорающих поглотителей и т.д.) и сокращение времени простоя на перегрузку ядерного топлива (увеличение кампании топлива и сокращения коэффициента использования установленной мощности). Можно повысить эффективность работы АЭС, увеличив выгорание ядерного топлива.

Еще в 1970-х годах максимальное выгорание ядерного топлива составляло 20-30 МВт·сут/кг, в настоящее время на некоторых блоках АЭС достигнуто выгорания 50-55 МВт·сут/кг. Такой результат достигается за счет увеличения обогащения ядерного топлива ураном-235 до ~ 5%, использования ядерного топлива с интегрированным поглотителем нейтронов. Это увеличивает стоимость ядерного топлива, но сокращает простой (растет кампания топлива).

Кроме того, в ТВЭЛах ядерного реактора к концу кампании топлива есть остатки невыгоревшего урана-235 и плутония, генерируемого из урана-238, которые могут быть использованы для изготовления нового оксидного смешанного МОКС-топлива, успешно применяемого на АЭС Европы.

Украина имеет неплохие предпосылки для организации производства национального ядерного топлива. У нас есть месторождения и производственные мощности по добыче и концентрации урановой руды; производственные мощности по переработке уранового концентрата; месторождения и производственные мощности по добыче циркониевых руд и производства циркониевого концентрата; опытное производство циркониевых сплавов; опытно-промышленная база для изготовления необходимых комплектующих изделий. Кроме того, у нас есть учреждения, способные обеспечить надлежащую научно-техническую, технологическую и проектную поддержку полного ядерного топливного цикла.

В общей структуре организации производства ядерного топлива в Украине проблематичным остается только осуществления изотопного обогащения урана.

Требуется своего решения и проблема отработанного ядерного топлива. Его количество, образованное в результате эксплуатации АЭС в мире, неуклонно растет. В 2015 г. количество ОЯТ достигло 400 тыс. т, из которых необходимо переработать 130 тыс. т.

Проблема дальнейшего обращения с ОЯТ после его длительного хранения решается по-разному. Некоторые страны (Франция, Англия, Россия) используют современную промышленную технологию переработки и считают такой путь экономически выгодным. Он позволяет получать, кроме дополнительного ядерного топлива, ценные химические элементы для новейших технологий.

Создание замкнутого топливного цикла в Украине, для реализации которого необходимы огромные капиталовложения и соответствующие международные соглашения, является задачей будущего. Замкнутый топливный цикл избавит от необходимости разрабатывать новые месторождения урана и проводить его дорогостоящее обогащения. В качестве топлива

для замкнутого цикла были рассмотрены МОКС-топливо и РЕМИКС-топливо. Сравнение рецикла после работы 12 реакторов ВВЭР-1000 в течение 60 лет МОКС-топлива и РЕМИКС-топлива приведены в таблице 1.

Таблица 1

Количество U и Pu в ОЯТ

Нуклиды	МОКС-топливо	РЕМИКС-топливо	Уменьшение, раз
Регенерированный U, т	10 200	850	12
Pu в ОЯТ, т	130	18	7,2
Обедненный U, т (в ОЯТ МОКС-топлива)	840	-	-

Энергетический потенциал ОЯТ РЕМИКС-топлива остается практически постоянным при рецикле, что обеспечивает стабильность при изготовлении РЕМИКС-топлива. В данном случае, энергетический потенциал ОЯТ РЕМИКС больше в 1,6 – 1,8 раза для природного урана и в 3 раза для ОЯТ МОКС-топлива (табл. 2).

Таблица 2

Энергетический потенциал ОЯТ для ВВЭР-1000

Тип топлива	Природный уран	ОЯТ UO ₂	ОЯТ РЕМИКС после рецикла			ОЯТ МОКС после 1-го рецикла
			1-й	3-й	5-й	
Содержание ²³⁵ U, вес. %	0,71	1,11	1,28	1,37	1,31	0,44

Соотношение расходов на топливо, приходящихся на единицу мощности для рассматриваемых вариантов, выглядит следующим образом:

$$\text{UOX} : \text{REMIX} : \text{MOX} = 1 : 2,1 : 1,2.$$

Из приведенных выше результатов сравнения можно сделать выводы, что в результате высокой стоимости топливной составляющей и большого накопления малых актинидов использование РЕМИКС-топлива в реакторах ВВЭР представляется менее привлекательным по сравнению с МОКС-топливом.

При многократном рецикле и включении в РЕМИКС-топливо всего высвобождаемого плутония, становится возможным полностью избавиться от накопления плутония и сильно сократить накопление регенерированного урана. Однако, проблемы безопасности и охраны труда при работе с МОКС и РЕМИКС топливом более опасны, чем в случае с урановым топливом.

Библиографический список

1. Федоров Ю.С. Использование регенерированного урана и плутония в тепловых реакторах. Атомная энергия. – 2005, т. 99. – Вып. 2. – С. 136-141.
2. Fedorov Yu.S., Kudryavtsev E.G., Bibichev B.A. et al. Use of regenerated uranium and plutonium in VVER reactors. – In Proc. of Intern. Conf. Global'2005 - Tsukuba, Japan. Oct. 9-13, 2005, paper 124, p. 5.