

БУДУЩЕЕ: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Безопасные, устойчивые с точки зрения распространения и экономически эффективные ядерные топливные циклы, позволяющие свести к минимуму объемы образующихся отходов и масштабы воздействия на окружающую среду, являются ключом к обеспечению устойчивости ядерной энергетики. Новаторские подходы и технологии могут существенно уменьшить радиотоксичность, то есть, опасность для человека, создаваемую радиоактивными веществами, а также количество образующихся отходов. Уменьшение объема отходов, тепловой нагрузки и периода, в течение которого отходы должны быть изолированы от биосферы, позволит в значительной степени упростить концепции захоронения отходов.

Рециклирование и повторное использование сводят объем отходов к минимуму. Эта концепция наряду с оптимальным использованием природных ресурсов является основой “замкнутого топливного цикла”, в котором пригодные к повторному использованию компоненты отработавшего топлива рециклируются и не считаются отходами.

Отработавшее ядерное топливо может подвергаться переработке в целях выделения и/или преобразования долгоживущих радиоактивных элементов в менее опасные и менее долговечные формы. Результатом этого процесса, известного как “разделение и трансмутация” (РиТ), становится сокращение объема отходов и существенное уменьшение их радиотоксичности.

Рециркуляция и повторное использование сводят объем отходов к минимуму. Эта концепция наряду с оптимальным использованием природных ресурсов является основой “замкнутого топливного цикла”, в котором пригодные к повторному использованию компоненты отработавшего топлива рециклируются и не считаются отходами.

Разделение и трансмутация

Отработавшее ядерное топливо из ядерного реактора обладает высокой радиотоксичностью из-за содержащихся в нем трех групп элементов: старших актинидов, т.е. урана и плутония; младших актинидов, к которым относятся нептуний, америций и кюрий; и продуктов деления. Ввиду наличия в отработавшем топливе долгоживущих актинидов

и тепловыделяющих продуктов деления оно считается высокоактивными отходами и должно быть локализовано и изолировано от биосферы в глубинных геологических формациях на сотни тысяч лет.

В долгосрочной перспективе наибольшей радиотоксичностью обладают долгоживущие актинидные элементы. Продукты деления, хотя они и выделяют тепло, относятся к короткоживущим элементам и радиотоксичны только в течение первых ста лет.

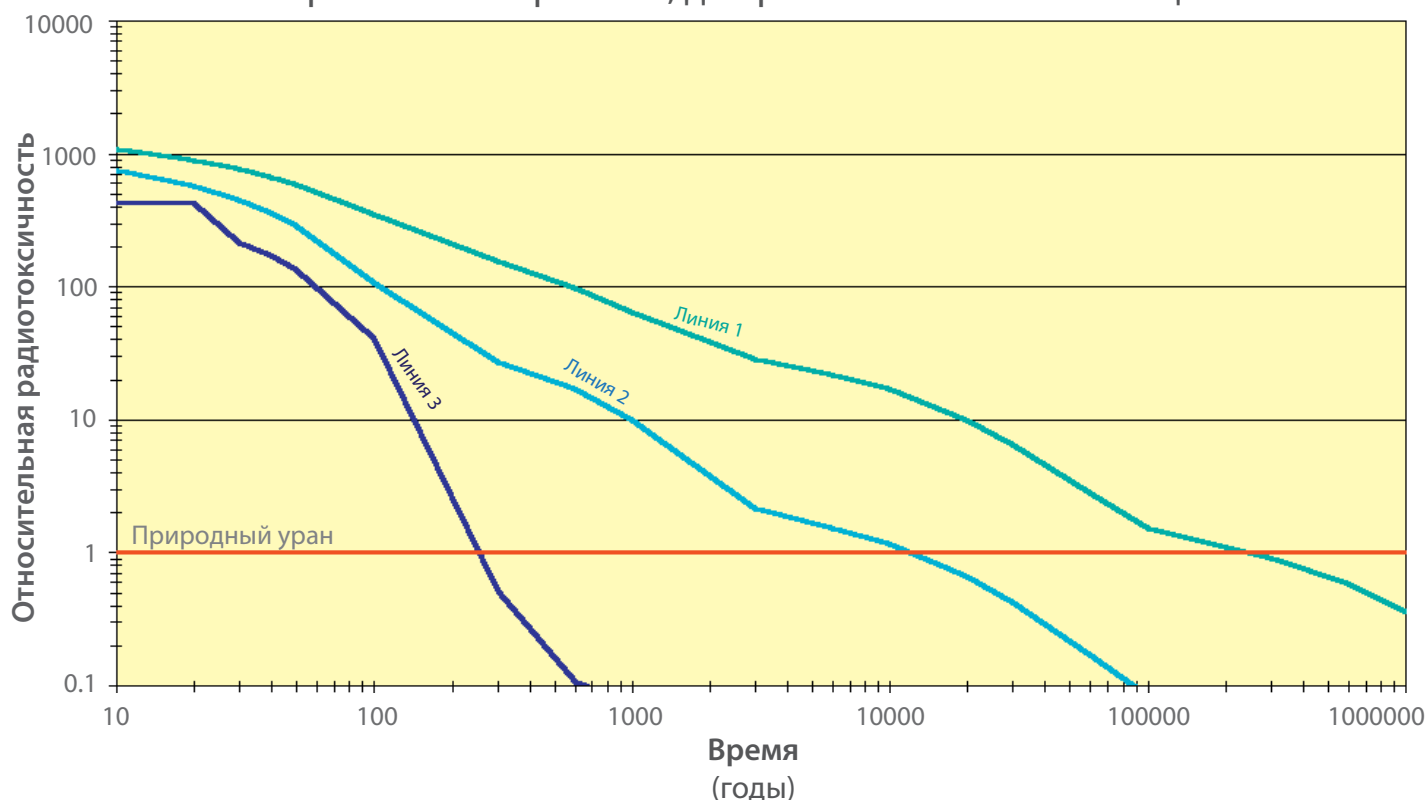
При РиТ плутоний и младшие актиниды извлекают из отработавшего топлива путем химического разделения. После этого производится трансмутация, в ходе которой трансураниевые элементы (нептуний, плутоний, америций и кюрий) уничтожаются путем ядерного деления в специальном ядерном реакторе. Использование метода РиТ позволяет повысить эффективность обращения с радиоактивными отходами за счет сокращения объема отходов, которое позволяет реализовать более рентабельные схемы обращения с ними.

Наиболее изученной технологией трансмутации, позволяющей уничтожать долгоживущие актинидные элементы, сегодня являются системы на быстрых нейтронах. Трансмутация возможна и в других типах реакторов, таких, как реакторы с водой под давлением, однако в них деление проходит менее эффективно.

Основное преимущество заключается в том, что при использовании быстрых реакторов в сочетании с новыми технологиями топливного цикла можно перерабатывать старшие и младшие актиниды без задействования систем глубокой очистки, как в случае с существующими заводами по переработке топлива в Индии, Российской Федерации, Франции и Японии. Эта система весьма устойчива с точки зрения распространения и не требует отделения плутония от других актинидов. Метод, предусматривающий сочетание быстрых реакторов (или технологии на основе спектра быстрых нейтронов) с усовершенствованным пиропроцессингом отработавшего топлива, в настоящее время находится в стадии разработки и демонстрации в Индии, Российской Федерации и Европейском союзе.

Рециклирование актинидов в быстрых реакторах обеспечивает значительное сокращение объема отходов, тепловой нагрузки и времени, необходимого для уменьшения радиотоксичности до уровня природной урановой руды, которая используется в

Радиотоксичность ядерных отходов по прошествии времени, для различных топливных циклов



Линия 1: прямое захоронение отработавшего топлива; отходы содержат Pu + MA + ПД

Линия 2: рецикл плутония; отходы содержат MA + ПД

Линия 3: рецикл Pu + MA; отходы содержат ПД

ПД = продукты деления MA = младшие актиниды Pu = плутоний

Технология быстрых нейтронов может уменьшить радиотоксичность отходов до уровня природного урана примерно за 400 лет вместо сотен тысяч лет.

топливе легководных реакторов. Современные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) демонстрируют жизнеспособность концепции “захоронения эквивалента природного урана”. Другими словами, имеется техническая возможность получать радиоактивные отходы, которые будут распадаться до таких природных уровней за 300-400 лет, а не за 250 000 лет, как в случае прямого захоронения отработавшего топлива. Таким образом, развитие конструкций современных АЭС позволит резко сократить связанное с отходами бремя для будущих поколений.

Тем не менее, это весьма сложная задача; необходимо развивать технологии переработки и рециклирования отходов, то есть, повышать эффективность разделения актинидов, сокращать объем вторичных отходов и предупреждать проблемы в области распространения. Исследования МАГАТЭ в области разработки быстрых реакторов и инновационных топливных циклов показывают, что эти вопросы поддаются решению

и ядерная отрасль способна создать новый, более устойчивый топливный цикл.

Кроме того, проводятся серьезные НИОКР по использованию тория вместо урана, а также более широкому применению систем реакторов с более глубоким выгоранием топлива, таких, как высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы и реакторы на солевых расплавах. Цель этих усилий заключается в уменьшении количества трансурановых элементов при сохранении объема производимой электроэнергии.

Александр Бычков, заместитель Генерального директора и руководитель Департамента ядерной энергии МАГАТЭ