

ПЕРСПЕКТИВЫ ЯДЕРНОЙ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Н. А. Корбут, М. В. Малько, Г. Г. Маньшин, В. Н. Сорокин, В. В. Сорокин
МНОО «МАИТ», ОИЭ и ЯИ – Сосны НАН Беларуси», г. Минск.

Широкое использование ядерной энергетики сдерживается из-за серьезных недостатков, присущих работающим и проектируемым ядерным реакторам. Важнейшими из них являются:

- возможность протекания неконтролируемой цепной реакции, из-за наличия в активной зоне реактора сверхкритического количества делящегося вещества. Следствием этого принципиально неустранимого технического свойства являются взрывы с полным уничтожением реактора, как это случилось на американской АЭС Три-Майл-Айленд и советской подводной лодке в августе 1985 г. (корпусные водяные реакторы) и на реакторе Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. (канальный реактор) [1].
- высокий уровень остаточного тепловыделения в активной зоне, что при недостаточном охлаждении может привести к ее плавлению даже в случае остановленного реактора [2];
- образование в реакторе большого количества радиоактивных изотопов, которые при попадании в окружающую среду могут стать причиной облучения значительного количества населения даже за сотни километров от реактора [1,2];
- высокая стоимость реактора и инфраструктуры, которая требуется для локализации аварийных выбросов в пределах территории атомной станции [1];
- производство на реакторе делящихся веществ (плутоний), которые могут быть использованы для создания атомного оружия вплоть до атомных взрывных устройств [1, 2].

Кроме того, рыночная стоимость урана-235 – топливной основы современной атомной энергетики – очень быстро росла в последние годы.

Данные обстоятельства поставило задачу перед специалистами – разработать и предложить обществу новую структуру ядерной энергетики и, прежде

всего, создать экономичный, безопасный ядерный реактор, работающий на уране-238 и/или тории-232, запасы которых на Земле практически неисчерпаемы, а также реактор для накопленных сегодня долгоживущих радиоактивных изотопов в короткоживущие изотопы [3].

Не вызывает сомнения, что данная задача может быть решена. Исследования, выполненные в различных странах мира, показывают возможность создания безопасной ядерной энергетики на основе подкритических ядерных систем, управляемых ускорителем [4, 5] (ADS в англоязычной аббревиатуре).

Идея впервые высказана во времена бурного развития физики ускорителей еще в 50 годах. По причинам технологического характера на практике реализована не была. К ней вернулись существенно позже – в начале 90 годов. Интерес к новым энергетическим технологиям будировал нобелевский лауреат по физике Карло Рубиа (Италия), в недавнем прошлом директор ЦЕРН (Швейцария). Несмотря на явное противодействие «реакторного сообщества» ему удалось создать довольно сильную группу единомышленников, результатом работы которой стало повсеместное увлечение проектом «усилителя энергии» (energy amplifier). В США, Евросоюзе и Японии работы идут полным ходом. Исследователи сконцентрированы на трех направлениях – создании ускорителя, разработке реакторного блока, работе по конструкционным материалам и теплоносителю. По всем направлениям участие ученых и инженеров союзного государства самое активное.

Суть зарубежного предложения состоит в генерации протонами с энергией 1 ГэВ нейтронов в свинцовой мишени большой массы и использовании их в поджигании реакции деления в окружающем мишень реакторном блоке. Загрузка реактора может осуществляться любыми делящимися материалами, в том числе, и торием, что в программе Рубиа отражено отдельным разделом исследований. При этом вопрос ухода от урана-235 и плутония-239 никогда не поднимался. Наоборот, по идее разработчиков, все реакторы должны сжигать

уран-235 и оружейный плутоний-239, который пока неясно, куда девать, так как соответствующего топливного цикла пока на практике нет.

Цифра в 1 ГэВ является для европейского и японского проектов значимой. Экспериментально установлено, что максимум выхода нейтронов из свинцовой мишени (на единицу вносимой протоном энергии) приходится как раз на 1 ГэВ. Средняя энергия, затрачиваемая на создание одного нейтрона (с учетом энергии связи его в ядре свинца), составляет 8-10 МэВ. Полные энергетические затраты 1 ГэВ-ного протона на образование нейтронов составляют примерно $30 \times 10 = 300$ МэВ или около 30%. Однако, в рамках этой (ADS) схемы при 1 ГэВ-ном протоне невозможно достичь положительного энергобаланса системы без использования урана-235 или плутония-239.

Здесь уместно отметить, что предмет ADS отличается известной сложностью, так как требует объединения знаний реакторной физики (а это низкие энергии, ограниченные уровнем примерно 10-20 МэВ) и физики высоких энергий. Вероятно, это является основным мотивом постоянного неприятия мнений оппонентов из двух «партий». На Западе это неприятие уже успешно преодолено.

Предлагаемый нами проект релятивистской тяжелоядерной (ЯРТ) энергетики существенно отличается от проекта ADS.

Основа отличия – удаление промежуточного звена – свинцовой мишени, то есть генерация нейтронов, как первичных, так и вторичных непосредственно в активной зоне из природного тория, обедненного или природного урана. При этом предлагается также повысить энергию пучка до 10-50 ГэВ. Это позволяет повысить долю энергии первичного протона, идущую на нейтронообразование (по экспериментальным данным уже при энергии первичного протона 3,7 ГэВ на нейтронообразование идет 46% энергии, а при 10 ГэВ по балансовым оценкам – 66%) и сместить спектр нейтронов в более жесткую область. Тем самым значительно увеличивается коэффициент усиления, в частности и за счет затухающей цепной реакции деления. Особо отметим, что торий в тепловом и, даже, в быстром реакторах использован как топливо быть не может.

Нейтроны с энергией более 10 МэВ называются релятивистскими.

В случае использования релятивистских нейтронов от внешнего источника не требуется помещение в активную зону реактора сверхкритического количества ядерного топлива и материалов, компенсирующих этот избыток делящегося вещества. В силу данного обстоятельства, ядерные реакторы на релятивистских нейтронах исключают возможность развития неконтролируемой цепной реакции, подобной цепной реакции, протекающей в атомной бомбе. И в этом коренное различие реакторов, используемых в настоящее время, и реакторов на релятивистских нейтронах. Важно и то, что этот тип реакторов на порядок снижает уровень наработки изотопов плутония, которые могли бы быть использованы для создания атомной бомбы, а также долгоживущих радиоактивных изотопов, которые могут повышать радиоактивность окружающей среды и количество заболеваний у населения. При взаимодействии нейтронов с энергией более 10 МэВ с тяжелым ядром (например ^{232}Th , ^{238}U), вследствие симметричного деления этих ядер образуются в основном стабильные изотопы индия, олова, сурьмы и др.

Таким образом, отсутствие долгоживущих радиоактивных изотопов, в том числе актиноидов, снимает проблемы нераспространения ядерного оружия и радиоактивного заражения среды при диверсиях, резко повышает коммерческую жизнеспособность, решает проблему топлива (используются отвалы ^{238}U).

Отличительной особенностью ядерных реакторов на релятивистских нейтронах является наличие ускорителя заряженных частиц, например, протонов, позволяющего создавать потоки таких частиц с энергиями до десятков ГэВ. Частицы, попадая в активную зону, порождают релятивистские нейтроны, которые вызывают цепную реакцию деления изотопов урана-238 или тория-232. Выключение ускорителя приводит к мгновенному прекращению деления этих веществ. И именно это обстоятельство полностью исключает возможность аварии, подобной Чернобыльской аварии, а, следовательно, позволяет создать действительно безопасный ядерный реактор.

Совершенно ясно, что развитие ядерной энергетики на релятивистских нейтронах полностью решает задачи, названные в 2000 году Президентом Российской Федерации В. В. Путиным на саммите тысячелетия в Нью-Йорке: ядерный реактор не должен

- использовать обогащенный уран или плутоний;
- накапливать долгоживущие радиоактивные изотопы;
- накапливать делящиеся изотопы, используемые для создания ядерного оружия.

Реализация схемы ЯРТ энергетики возможна исключительно за счет наличия технологии трехмерного модульного компактного ускорителя протонов на обратной волне (BWLAP/FDC2(3)D в англоязычной аббревиатуре). Ускоритель отличают компактность (установка на 10 ГэВ имеет размеры 50x18x4 м) и высокий КПД) [6].

Основные преимущества ЯРТ энергетики таковы:

атомные реакторы ЯРТ ядернобезопасные;

перегрузка ЯРТ реакторов один раз за сто лет;

ЯРТ реакторы могут работать в маневренном режиме за счет изменения мощности пучка протонов;

ЯРТ реакторы не требуют обогащенного топлива;

ЯРТ энергетика обеспечит отсутствие выбросов радиоактивных газов;

ЯРТ энергетика не требует управления ядерными отходами из-за отсутствия в их составе долгоживущих изотопов;

площадь для размещения ЯРТ станции (ЯРЭС) значительно меньше, чем АЭС равной мощности;

малы затраты на топливо, нет затрат на обогащение, нет затрат на обращение с отходами;

затраты на вывод ЯРТ реактора на три прядка ниже;

ЯРТ энергетика обеспечена топливом на 3-5 тысяч лет; безопасность и надежность на уровне тепловых станций на органическом топливе;

отсутствуют материалы для производства оружия, решаются проблемы нераспространения;

катастрофоустойчивость (включая террористические акты) на уровне тепловых станций на органическом топливе.

Таким образом, ЯРТ энергетика не только полностью соответствует современным концепциям перспективной атомной энергетики (ИНПРО, G IV), но и устанавливает новый качественно более высокий уровень безопасности и технико-экономических параметров, составляющих основу нового рубежа G V.

Литература

1. Кузнецов В. М. Радиационное наследие холодной войны: опыт историко-науч. исследования / В. М. Кузнецов, А. Г. Назаров; Институт истории естествознания и техники им. С. В. Вавилова РАН, Рос. Зеленый Крест. – М.: Ключ-С, 2006. 720 с.

2. Климов А. Н. Ядерная физика и ядерные реакторы. – М.: Энергоатомиздат, 1985. 352 с.

3. Велихов Е. П. Методология ИНПРО и ее соотношение с наукой и реальностью // Бюлл. по атомной энергии. 2007. № 5. С.15.

4. Чужимого К. и др. Система для трансмутации младших актиноидов со свинцово-висмутовым теплоносителем, управляемая ускорителем // Атомная техника за рубежом. 2006. № 9. С.18.

5. Галанин М. В. и др. Теоретические основы релятивистской тяжелой ядерной энергетики // Глобальные проблемы безопасности современной энергетики (материалы международной научной конференции). К 20-летию катастрофы на Чернобыльской АЭС (Москва, 4-6 апреля 2006 г.) – М.: МНЭПУ, 2006. 562 с. С. 402.

6. Бакиров Т. С., Богомолов А. С. BWLAP/FDC3D для релятивистской тяжелой ядерной энергетики // там же. С.414.