

Инновационные технологии и риск ядерного распространения

(Виктор Муругов, для AtomInfo.Ru, опубликовано 24.09.2012)

Введение

Исходные положения данной статьи: роль ядерной энергетики (ЯЭ) - единственного нового источника энергии, освоенного и способного решить проблемы промышленного электроснабжения в глобальном масштабе, будет неизбежно возрастать, как стабилизирующий фактор энергетического и социально-политического развития.

Непредсказуемость рынка органического сырья (прежде всего нефти) и последний финансовый кризис только подчеркивают роль ЯЭ [1].

Для России (как и для других ядерных держав, прежде всего, США) ядерные технологии - не только и не столько элемент энергетического рынка. Это основа нашей экономической, энергетической и политической безопасности. Это основа нашего социального развития:

- ядерная медицина (новый уровень диагностики и лечения важнейших заболеваний: сердечных, раковых и др.);

- повышение эффективности производства и улучшение качества питания, в том числе безопасная для здоровья консервация продуктов питания;

- ядерно-физические методы для улучшения технологии и повышения уровня контроля качества в промышленности;

- развитие науки на основе ядерно-физических методов и приборов: лазеры, ускорители, изотопы [1].

Для России ядерные технологии способны (и реально могут) обеспечить переход к интенсивному способу ведения экономики, от сырьевой экономики - к индустриальной, машиностроительной, где научно-технический потенциал играет роль двигателя общественного и промышленного развития (образование, экология, экономика и культура безопасности), в 4-5 раз увеличивая долю машиностроительного и научного секторов в экономике страны по сравнению с сырьевым [2].

С учётом оборонной доктрины России, основанной на признании ракетно-ядерного "щита и меча", как основы нашей безопасности, можно сказать, что Россия "обречена" на использование и развитие ядерных технологий [2].

Но для успешной реализации перечисленных принципиальных преимуществ ЯЭ надо чётко ответить на вопрос: "Почему эти потенциальные преимущества в полном масштабе не были реализованы на практике?" и "Какие противоречия в развитии ЯЭ заставляют специалистов говорить сейчас не столько о возможном "ренессансе" ЯЭ, сколько о её "выживании" в ряде ведущих "ядерных" стран?".

1. Будущее ЯЭ и инновационные международные проекты

Именно президент России выступил на саммите тысячелетия ООН (2000 год) с инициативой обеспечения энергетической стабильности развития на основе ядерных технологий. Эта инициатива оказалась исключительно своевременной и нашла поддержку мирового сообщества.

В ряде своих резолюций генеральная конференция МАГАТЭ поддержала эту инициативу, рекомендовала организовать на её основе международный проект ИНПРО с участием более 30 стран и включила его в регулярную программу агентства [3].

В резолюциях генеральной ассамблеи ООН приветствовалась инициатива президента России, как "отвечающая чаяниям развивающихся стран и как путь гармонизации отношений индустриальных и развивающихся государств" [3].

Но в процессе реализации этой инициативы (в том числе в рамках работы над проектом ИНПРО и при анализе возможных перспектив развития ЯЭ) стало ясно, что и сама ЯЭ, ядерные технологии должны пройти путь внутреннего ("инновационного") развития [4,5].

Сейчас, после аварии в Японии на АЭС "Фукусима Дайичи", идет обсуждение широкого круга вопросов: от будущего ренессанса ЯЭ до необходимости нового "глобального" режима не только в области нераспространения, но и в сфере ядерной и радиационной безопасности (safety and security).

Обсуждается необходимость создания новых структур, развития инновационных методов управления, обязательных международных стандартов [6].

Но часто забывается, что сами современные ядерные технологии (PWR и BWR, ВВЭР, РБМК и БН) остались на уровне 20-30-летней давности. Более 85% ЯЭ составляют АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами на тепловых нейтронах. Это и есть одна из основных причин стагнации развития ЯЭ в ведущих ядерных странах [1, 7].

Развиваясь на основе традиционных водо-водяных реакторов, современная ЯЭ основывается на ресурсах урана-235, запасы которого на порядок меньше запасов нефти и газа. У такой ЯЭ нет долговременного будущего. О какой стабилизирующей роли ЯЭ в этом случае можно говорить?

Более того, ЯЭ развивается только в одном энергетическом секторе - электроэнергетическом. Но основная масса потребляемых природных ресурсов (органическое топливо) приходится на те сектора (промышленное и бытовое теплоснабжение, транспорт), где вклад ЯЭ незначителен [8, 9].

Остались на уровне опытных и полупромышленных образцов и не получили широкого применения за более чем 60 лет разработок ядерные энергетические установки (ЯЭУ) с высокотемпературными графитовыми реакторами и газовым (He) охлаждением типа HTGR.

Ожидалось, что такие ЯЭУ станут основой атомно-водородной энергетики и обеспечат производство искусственного жидкого топлива, что позволило бы ЯЭ внедриться в решение топливной проблемы для транспорта и участвовать в производстве тепла для промышленности (800°C и выше) [8,9].

Не получили промышленного развития и атомные станции теплоснабжения (АСТ) для производства бытового тепла. В России было остановлено и затем прекращено строительство АСТ в Нижнем Новгороде и Воронеже.

Также не получили широкого развития малые ЯЭУ с очень привлекательными характеристиками для реакторов малых АЭС (до 100 МВт(эл.)) в развивающихся странах и для автономных источников в регионах без энергетических сетей. При этом необходимо упомянуть, что, например, в нашей стране только 12% территории имеют энергетические сети и могут позволить использовать АЭС большой мощности (до 1000 МВт(эл.) и выше).

Интереснейшие зарубежные и отечественные разработки - 4S (Япония), PRISM (США) и другие - остаются на уровне нереализованных проектов, хотя в оборонной сфере (ВМФ - АПЛ) США и Россия/СССР накопили огромный уникальный опыт, построив около 1000 малых реакторов разного типа для АПЛ [1,9].

Возвращаясь к основной проблеме стабильного развития - проблеме неограниченности ядерных ресурсов урана и тория, необходимо подчеркнуть, как и для всех приведенных выше нерешенных проблем ЯЭ: выход есть. Это развитие инновационных технологий, так называемой новой технологической платформы.

Остановимся на этом подробнее, так как традиционно понимаемое развитие данной платформы не только не решает упомянутые проблемы будущего развития ЯЭ, но и может создать проблемы для её полномасштабного развития

1.1. Инновационные технологии , сохранение ядерных знаний, роль научных школ и ядерного образования

Принципиальное, экспериментально обоснованное и апробированное в полупромышленном масштабе решение перечисленных проблем есть, и оно давно известно.

Ещё в 1944 году Энрико Ферми обосновал возможность использования практически неограниченных запасов природного урана и тория на основе развития реакторов на быстрых нейтронах в замкнутом ядерном топливном цикле [10,11].

На сегодняшний день практически общепризнанным является положение, что полномасштабное развитие ЯЭ, способное решить проблему стабильного энергетического развития, возможно только в рамках замкнутого топливного цикла с использованием быстрых реакторов-размножителей.

Именно решение этой действительно глобальной проблемы и поставлено в виде задачи перед ведущими международными проектами ИНПРО (в рамках деятельности МАГАТЭ и по инициативе России) и GIF IV (ЯР четвёртого поколения) - по инициативе США и с участием только ведущих ядерных стран [12].

Задача оказалась намного сложнее, как в научно-техническом, так и в политическом плане, чем это представлялось пионерам развития ЯЭ. Чтобы продемонстрировать это, достаточно кратко обратиться к опыту разработки и создания АЭС с реакторами на быстрых нейтронах.

Научно-исследовательские разработки БР ведутся более 60 лет: в 1944 году Э.Ферми определил концепцию развития БР, в 1946 году был введён в эксплуатацию первый экспериментальный быстрый реактор с плутонием (Clementine, США), охлаждаемый ртутью. В 1951 году было получено первое ядерное электричество на экспериментальном быстром реакторе EBR-1 (США) [11].

В 1964-1968 годах впервые в мире был реализован замкнутый ЯТЦ с пирометаллургической переработкой и повторным использованием актиноидов (урана, плутония и др.) облучённого топлива в рамках JFR (интегрированного ЯТЦ) на реакторе EBR-II с металлическим топливом и жидкометаллическим охлаждением [11].

В СССР/России работы по БР велись с 1949 года под руководством А.И.Лейпунского. Уже в 1956 году был пущен экспериментальный БР-2 (аналог Clementine), а в 1959 году на его месте был пущен БР-5 (5 МВт(тепловых), ФЭИ, Обнинск) - прототип будущих реакторов типа БН (оксидное топливо, жидкометаллическое, натриевое охлаждение).

В 1973 году был пущен первый в мире полупромышленный реактор БН-350 (Казахстан, СССР), а в 1980 году - единственный в мире работающий в настоящее время быстрый энергетический реактор БН-600 (Белоярская АЭС, Россия).

Но в России до сих пор не реализован замкнутый уран-плутониевый ЯТЦ. Ядерные реакторы на быстрых нейтронах типа БН (БН-350 и БН-600) работали и работают в режиме урановых реакторов-переработчиков, сжигающих дефицитный высокообогащённый природный уран (более 20% обогащения).

Решение данной задачи создания нового типа реактора с жидкометаллическим охлаждением потребовало передачи знаний и преемственности как минимум трёх-четырёх поколений учёных, инженеров и технологов.

Там, где это не было осуществлено, знания и опыт в области технологии БР и замкнутого ЯТЦ в значительной мере были утеряны.

Потеря знаний и опыта в этой области - не просто "прямая" экономическая потеря, составляющая десятки миллиардов долларов США. Это реальная научно-технологическая катастрофа, связанная с потерей научной школы и утратой лидерства в этой области развития ЯЭ:

- утрата профессиональных и компетентных кадров;
- потеря системы высшего образования в этой области (прежде всего, профессорского и исследовательского состава);
- потеря экспериментальной базы;
- потеря новых поколений молодых учёных.

Восстановление этих потерь (если оно вообще возможно!) потребует десятилетий упорных усилий государства.

Ключевым вопросом восстановления или создания научных школ, как и реализации инновационной платформы развития ЯЭ, является проблема качества ядерного образования и подготовки компетентного поколения новых специалистов, кадровая проблема.

Масштабный ввод АЭС и других ядерных объектов в новых странах и реализация инновационных проектов в "старых" просто опасны без тщательной проработки и развития ядерного образования, реализации кадровой политики и развития научных школ.

1.2. Проблема ядерного нераспространения: глобальность ядерных технологий и национальный суверенитет

Опыт мирового ядерного сообщества, обобщаемый МАГАТЭ, другими международными ядерными организациями (WNA, WANO, NEA-OECD и др.) и национальными центрами с учетом "обостренного" анализа после тяжёлой аварии на АЭС "Фукусима Дайичи", позволяет надеяться, что основная часть проблем будущего полномасштабного развития ЯЭ может быть решена на базе разработанных на лабораторном и проектном уровне конструкций и технологий, в том числе при решении проблем радиационной и ядерной безопасности, экологических проблем, связанных как с радиационными, так и прямыми тепловыми выбросами в окружающую среду) [6].

Единственная проблема, которая не является только научно-технической и требует политических решений - это проблема ядерного нераспространения. Она обусловлена серьёзной дилеммой: глобальный характер ядерных технологий ("Ядерная авария где-либо есть ядерная беда везде") и национальный характер ответственности - то есть, приоритет национального суверенитета при решении глобальных вопросов [1].

Более того, накал ситуации в ядерном нераспространении в начале нового тысячелетия совпал с новым циклом возобновления интереса к ЯЭ.

С одной стороны, это связано со стремлением к использованию ядерных технологий в новых странах, различных по своему уровню и характеру промышленной культуры.

С другой стороны, проблема осложнится с развитием инновационных технологий: по мере строительства реакторов-бридеров, реализации переработки и повторного использования делящихся материалов, трансмутации, строительства большого числа малых АЭС, роста численности персонала ядерных организаций, увеличения объёма перевозок ядерных материалов и т. п. (см. Табл. 1 и 2) будет возрастать риск распространения "чувствительных" ядерных знаний, материалов, оборудования [1,9].

Таблица 1. Факторы, влияющие на риск распространения [1].

Увеличение масштаба ядерной энергетики

- рост числа атомных станций, в том числе региональных атомных станций малой мощности;

- рост числа предприятий топливного цикла и их номенклатуры;

- увеличение объёмов и транспортных потоков ядерных материалов;
- увеличение объёмов РАО.

Структурные изменения ядерного энергопромышленного комплекса

- расширенное воспроизводство топлива, использование быстрых реакторов-бридеров;
- переработка ОЯТ, рецикл ядерного топлива, замкнутый цикл.

Развитие ядерной энергетики в ныне неядерных странах, которые исторически не подготовлены к обращению с ядерной технологией (ядерная безопасность и гарантии нераспространения)

Таблица 2. Задачи по повышению устойчивости режима нераспространения[1].

Изменения в развивающейся атомной энергетике могут привести к большей доступности ядерных материалов и технологий и повышению риска распространения .

Необходимо разработать новые подходы и внедрить дополнительные меры, обеспечивающие, по крайней мере, сохранение риска на его нынешнем уровне.

Такие меры необходимы во всех сферах, обеспечивающих режим нераспространения:

- политической;
- институциональной;
- технической.

Необходим системный анализ с количественной оценкой риска распространения - как инструмент решения этих задач.

Оба эти фактора неминуемо ведут к повышению рисков хищения делящихся материалов и риска переключения ядерных технологий с мирной на военную деятельность.

Это особенно очевидно с учётом возрастания угрозы ядерного и радиационного терроризма при наблюдаемом расширении сфер возможного приложения ядерной науки и технологий. Недопущение распространения ныне является более актуальным, чем когда-либо ранее.

При этом становится всё более ясно , что только институциональные ,технологические или/и запретительные (контрольные) меры международных организации не создают полной гарантии в особенности с учётом потенциальной опасности терроризма.

2. Международное научно-техническое и политическое сотрудничество - основа решения проблем ядерного нераспространения

С первых шагов освоения ядерной энергии, развития ядерных технологий и создания ядерного оружия основоположники использования энергии атома в мирных целях (Э.Ферми, Л.Сциллард, А.Эйнштейн и др.) предупреждали о глобальных последствиях этого развития.

Наряду с предсказанием важнейшей роли ядерных технологий для будущего они подчёркивали необходимость создания надёжной международной системы ядерной безопасности.

Имеется в виду не только создание соответствующих технологий, гарантирующих безопасное использование ядерной энергии, но и обеспечение режима безопасности с точки зрения недопущения бесконтрольного распространения ядерных технологий и постановки под международный контроль дальнейшего их развития [16].

Наиболее заметный в этом плане след в истории оставила инициатива президента США Д.Эйзенхауэра, выдвинувшего в 1953 году в ООН программу "Атом для мира".

Эта инициатива была поддержана мировым сообществом, в результате чего в 1954 году генеральная ассамблея ООН приняла соответствующую резолюцию в развитие этой программы. Одним из важнейших элементов данной резолюции было решение о создании МАГАТЭ [11].

Ещё до утверждения устава МАГАТЭ (1956 год) и образования самой организации (1957 год) в 1955 году была проведена первая Женевская конференция по мирному использованию атомной энергии, а затем состоялись ещё три подобных форума известных учёных-атомщиков в 1958, 1964 и 1971 годах. Фактически именно они положили начало практическому процессу международной кооперации в мирном использовании атомной энергии.

Ключевым фактором в дальнейшем развитии мирного использования атомной энергии стали разработка (1968 год) и вступление в силу (1970 год) Договора о нераспространении ядерного оружия [3,16].

Параллельно шло создание региональных международных организаций - институтов консолидации национальных усилий и дополнительных гарантий мирного и эффективного развития атомной науки и техники.

В их числе следует назвать агентство по ядерной энергии (NEA) и международное энергетическое агентство (IEA) в странах организации экономического сотрудничества и развития (OECD), Евратом в Евросоюзе и другие.

Глобальный характер развития ядерных технологий отразился в создании ряда специализированных международных организаций, в том числе всемирной ассоциации организаций, эксплуатирующих атомные станции (WANO), всемирной ядерной ассоциации, объединяющей в первую очередь предприятия и организации ядерной индустрии (WNA), всемирного ядерного университета (WNU) и других.

Логичным продолжением этого списка известных международных организаций видится и появление Киотского протокола, являющегося отражением глобального характера промышленного развития, но уже для всей энергетической деятельности человечества [1].

2.1. Интернационализация развития ядерных технологий и межнациональные подходы к ядерному топливному циклу

Создание и развитие глобальных (многонациональных) организаций в области ядерной энергетики шло параллельно с осознанием ключевой роли технологии ядерного топливного цикла с точки зрения проблемы нераспространения.

В 1970-1980 годах интенсивно возникают и обсуждаются идеи, концепции и предложения по международной интеграции именно в области ЯТЦ - например, семинар в Зальцбурге, 1977 год [11]:

- по созданию региональных центров ЯТЦ;
- по международным хранилищам ОЯТ и плутония.

Значительным этапом в процессе обсуждения различных концепций ЯТЦ явилась международная оценка ядерного топливного цикла, проведенная в 1978-1980 годах при активном участии экспертов 18 ведущих стран в области развития ядерной энергетики.

Однако в силу различных причин как политического, так и экономического характера, в том числе в силу слишком важной экономической и политической роли, которую играют ядерные технологии в экономике многих стран, эти дискуссии, обсуждения и предложения до конца XX века оставались практически только на бумаге.

2.1.1. Современное состояние разработки концепции многонационального ЯТЦ

Начало XXI века совпало с рядом важнейших инициатив по реализации международной кооперации в области развития ядерных технологий как основы стабильного энергетического развития человечества (инициатива президента Российской Федерации на саммите тысячелетия ООН в 2000 году и инициатива США, приведшая к организации международного форума GIF IV по разработке инновационных АЭС нового IV поколения и их ядерного топливного цикла) [3,9,15].

Наступало "предчувствие" нового этапа - этапа "зрелого" развития ядерной энергетики [25], развития с учётом ошибок и уроков начального периода, в том числе уроков крупнейших аварий на американской АЭС "Три-Майл-Айленд" и Чернобыльской АЭС. Это потребовало глубокого анализа накопленного не только положительного, но и, в первую очередь, негативного опыта.

С одной стороны, для специалистов-экспертов было ясно, что:

- во-первых, будущее стабильное энергетическое развитие (решение проблем энергетической безопасности) в глобальном масштабе с учётом интересов развивающихся государств (прежде всего, Китая, Индии, Бразилии, Аргентины и др.) невозможно без использования ядерной энергетики. Весьма важно, что при этом учитывались не только энергетические проблемы, а также необходимость решения задач здравоохранения, обеспечения водой и продовольствием, развитие науки, техники и промышленности;

- во-вторых, складывалось понимание, что такие ключевые вопросы будущего развития ядерной энергетики, как безопасность АЭС и установок ЯТЦ, экологические проблемы, в том числе связанные с захоронением радиоактивных отходов и использованием ОЯТ, имеют, в

принципе, реальную техническую основу для их решения. И это является в первую очередь проблемой привлечения финансов, материальных и человеческих (интеллектуальных) ресурсов [9].

Единственной ключевой проблемой дальнейшего развития ядерной энергетики, решение которой неясно даже в принципе, является вопрос нераспространения (Nonproliferation and Security). Это сложнейшая технико-политическая проблема имеет три составляющих, каждая из которых требует своего решения:

- контроль и учёт делящихся материалов (контрольная функция МАГАТЭ),
- технические и инженерные барьеры на пути распространения;
- институционные меры (международные соглашения, конвенции и тому подобные решения).

Постепенно пришло осознание, что практически любые шаги в развитии технологии ЯТЦ можно рассматривать как шаги в направлении потенциальной возможности развития немирного использования ядерных технологий.

В этой связи на первый план выдвинулась проблема обеспечения энергетического развития без распространения технологии ядерного топливного цикла - прежде всего, без обогащения, производства высокообогащённого урана, переработки ОЯТ и использования плутония в выделенном виде) [1,3].

В 2003 году по инициативе МАГАТЭ группа экспертов из ведущих стран в области ядерной энергетики подготовила специальный анализ и опубликовала аналитический доклад "Многосторонние подходы к ЯТЦ" (INFCIRC/640).

Был также опубликован доклад всемирной ядерной ассоциации "Обеспечение гарантий поставок в международном ядерном топливном цикле" и выдвинуты инициативы ряда стран в этой области (США, Россия, Япония, Германия и другие) [9].

Среди многих, три инициативы наиболее полно и всесторонне отражают основные проблемы развития полномасштабной ЯЭ будущего :

- создание международных центров ЯТЦ по обогащению и переработке ОЯТ (Россия);
- создание международных банков ядерного топлива для гарантированного доступа новых государств к продуктам и услугам ЯТЦ (Россия, Германия, всемирная ядерная ассоциация и другие)
- GNEP (Global Nuclear Energy Partnerships) - глобальное ядерное партнерство в области ядерной энергетики, выдвинутое США и поддержанное как международный проект более, чем 20 странами [1,9].

В этой связи возникает естественный вопрос: "Где (и в чём) находится гарантия, что эти инициативы не постигнет участь так и остаться на бумаге, как это уже имело место на предыдущем этапе развития ядерной энергетики?".

Наконец, как разрушить "пассивное" или даже негативное отношение ряда стран к этим последним инициативам, усматривающих в них признаки "дискриминации", несмотря на заявления и утверждения авторов инициатив об их стремлении оказать помощь и поддержку развивающимся странам в мирном использовании атомной энергии?

Как избежать и не повторить судьбу прошлых инициатив?

3. Концепция международных центров ЯТЦ: научно-техническое и политическое решение проблемы ядерного нераспространения и эффективного развития ЯЭ

Кратко резюмируем результаты анализа особенностей ядерных технологий, являющихся одними из сложнейших и уникальных технологий, призванных решить проблемы стабильности развития в будущем.

Сегодня можно утверждать, что задача создания и развития современного ядерного оружия оказалась проще задачи создания современных ядерных энергетических установок и их ЯТЦ.

Как уже обсуждалось выше, развитие будущей полномасштабной ЯЭ невозможно без решения задачи создания коммерческих АЭС с реакторами-размножителями, работающими в замкнутом ЯТЦ.

Подтверждением этого является и тот факт, что среди шести отобранных типов ядерных энергетических установок будущего в рамках международного проекта GIF IV - три типа реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим охлаждением (с лёгким жидкометаллическим теплоносителем (натрием) и с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем (свинец или сплав свинец -висмут)), а также один с газовым теплоносителем (гелий) [1,9,15,16].

Как уже упоминалось, разработки реакторов-размножителей - как в уран-плутониевом топливном цикле с быстрыми реакторами, так и в ториевом цикле с реакторами на тепловых нейтронах - ведутся более 60 лет.

Но до сих пор не существует единой концепции (и её демонстрации!) коммерческого быстрого энергетического реактора в замкнутом ЯТЦ для будущей ядерной энергетики.

Разработка инновационных проектов АЭС (быстрые реакторы и такие, как высокотемпературная газографитовая ЯЭУ для ядерно-водородной энергетики, водо-водяной реактор с сверхкритическими параметрами), включённых в международные проекты ИНПРО и GIF IV, оказалась слишком сложной и дорогостоящей для одной страны - даже для таких стран, как США, бывший СССР, Франция, Япония и другие.

Более того, проблемы здесь не только и не столько в финансовых затратах. Как показал богатый отрицательный опыт - в том числе, последней крупной аварии на АЭС "Фукусима Дайичи" - ядерная энергетика не имеет права на повторение ошибок, приводивших к крупным авариям и, тем более, катастрофам.

Их повторение, как считают специалисты, станет практически концом, а не ренессансом

ядерной энергетики .

Таким образом, разработка и реализация проектов быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ для будущего оказалась задачей не одного поколения. Более того, это задача, решение которой возможно только при наличии соответствующей научно-технической школы, существующей в ограниченном числе ведущих стран в этих областях - например, во Франции, России, Японии, Индии.

В необходимости воссоздания научно-технической школы быстрых реакторов состоит одна из главных причин выдвинутой США инициативы по организации международного форума GIF, где во главу угла поставлена разработка быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ [1,15].

Решение "ресурсной" задачи ЯЭ - создание коммерчески выгодного БР и его замкнутого ЯТЦ - важнейшая, но только одна из задач, стоящих на пути развития полномасштабной ЯЭ.

Например, решение проблемы высокоактивных отходов также носит, как минимум, региональный характер в силу своей сложности, капиталоемкости и специфических природных условий ряда государств - например, в плотно населённых регионах, какими являются Западная Европа, Юго-Восточная Азия и другие.

К глобальным проблемам ЯЭ тесно примыкает необходимость разработки технологии и создания промышленного образца для трансмутации долгоживущих продуктов деления и утилизации актиноидов в быстрых реакторах. Решение аналогичной задачи требуется для реализации ториевого топливного цикла.

Эффективное решение этих глобальных проблем невозможно без международной кооперации, без мобилизации финансовых, материальных и, главное, интеллектуальных ресурсов стран-"доноров", то есть, стран, обладающих необходимым научным и техническим потенциалом, соответствующими научными школами и развитой промышленной инфраструктурой.

Более того, для достижения консенсуса в решении проблемы нераспространения и безопасного развития экологически приемлемого ЯТЦ необходимо показать "профит" от реализации этих инициатив для развивающихся и "малых" стран - например, стран Восточной и Центральной Европы - в рамках всей проблемы долгосрочного развития ядерной энергетики, а не только её ближайших отдельных этапов.

Таким образом, уже в настоящее время целесообразно начать обсуждение, изучение и демонстрацию необходимости и неизбежности (в случае долгосрочного и полномасштабного развития ядерной энергетики) реализации всего комплекса задач на базе международной кооперации на основе реализации международных центров ядерного топливного цикла и глобального партнёрства в области атомной энергии.

Речь идет о создании и развитии [1]:

- международных центров ЯТЦ по обогащению (как это уже предложила Российская Федерация) и снабжению развивающихся и "малых" стран низкообогащённым урановым

топливом;

- международных центров ЯТЦ по приёму возвращаемого облучённого ядерного топлива (ОЯТ) (эта проблема также находится в стадии обсуждения);

- международных центров ЯТЦ по переработке ОЯТ, выделению плутония и обращению с ним;

- международных центров ЯТЦ по производству плутониевого топлива для быстрых реакторов и по утилизации этого топлива в реакторах на быстрых нейтронах;

- международных центров ЯТЦ по наработке в быстрых реакторах (в ториевых экранах) урана-233 и производству на его основе низкообогащённого уранового ("искусственного") топлива для тепловых реакторов: уран-233 + уран-238 (для долговременного обеспечения топливом развивающихся и "малых" стран);

- международных центров ЯТЦ по обращению с ядерными отходами (по захоронению отходов).

Очевидно, что это абстрактное разделение на шесть позиций предполагает разумные комбинации на их основе (например, пункты 2 и 3 - совмещение приёма ОЯТ с его переработкой и производством плутония).

Решение совокупности перечисленных выше задач в комплексе посильно только в рамках международной кооперации, поскольку требует огромных финансовых, материальных и человеческих ресурсов.

Ни одна страна самостоятельно не смогла и не сможет решить этот комплекс задач.

Таким образом, указанная проблема - действительно глобальная цель века. Альтернативой может явиться "расползание" чувствительных ядерных технологий: обогащения, переработки ОЯТ и других с потенциальной возможностью появлением десятка новых ядерных стран к середине столетия.

"Малые" и развивающиеся государства должны увидеть необходимость и свой "профит" от реализации упомянутых инициатив и понять, какие изменения необходимы - то есть, что именно потребуется откорректировать в национальных программах в результате участия в реализации указанных инициатив и что это им даст: "плюсы" и "минусы".

Очевидно, реализация предлагаемого проекта должна сопровождаться следующей аналитической работой:

- по анализу требований к необходимой инфраструктуре будущих стран-участников осуществления конкретных инициатив (ядерное образование, система контроля в передаче знаний, регулирующие органы, инженерная и технологическая база);

- по реализации программы управления и сохранения ядерных знаний под эгидой МАГАТЭ, как для передачи знаний и опыта следующим поколениям специалистов (является самостоятельной проблемой, где ведущую роль уже играет МАГАТЭ), так и в новые

развивающиеся страны.

Успешная реализация обсуждаемых инициатив является ключевым фактором для развития ядерной энергетики в будущем и для её нового этапа - ренессанса ядерной энергетики.

Заключение

Двойственный характер ядерной техники, заключающийся в возможности её использования в равной степени в мирной и военной сфере, является основным противоречием существующего режима ядерного нераспространения и полномасштабного развития ядерной энергетики (ЯЭ) и её топливного цикла (ЯТЦ).

Связанный с этим антагонизм между необходимостью развития гражданской ЯЭ, расширения круга стран и сфер её приложения, с одной стороны, и риском передачи ядерных технологий и делящихся материалов, потенциально применимых в военной сфере, с другой, определяет основную угрозу режиму нераспространения.

Более того, накал ситуации в ядерном нераспространении в начале нового тысячелетия совпал с новым циклом возобновления интереса к ЯЭ.

С одной стороны, это связано со стремлением к использованию ядерных технологий в новых странах, различных по своему уровню и характеру промышленной культуры.

С другой стороны, рост риска связан со стремлением к дальнейшему развитию инновационных технологий: например, ЯЭУ малой мощности для развивающихся стран; реакторов - размножителей, работающих в замкнутом ЯТЦ с переработкой и повторным использованием делящихся материалов, прежде всего плутония, высокоэффективной технологии "центрифужного" обогащения и тому подобное.

Оба эти фактора неминуемо ведут к повышению рисков хищения делящихся материалов и риска переключения ядерных технологий с мирной на военную деятельность. Это особенно очевидно с учётом возрастания угрозы ядерного и радиационного терроризма при наблюдаемом расширении сфер возможного приложения ядерной науки и технологий.

Недопущение распространения ныне является более актуальным, чем когда-либо ранее.

При этом становится всё более ясно, что только институциональные, технологические или/и запретительные (контрольные) меры международных организации не создают полной гарантии в особенности с учетом потенциальной опасности терроризма.

Как отмечается в документах МАГАТЭ, окончательное решение проблемы ядерного нераспространения на сегодня неясно в принципе - как в техническом, так и в юридическом плане. Это наиболее сложный вопрос, стоящий перед полномасштабным развитием стабильной ядерной энергетики.

1) Необходима тесная международная кооперация для решения проблем ядерного нераспространения, например, на основе международных региональных центров ЯТЦ,

реализующих наиболее чувствительные, но необходимые для полномасштабного развития ЯЭ технологии.

2) Исключительно важная роль учебных программ дисциплины "Контроль, учёт и физическая защита" несомненно возрастает (это необходимое условие). Но как и в случае развития "Культуры ядерной безопасности (Safety)" с учётом уроков аварий ТМІ-2, Чернобыля и Фукусимы, актуальной стала проблема развития "Культуры ядерного нераспространения и ядерной безопасности (Security)" в массовом сознании населения и в особенности "властных" структур всех уровней (как достаточное условие).

А, как известно, воспитание достигается в результате процесса образования, в первую очередь, ядерного образования.

3) С этой точки зрения трудно переоценить роль, которую должен играть в этом процессе НИЯУ МИФИ. В процессе реализации программы МАГАТЭ "Культура ядерной безопасности" было осознано, что это проблема не только регулирующих органов, но и разработчиков, проектировщиков, строителей и эксплуатационного персонала.

Аналогичный путь должна пройти и реализация "Культуры ядерного нераспространения". В итоге должны появиться проекты ЯЭУ и ЯТЦ с учётом требований ядерного нераспространения.

Исследователи, проектанты, эксплуатационный персонал и управляющие должны знать и понимать роль, перспективы и задачи развития ядерной энергетики, также основные трудности на пути воплощения ядерной энергетики как основы энергетической безопасности.

Необходим выход на качественно новый уровень ядерного образования, связанный с новым этапом развития ядерной энергетики, в том числе за счёт широкого продвижения на мировой энергетический рынок как отечественных ядерных технологий, так и экспорта услуг отечественного ядерного образования.

Список использованной литературы

[1] - Andrianov A.A., Korovin Yu.A., Murogov V.M. Nuclear Energy as a Basis of Future Energy Security. Moscow. 2010. Pp. 304.

[2] - Murogov V.M., Ponomarev-Stepnoy N.N. Nuclear Technologies are the Guarantee for Russia's Sustainable Development. Nuclear Control. No. 2, 2005, Pp. 75-80.

[3] - V.M. Murogov, A Need of Innovative Reactors and Fuel Cycles, Symposium on International Safeguards: Verification and Nuclear Material Security, IAEA - SM - 367/18/03, October 2001.

[4] - Murogov V.M. A Hazy Nuclear Renaissance. IAEA Bulletin, 48/2, March 2007.

[5] - Murogov V.M., Ponomarev-Stepnoy N.N. et al. IAEA International Initiatives: from Innovative Nuclear Technologies to Increasing Role of Nuclear Education. Nuclear Energy Bulletin. 6/2007, PP. 37-41.

[6] - Guidance for the Application of an Assessment Methodology for Innovative Nuclear Energy Systems (Vols. 1-9), IAEA-TECDOC-CD 1575, IAEA, Vienna, 2010.

[7] - Guidance for the Evaluation of Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles: Report of Phase 1A of INPRO, IAEA-TECDOC-1362, IAEA, Vienna, 2003.

[8] - Methodology for the Assessment of Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles: Report of Phase 1B of INPRO, IAEA-TECDOC-1434, IAEA, Vienna, 2004.

[9] - Guindon S. History and Status of the Generation-4 International Forum. IAEA-CN-108-72, 2003.

[10] - A Technology Roadmap for Generation-4 Nuclear Energy Systems Executive Summary. 2003. GIF-002-00.

[11] - Murogov V.M. Nuclear Technology: History, State and Technical Challenges of Nuclear Power Development. (Course Lectures). ISTC. 2012. 124 p.

[12] - Timerbaev, R.M. International Controls over Nuclear Energy. M. PIR Center, 2003.

[13] - Regional Nuclear Fuel Cycle Centers. IAEA, 1977. Report of the IAEA Study Project.

[14] - International Nuclear Fuel Cycle Evaluation (INFCE), IAEA, ISBN 92-0-159180-2, February 1980.

[15] - Cumulated Volumes on International Nuclear Fuel Cycle Evaluation. IAEA. Vienna. STI/PUB/534/ 1980.

[16] - Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle (Expert Group Report to the DG IAEA) Vienna, 2005.

[17] - A. Alonso, V. Asmolov, A. Birkdorf, V. Murogov, N. Ponomarev-Stepnoy, N. Steinberg et al. Never More: Proposals for Achieving the Most Important Objective of Nuclear Safety. Index of Safety. PIR Journal - Center of Russia's Political Investigations. No.3 (98), Vol.17. Autumn 2011. Moscow-Geneva-Montreal. Pp.99-109.