

MYRRHA: система для обращения с радиоактивными отходами на базе ускорителя

Хамид Айт Абдеррахим



Хамид Айт Абдеррахим — заместитель генерального директора SCK CEN по международным делам, а также директор собственно проекта MYRRHA и его некоммерческой организации. Он является профессором физики реакторов и ядерной техники Католического университета Лувена, а также координатором и партнером различных проектов Европейской комиссии, связанных с прогрессивными

ядерными системами, разделением высокоактивных ядерных отходов и управлением трансмутацией. Будучи членом различных научных советов, исследовательских организаций и международных институтов, в 2014 году он был удостоен королем Бельгии степени Великого офицера Ордена Короны за вклад в области изучения проблем ядерной энергии и замыкания топливного цикла.

Одно из основных — и ложных — возражений, которое иногда приводят против использования ядерной энергии, заключается в том, что «у проблемы ядерных отходов нет решения». Отработавшее ядерное топливо, которое не было переработано, остается радиотоксичным выше уровней, характерных для природной урановой руды, в течение примерно 300 000 лет, причем большая часть урана и плутония в нем остается неизрасходованной. Хотя технические решения для столь долгосрочного захоронения существуют, есть и другой путь: регенерация ядерного топлива.

И уран, и плутоний могут быть регенерированы из отработавшего топлива путем переработки и использованы в новом ядерном топливе для дальнейшего производства электроэнергии. Однако после стандартного процесса переработки остаются младшие актиниды — близкие к урану элементы периодической таблицы, которые невозможно сжечь в современных энергетических реакторах. Содержащим их

радиоактивным отходам все равно требуется 10 000 лет, чтобы вернуться к естественному уровню излучения.

MYRRHA (Многоцелевой гибридный исследовательский реактор для высокотехнологичных применений) — это проект, который в настоящее время находится на этапе строительства в Бельгийском центре ядерных исследований (SCK-CEN) и основан на концепции электроядерной системы (ЭЛЯС), направленной на решение проблемы актинидов, а именно младших актинидов. Цель этого проекта состоит в том, чтобы продемонстрировать на инженерном уровне работу ЭЛЯС и целесообразность трансмутации младших актинидов в промышленных масштабах. Благодаря снижению радиотоксичности это может уменьшить объем высокоактивных отходов на 99 процентов, а срок их хранения — всего до 300 лет.

От большинства действующих реакторов проект MYRRHA отличают два важных аспекта. Во-первых, в нем используются быстрые нейтроны, которые необходимы для деления младших актинидов. Во-вторых, он может функционировать в подкритическом режиме (т.е. не вызывая самоподдерживающуюся цепную реакцию деления), так как соединен с сильноточным протонным ускорителем, генерирующим необходимые первичные нейтроны в центре активной зоны реактора посредством реакций скальвания. Это необходимо для управления реактивностью при сжигании младших актинидов и дает дополнительное преимущество, состоящее в том, что как только ускоритель прекращает работу, цепная реакция деления прекращается и реактор останавливается. В качестве ключевой меры безопасности проектом предусмотрено, что остаточное тепловыделение радиоактивного распада может отводиться за счет естественной циркуляции без необходимости наличия какой-либо активной системы или вмешательства.

Для того чтобы осуществить трансмутацию значительной части мировых отходов отработавшего топлива, потребуется сеть промышленных установок. На сегодняшний день технологии, задействованные в MYRRHA, были по отдельности опробованы в лабораторных условиях на

экспериментальных установках. Соответственно, MYRRHA является экспериментальной установкой для предпромышленной эксплуатации, задачей которой является интеграция и тестирование технологий в больших масштабах, обеспечивая при этом существенное повышение надежности.

В ходе реализации этого первого в своем роде проекта предстоит решить множество задач в плоскости науки, техники и нормативного регулирования. Проведенная Агентством по ядерному регулированию Бельгии после тесных консультаций с разработчиками проекта предлицензионная экспертиза не выявила никаких достаточно серьезных проблем, из-за которых будущая процедура лицензирования MYRRHA могла бы оказаться под вопросом. Мы надеемся, что это привлечет большое количество молодежи из Бельгии и других стран в ядерную область, которая, по мнению страны, имеет большое значение.

Хотя основное внимание в проекте уделяется обращению с радиоактивными отходами, для этой установки предусмотрено множество других вариантов применения в передовых научно-исследовательских областях. Проект MYRRHA состоит из трех этапов. В рамках первого этапа уже ведется строительство, и ожидается завершение работ по низкоэнергетической части (100 мегаэлектронвольт (МэВ)) протонного ускорительного комплекса, причем примерно в 2027 году уже могут быть начаты различные исследовательские работы. Основу для их проведения обеспечит система разделения изотопов в оперативном режиме (ISOL@MYRRHA), которая позволяет отсортировать отдельные изотопы для производства радиофармпрепаратов и формировать радиоактивные ионные пучки для постановки самых разных ядерно-физических экспериментов, в том числе с возможностью изучения материалов для термоядерного синтеза при подключении установки полной мощности (УПМ).

На радиоактивных пучках, формируемых в ISOL@MYRRHA, можно выполнять высокоточные измерения, результаты которых могут пригодиться при проверке пределов действия «стандартной модели» элементарных частиц. Если удастся успешно завершить первый этап проекта и убедиться, что ускоритель обладает высочайшим уровнем надежности, который необходим для ЭЛЯС, то на втором этапе протонный ускоритель будет выведен на полную мощность (600 МэВ). Заключительным этапом станет сооружение собственно подкритического реактора. В качестве теплоносителя, предназначенного для отвода выделяемого ядерным реактором тепла,

будет использоваться свинцово-висмутовый (Pb-Bi) сплав. Гибкая конструкция активной зоны реактора позволяет загружать в нее смешанное оксидное топливо, младшие актиниды и мишени для производства медицинских изотопов. Будут предусмотрены стенды для испытаний под облучением и испытаний на коррозионную стойкость, где будут тестироваться перспективные конструкционные материалы для реакторов на быстрых нейтронах и даже будущих термоядерных реакторов. Реактор MYRRHA со свинцово-висмутовым теплоносителем может стать площадкой, на которой будут отрабатываться экспериментальные технологии для создания быстрых реакторов четвертого поколения со свинцовым теплоносителем.

Правительство Бельгии уже инвестировало в проект MYRRHA около 200 млн евро, а в 2018 году добавило еще 558 млн евро на период 2019–2038 годов, исходя из общей сметы проекта в размере около 1,6 млрд евро. Была создана некоммерческая организация. Это позволит MYRRHA в будущем привлекать инвестиции от иностранных правительств и организаций, чтобы перейти ко второму и третьему этапу и начать действовать в качестве международной организации. Проект MYRRHA был включен в список Европейского стратегического форума по исследовательским инфраструктурам (ESFRI), состоящий из проектов, которые были определены исследовательскими сообществами как передовые, а Европейский комитет по сотрудничеству в области ядерной физики (NuPECC) включил ISOL@MYRRHA в свой долгосрочный план основных европейских ядерных установок. Кроме того, проект MYRRHA включен в Европейский стратегический план по энергетическим технологиям (SET-План), ориентированный на поддержку низкоуглеродных технологий, что открывает возможности для получения финансирования от Европейского инвестиционного банка.

Возможность регенерации урана и плутония и их превращения в топливо для систем с быстрым спектром нейтронов также снижает спрос на добычу урановых руд и устойчивым образом увеличивает объем получаемой из них энергии. Повышение эффективности использования сырья и сокращение объема отходов — это задачи, актуальные для многих отраслей промышленности, и поэтому проект MYRRHA был включен в бельгийскую национальную политику стратегических инвестиций и комплексный национальный план по энергетике и климату.

Трехмерная модель всего комплекса MYRRHA.

(Фото: MYRRHA)

