

Эра жесткого электророяда

Авария на АЭС "Фукусима-1" – конец атомной энергетики, или Смена ее парадигмы

2011-05-25 / Владимир Дмитриевич Кекелидзе - директор Лаборатории физики высоких энергий имени В.И.Векслера и А.М.Балдина Объединенного института ядерных исследований (Дубна); Сергей Иванович Тютюнников - начальник отделения ЛФВЭ ОИЯИ, руководитель проекта "Энергия и трансмутация РАО" (Дубна); Валерий Викторович Чилап - гендиректор - генконструктор Центра физико-технических проектов (ЦФТП), "Атомэнергомаш" (Москва)



Исследовательский нейтронный реактор в ОИЯИ.
Фото Юрия Туманова, ОИЯИ

Мы не знаем, как будет развиваться аварийная ситуация на японской АЭС «Фукусима-1» к моменту выхода этой статьи. Потому что, как теперь уже понятно, работы по ее ликвидации, а также борьба с ее последствиями растянутся на десятилетия. Реакторы этой станции, построенной 40 лет назад, в то время когда человечеству казалось, что ядерный джинн им полностью укрощен, выполнены по такой схеме, которую сегодня ни одному уважающему себя специалисту даже не придет в голову публично предлагать. Но это сегодня. А тогда был проигнорирован давно сформулированный 1-й закон Мэрфи: «Все что может сломаться – сломается. Что не может сломаться – сломается тоже»...

50 на 50

Весь мир, затаив дыхание, жадно ловит последние новости из Японии. Эфир забит комментариями профессиональных экспертов и рассуждениями псевдознатоков. С досадой наблюдают за действиями японцев и результатами отсутствия пассивных систем безопасности в конструкции японских, точнее – американских, реакторов наши специалисты, прошедшие через ликвидацию последствий и глубокое осмысление уроков чернобыльской аварии и аварии на американской станции «Тримайл Айленд».

На улицы городов многих стран выходят десятки тысяч демонстрантов с протестами против ядерной энергетики. Напуганные обыватели хотят, чтобы атомной энергетики не было, но чтобы при этом было электричество в розетке, свет в домах и на улицах, чтобы в домах было тепло, работали мобильники и Интернет, чтобы выплавлялась сталь и производились запчасти для их любимых автомобилей. К сожалению, чудес не бывает. Один мудрый человек сформулировал тезис: «В любой ситуации есть 50% – «за» и 50% – «против». Умный человек использует те 50%, которые «за», на все 100%».

Японская трагедия поставила человечество перед поиском ответов на четыре ключевых вопроса: 1. Нужна ли нам атомная энергетика? 2. Может ли современная атомная энергетика быть практически безопасной? 3. Может ли современная атомная энергетика решить проблемы энергообеспечения

человечества в обозримом будущем? 4. Как кардинально решить накопившиеся проблемы современной атомной энергетики?

Давайте отвлечемся от эмоций текущего момента и попробуем спокойно разобраться в этих вопросах. Давайте попробуем использовать те 50% «за» в возникшей ситуации на все 100%.

Топливо для атомной топки

Прогнозы темпов роста мирового энергопотребления показывают, что запасов нефти и газа, которые в настоящее время составляют сырьевую основу энергетики, хватит на ближайшие 30–50 лет.

Разведанные запасы угля могут продлить век традиционной энергетики еще на 200–300 лет. Однако использование органики и особенно угля создает серьезные экологические проблемы. Кроме того, сжигание углеводородов лишает человечество важнейших источников сырья для производства синтетических материалов.

Альтернативные источники энергии (солнечная, энергия ветра, геотермальная, биогаз и т.д.) вносят вклад в мировую энергетику в размере нескольких процентов и не могут рассматриваться в качестве базовых, поскольку они являются низкоконцентрированными.

Специалистам давно понятно, что глобальные энергетические проблемы XXI века невозможно решить без использования энергии атомного ядра. Современные проекты атомных электростанций исключают возможности не только аварий, аналогичных японской, чернобыльской или «Тримайл Айленда», но и совершенно немыслимых с точки зрения обычного человека.

Но все дело в том, что запасов основного топлива современной атомной энергетики – урана-235 – в энергетическом эквиваленте не больше, чем нефти и газа. Большие запасы природного урана (^{238}U – 99,3% и ^{235}U – 0,7%) и тория могут обеспечить будущее энергетики на тысячи лет. Но в существующих и даже в перспективных реакторах они практически не «горят» в силу высокого порога деления (1–2 МэВ).

Быстрые и тепловые реакторы работают на управляемой цепной реакции деления со средней энергией нейтронов около или существенно ниже 0,2 МэВ, определяемой спектром нейтронов деления и конструкцией активной зоны.

Подкритические размножающие системы, инициируемые ускорителями (электроядерные системы, или Accelerator Driven Systems – ADS) могут в принципе работать на значительно более жестком нейтронном спектре. Однако классические схемы ADS (ускоритель с энергией 1 ГэВ плюс нейтронопроизводящая мишень и подкритическая активная зона) основаны на использовании того же «реакторного» нейтронного спектра.

Итак, выше мы пришли к положительному ответу на первые два вопроса.

Наш анализ различных направлений развития ядерной энергетики, проведенный в поисках ответа на третий вопрос, показывает существенную ограниченность возможностей традиционных реакторных и классических ADS-систем, основанных на использовании нейтронов спектра деления, в решении глобальных энергетических проблем. Если кратко сформулировать главные причины такой ограниченности, то их две:

1) нерешенность в рамках современной концепции атомной энергетики проблемы утилизации отработанного ядерного топлива (ОЯТ);

2) отсутствие запасов сырья (урана-235) на многие сотни лет.

По сути, результат анализа возможностей решения этих двух принципиальных проблем атомной энергетики явится ответом на последний, наиболее важный четвертый вопрос.



Установка «Квинта» – на ней отрабатываются основные принципы ядерных релятивистских технологий.

Фото из архива авторов

Спрятать ОЯТ и забыть

С момента создания атомной энергетики проблема отработанного ядерного топлива (ОЯТ) считалась неизбежным злом, с которым необходимо бороться. Нерешенность проблемы утилизации содержащего накопленные долгоживущие радиоактивные продукты деления и актиниды ОЯТ – одно из серьезных препятствий для развития традиционной атомной энергетики.

На сегодняшний день содержащие ОЯТ отработанные тепловыделяющие сборки (ТВС) не подвергаются переработке, а просто размещаются в комплексе пристанционных хранилищ действующих АЭС, ожидая разработки эффективных технологий переработки и создания соответствующих производственных мощностей. В качестве основного способа снижения активности реализуется просто их длительная выдержка.

В перспективе рассматривается несколько подходов к снижению долгоживущей активности ОЯТ. Все они основаны на предварительной радиохимической переработке с целью выделения наработавшихся в ТВС наиболее опасных долгоживущих осколков деления и трансурановых изотопов, включая минорные актиниды. Но современные и даже перспективные радиохимические технологии приводят к образованию значительных объемов долгоживущих радиоактивных отходов.

Для справки: загрузка ядерного блока ВВЭР-1000 составляет приблизительно 80 тонн диоксида урана (70 т урана). За 60 лет эксплуатации одного блока будет выгружено около 1600 тонн ОЯТ, содержащих в сумме 16,6 т трансурановых элементов, из которых около 16,0 т – это изотопы плутония. При сегодняшних технологиях в процессе переработки 1 т ОЯТ (0,1 кубометра) образуется 45 кубометров жидких высокоактивных отходов, 150 кубометров среднеактивных и 2 тыс. кубометров низкоактивных. В замкнутом ядерном топливном цикле (пока не реализованном) ожидается образование ежегодно в результате переработки до 25 м³/ГВт высокоактивных отходов, 50–100 м³/ГВт среднеактивных и до 700 м³/ГВт низкоактивных отходов.

На строительство хранилища Юкка Маунтин (США) емкостью 70 тыс. т ОЯТ было выделено примерно 96,2 млрд. долл. То есть стоимость обращения с ОЯТ составляет 1374 долл. за килограмм только капитальных затрат, не считая транспортных и эксплуатационных. Стоимость загрузки топлива на три года ВВЭР-1000 – 94 млн. долл., или 1175 долл. за килограмм.

Таким образом, сегодня обращение с ОЯТ получается значительно дороже свежего топлива.

ЯРТ-будущее

В рамках рассматриваемых сегодня в мире подходов к снижению долгоживущей активности ОЯТ предусматривается в первую очередь трансмутация выделенных наиболее опасных долгоживущих осколков деления в обычных «классических» электроядерных системах (ADS). Также в электроядерных системах предполагается пережигание выделенных минорных актинидов с выработкой при этом электроэнергии.

Однако разрабатываемые для решения проблем атомной энергетики классические электроядерные системы способны решить эти проблемы лишь частично. Это связано с тем, что, как указывалось выше, все традиционные реакторы и классические электроядерные установки работают в области энергий нейтронов, ограниченной спектром деления, данным нам самой природой.

В делительном нейтронном спектре пороговые минорные актиниды горят малоэффективно, поскольку имеют малую вероятность деления, обусловленную их высоким порогом деления (1 МэВ). Трансмутация же долгоживущих радиоактивных отходов из состава ОЯТ крайне плохо замыкается за счет многошаговых реакций, которые приводят к появлению новых долгоживущих радиоактивных изотопов.

Как сегодня становится понятным, решить главные проблемы современной атомной энергетики на основе технологий, реализуемых в пределах области энергий делительного спектра нейтронов, можно только в паллиативном ключе на основе терминологии: «повысить, углубить, улучшить, понизить и т.п.».

Весь мир, не имея альтернативных идей, вынужден соглашаться с таким подходом к решению проблемы ОЯТ и ядерной энергетики в целом.

На сегодняшний день единственная реальная перспектива кардинального решения проблем современной атомной энергетики – использование более жесткого, чем делительный, спектра нейтронов.

Для практической реализации этого пути инициативной группой российских и белорусских ученых разработана принципиально новая схема электроядерного метода, основанная на ядерных релятивистских технологиях (ЯРТ). Схема ЯРТ опирается на результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ в области электроядерных технологий, выполненных за последние 50 лет, в том числе и в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна). Результаты первых экспериментов, проведенных в ОИЯИ по инициативе ученых Центра физико-технических проектов (ЦФТП) «Атомэнергомаш» (Москва) совместно с белорусскими коллегами, указывают на реалистичность основных принципов схемы ЯРТ, позволяя ожидать, что эта схема имеет серьезные перспективы стать базовой схемой ядерной энергетики.

Если коротко сформулировать основную идею схемы ЯРТ, то это формирование внутри глубокоподкритичной активной зоны (АЗ) из природного (обедненного) урана или тория, размеры которой обеспечивают минимальную утечку нейтронов, максимально жесткого нейтронного спектра. Ожидается, что такой спектр позволит эффективно «сжигать» для производства энергии естественный (обедненный) уран и торий, а также одновременно утилизировать долгоживущие компоненты отработанного ядерного топлива (ОЯТ) атомных электростанций.

ЯРТ-реактор – это реактор, который непрерывно воспроизводит легкоделящиеся элементы топливной композиции, необходимые для поддержания его высокой энергоэффективности в течение многих десятков лет, не потребляя при этом уран-235.

На основе схемы ЯРТ возможно кардинально сменить парадигму отношения к ОЯТ. То есть ОЯТ из серьезнейшей проблемы атомной отрасли может стать высокоэффективным, практически готовым топливом для множества блоков ядерных релятивистских электростанций (ЯРЭС). В рамках этой схемы ОЯТ может служить основным топливным компонентом для производства энергии. При этом экономически и экологически эффективная утилизация отработанных тепловыделяющих сборок

реакторов типа ВВЭР и РБМК, содержащих ОЯТ, может происходить без их сложной радиохимической переработки и выделения наиболее опасных долгоживущих изотопов.

Оценки показывают, что при загрузке в активную зону ЯРТ-реактора 200 тонн капсул, изготовленных из тонкомолотых материалов ТВС, ЯРТ-реактор чисто физически сможет вырабатывать на одной такой загрузке примерно 2000–3000 МВт электричества в течение 60 лет. Жизненный цикл ЯРТ-реактора после этого завершится режимом глубокой переработки продолжительностью один-два года. В этот период производство электроэнергии будет затухать. В результате в активной зоне останутся в основном короткоживущие изотопы.

Один выводимый из эксплуатации после 60 лет работы блок ВВЭР-1000 может обеспечить топливом (ОЯТ) восемь блоков ЯРЭС на 60 лет работы каждый.

Практическое освоение новой схемы стало возможным в результате сочетания двух уникальных комплексов российских и белорусских технологий: 1) технологии трехмерного модульного компактного ускорителя протонов на обратной волне (УЛОВ), в западной аббревиатуре – BWLAP/ABC3D; 2) возможности реализации ряда принципиальных физико-технических и конструктивно-технологических решений, предоставляемых схемой ЯРТ.

Как показывает анализ, практически все технологии для серийного промышленного производства элементов ЯРТ-систем на сегодняшний день или имеются в наличии, или имеется серьезный научно-технический, опытно-конструкторский и технологический задел для их реализации. В частности, проведенные расчеты показали, что размеры ускорителя, выполненного по уникальной российской технологии УЛОВ в 3D-компоновке на энергию 10 ГэВ для блока ЯРЭС, составят порядка 60x30x12 м.



Сегодня ученые уже могут предложить варианты эскизного проекта АЭС на основе ЯРТ.
Фото из архива авторов

Атомный проект № 2

Однако объем имеющихся на сегодняшний день экспериментальных данных, а также уровень точности результатов расчетно-теоретических работ в этой области недостаточны для принятия соответствующего, экономически обоснованного политического решения о создании полномасштабных ЯРТ-систем для выработки электроэнергии при переработке ОЯТ.

Единственный реальный путь к количественному описанию и экспериментальной демонстрации реализуемости основных физико-технических принципов схемы ЯРТ лежит через реализацию Комплексной целевой программы НИОКР – Программы «ЯРТ–ОЯТ» на базе ОИЯИ с участием ряда

ведущих российских и белорусских организаций и привлечением широкой международной кооперации.

Программа «ЯРТ–ОЯТ», по сути, явится началом принципиально нового Атомного проекта № 2, в результате реализации которого Россия и Беларусь смогут «обогнать, не догоняя» весь мир. В отличие от Атомного проекта №1, нацеленного в первую очередь на военные приложения энергии атомного ядра, Атомный проект № 2 нацелен на исключительно мирное использование энергии атома. При реализации схемы ЯРТ в промышленном масштабе ядерная энергетика станет доступной всем без исключения странам, сняв проблему нераспространения на детерминистском уровне.

При наличии адекватного финансирования и реализации соответствующих масштабу проекта организационных принципов Программу «ЯРТ–ОЯТ» можно реализовать за 3–4 года, после чего в течение 6–8 лет создать первый демонстрационный опытно-промышленный блок ЯРЭС. В завершение скажем, что события на АЭС «Фукусима-1» позволяют надеяться на кардинальное изменение стратегии развития ядерной энергетике в мире. Очевидно, что ЯРТ-энергетика может и должна стать ключевым элементом этой стратегии. Промедление с принятием решений о проведении масштабных работ в этом направлении чревато потерей ее ключевых технологий просто в силу естественного ухода из жизни их носителей.

http://www.ng.ru/science/2011-05-25/14_electropoison.html