



ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№ 2
2015

СЕРИЯ: АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ВОВЛЕЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ В ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ ТЕПЛОВЫХ РЕАКТОРОВ

Перед мировой атомной энергетикой, которая в ближайшие десятилетия будет основываться на легководных реакторах, работающих в открытом топливном цикле, стоят две глобальные проблемы: дальнейшее накопление отработавшего ядерного топлива и высокоактивных продуктов его переработки и исчерпание запасов дешевого природного урана. На данном этапе специалисты атомной отрасли видят решение этих проблем в выстраивании замкнутого ядерного топливного цикла, развертывании парка быстрых реакторов с вовлечением в топливный цикл делящихся продуктов переработки ОЯТ тепловых реакторов.

Как предполагается, развитие замкнутого ядерного топливного цикла позволит существенно повысить эффективность атомной генерации, расширить ее топливную базу и минимизировать количество радиоактивных отходов.

Для расширения топливной базы путем вовлечения в топливный цикл делящихся продуктов переработки ОЯТ должен быть создан целый комплекс новых технологий в самых разных сферах – от собственно реакторных технологий до технологий переработки ОЯТ и стадий back end'a (завершающей стадии жизненного цикла объектов атомной энергетики). Ядерные энергетические технологии нового поколения и технологии замкнутого ядерного топливного цикла позволят практически снять ограничения в отношении сырья для атомной энергетики.

Однако, несмотря на перспективы, не сбрасываются со счетов уже существующие технологии, в том числе развитая по всему топливному циклу инфраструктура тепловых реакторов. Проводятся исследования по использованию в тепловых реакторах топлива, регенерированного из урана и плутония, как в плане улучшения экономических показателей, так и с целью решения экологических проблем, например ликвидации наработанного плутония, представляющего серьезную проблему.

В зависимости от происхождения и технологий переработки исходного ОЯТ, а также технологии изготовления и способа размещения в активных зонах тепловых реакторов регенерированного оксидного топлива, его условно классифицируют на несколько основных типов: регенерированное урановое топливо (РУТ), МОКС-топливо, РЕМИКС-топливо.

Регенерированное урановое топливо изготавливается из регенерированного урана, выделяемого при переработке ОЯТ промышленных, транспортных или энергетических реакторов. Изотопный состав регенерированного урана зависит от источника ОЯТ и его изотопного состава. Поэтому при изготовлении РУТ регенерированный уран может обогащаться, смешиваться с высокообогащенным природным ураном или регенерированным ураном другого изотопного состава.

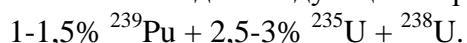
В Российской Федерации накоплен более чем 30-летний опыт промышленного использования регенерированного урана для производства ядерного топлива, основанного на российских спецификациях (ОЯТ ВВЭР-440 используется для фабрикации топлива РБМК), и более чем 15-летний опыт производства топлива из регенерированного урана для АЭС с реакторами PWR, BWR Западной Европы (Германия, Швейцария, Швеция, Голландия, Великобритания). К настоящему времени произведено более 3000 ТВС, поставляемых в рамках контракта с AREVA NP.

МОКС-топливо изготавливается из плутония, полученного при переработке ОЯТ промышленных или энергетических реакторов. Плутоний с содержанием делящихся изотопов не менее 93% называется оружейным плутонием, а плутоний, выгружаемый из энергетических реакторов и содержащий меньшее количество делящихся изотопов, – энергетическим плутонием. Доля делящихся изотопов плутония падает с увеличением выгорания исходного топлива. При изготовлении МОКС-топлива к плутонию добавляется обедненный или природный уран в количестве, обеспечивающем необходимые размножающие свойства МОКС-топлива.

В настоящее время в некоторых странах на практике реализован вариант однократного рецикла МОКС-топлива в части активной зоны действующих легководных реакторов. Такой вариант хотя и позволяет существенно снизить объемы накопления в этих странах уранового ОЯТ, но не решает проблемы полностью. Реализация многократного рецикла плутония в легководных реакторах оказалась затруднительной по нормам безопасности из-за накопления высших изотопов плутония и минорных актинидов в отработавшем МОКС-топливе (МОКС-ОЯТ). В результате проблема хранения уранового ОЯТ легководных реакторов в этих странах конвертировалась в проблему хранения МОКС-ОЯТ, решение которой вновь видится в рецикле «грязного» плутония в будущих быстрых реакторах.

РЕМИКС-топливо

В России альтернативные решения по возвращению регенерированного топлива в реакторы ВВЭР исследуются для так называемого РЕМИКС-топлива (REMIX – REgenerated MIXture of U, Pu oxides), состоящего из неразделенной смеси урана и плутония, получаемой при переработке ОЯТ, в которую добавляется природный уран с небольшим количеством ^{235}U обогащением около 16–17% для компенсации присутствия в смеси четных изотопов ^{236}U , ^{232}U , ^{240}Pu , ^{242}Pu и обеспечения необходимых размножающих свойств. В результате примерный состав РЕМИКС-топлива выглядит следующим образом:



Технология подразумевает повторное использование плутония и остаточного количества ^{235}U отработавшего ядерного топлива. При этом в регенерированное топливо плутоний дополнительно не добавляется, а сохраняется лишь тот, который наработан в реакторе. Для того чтобы поддержать изотопный баланс делящихся материалов, на каждой новой стадии, в каждом новом рецикле к топливу добавляется лишь небольшое количество ^{235}U с обогащением около 17%. Таким образом энергетический потенциал РЕМИКС-ОЯТ, т.е. сумма делящихся изотопов урана и плутония, остается практически постоянным при рециклировании, обеспечивая многократное рециклирование всего количества делящихся материалов, загруженных в реактор, и стабильность при изготовлении РЕМИКС-топлива.

Преимущества топливных циклов ВВЭР-1000 с регенерированным уран-плутониевым топливом по сравнению с открытым урановым топливным циклом:

для изготовления регенерированного топлива используется весь уран и плутоний, содержащийся в отработавшем топливе;

отсутствует необходимость выделения плутония в чистом виде при переработке отработавшего топлива, что снижает риск распространения плутония;

вследствие низкого содержания плутония в регенерированном уран-плутониевом топливе возможна полная загрузка активной зоны ВВЭР-1000 таким топливом;

экономия природного урана;

уменьшение количества отработавшего топлива, поступающего на длительное хранение;

на перерабатывающем заводе может быть использована аналогичная технология переработки отработавшего топлива как тепловых, так и быстрых реакторов;

возможна переработка отработавшего топлива тепловых реакторов неядерных государств с последующим изготовлением регенерированного уран-плутониевого топлива.



Схема многократного рециклирования регенерированных урана и плутония в виде РЕМИКС-топлива в реакторах ВВЭР-1000

Российскими специалистами были выполнены нейтронно-физические расчеты нескольких топливных циклов реакторов ВВЭР-1000 при 100%-й загрузке активной зоны РЕМИКС-топливом. Расчетные исследования показали – пока теоретически – возможность реализации многократного рециклирования РЕМИКС-топлива в ВВЭР (на сегодняшний момент подтверждена возможность пятикратного цикла).

Проведенные расчеты первых циклов выявили особенности загрузки активной зоны с регенерированным уран-плутониевым топливом, которые заключаются в уменьшении эффективности жидкостной системы регулирования реактивности, эффективной доли запаздывающих нейтронов и времени жизни мгновенных нейтронов деления, увеличении интенсивности обратных связей по мощности, температуре теплоносителя и топлива, а также в снижении запаса реактивности, компенсируемого борной кислотой.

Был сделан вывод, что перечисленные отличия не создают препятствий для практического использования регенерированного уран-плутониевого топлива, поскольку расчетные нейтронно-физические характеристики загрузки с таким топливом укладываются в проектные ограничения активной зоны ВВЭР-1000. В частности, максимальные значения мощности ТВС, твэла и линейной мощности твэла не превышают установленных пределов. Удовлетворяются также условия ядерной безопасности при перегрузке топлива и в процессе вывода реактора на минимально контролируемый уровень мощности. Механическая система управления реактивностью обладает необходимой эффективностью.

Изготовление первой опытной тепловыделяющей сборки РЕМИКС-топлива планируется на 2016-2017 на базе ныне эксплуатируемых топливных сборок ТВС-2М. Эти экспериментальные сборки будут со временем испытываться в реакторе ВВЭР-1000 третьего энергоблока Балаковской АЭС. Предполагается, что создающийся на Горно-химическом комбинате опытно-демонстрационный центр будет использоваться для демонстрации закрытого ядерного топливного цикла тепловых реакторов с использованием РЕМИКС-топлива.

Однако уже на нынешнем этапе исследований специалистами отмечены не только плюсы, но и минусы технологии РЕМИКС, требующие значительных дополнительных исследований и экспериментальной проверки.

Это, в первую очередь, значительный рост удельных затрат на топливный цикл ВВЭР с РЕМИКС-топливом в сравнении с урановым топливным циклом. Существенно вырастут затраты на изготовление ТВС из «грязного» уран-плутониевого топлива, появятся дополнительные затраты на переработку РЕМИКС-ОЯТ и обращение с ВАО, содержащими увеличенные количества радиотоксичных младших актинидов. При этом отмечается: оцениваемый эффект в снижении удельных расходов природного урана при переходе от открытого цикла на РЕМИКС-топливо будет не очень значителен – около 25%.

Разработка и реализация эффективных способов использования в ВВЭР регенерированного топлива расширит горизонты будущего атомной энергетики, обеспечивая снижение потребления природного урана, сокращение объема накопленного ОЯТ и повышение конкурентоспособности ВВЭР в структуре атомной энергетики в условиях исчерпания запасов дешевого природного урана и перехода к замкнутому ядерному топливному циклу.

Источники:

1 Федоров Ю.С. Переработка облученного топлива: новые требования и инновационные подходы / И.А. Масленников, Ю.С. Федоров и др., // Безопасность окружающей среды.- 2010.– № 1 . – С.90-93.

2 Каграманян В.С., Калашников А.Г. и др. Анализ характеристик РЕМИКС-топлива при многократном рецикле в реакторах ВВЭР // Известия вузов. Ядерная энергетика – 2013. – № 4. – С. 109-117

3 Электронный ресурс.– Nuclear.Ru

Материал подготовили: Брылева В.А., Войтецкая Е.Ф., Нарейко Л.М.

Адреса для контактов:

ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99
тел.: 391-14-43, факс: 391-13-35, Web-site: <http://www.sosny.bas-net.by>

E-mail: valentina.brylioiva@yandex.by

Для получения данного информационного бюллетеня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

©При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь