

УЗКИЕ МЕСТА ГЛОБАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО РЕНЕССАНСА

И.Л. Рыбальченко

Совет ветеранов АО Атомпроект, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: i.rybalchenko1@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 02.11.2016; принята к печати 25.11.2016

Реализация программ масштабного развития атомной энергетики в различных регионах мира (ядерный ренессанс) будет во многом зависеть от создания эффективной глобальной системы и инфраструктуры обеспечения ядерной и радиационной безопасности, которая зависит не только от надежности реакторных установок, но и в значительной степени от технических решений по обращению с отработавшим топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами (РАО). Накопление ОЯТ на площадках АЭС не содействует повышению безопасности станций. ОЯТ не следует рассматривать как отходы, а альтернативные замкнутые топливные циклы потребуют пересмотра некоторых действующих нормативов и условий взаимодействия поставщиков этих технологий и потребителей. В обзорной статье рассматриваются различные возможные подходы к решению накопленных проблем глобальной атомной энергетики. Решения могут быть найдены на региональной основе при условии надежной международной кооперации. Новые российские технологии ЯТЦ могут быть положены в основу этих решений и будут содействовать продвижению российских проектов на глобальном рынке ядерной энергетики.

Ключевые слова: атомные станции, реакторные установки, отработавшее топливо, радиоактивные отходы, поставщики, потребители, международные соглашения.

BOTTLENECKS OF GLOBAL NUCLEAR RENAISSANCE

I.L. Rybalchenko

Atomproekt Veteran League, Saint Petersburg, Russia

E-mail: i.rybalchenko1@yandex.ru

The implementation of large-scale nuclear power programs in various regions of the World (nuclear renaissance) critically depends on establishing effective global nuclear safety infrastructure, including safe management of spent nuclear fuel (SNF) and radioactive waste. SNF accumulation at many new nuclear sites in various countries compromises safety. New approaches are needed for SNF management. SNF should not be considered as waste. Alternative technologies, such as closed fuel cycle, are available in principle, but their implementation requires new regulations and a new system of relationships between suppliers and customers and of their responsibilities. Novel Russian nuclear technologies may be proposed for the next phase of global nuclear energy market development

Keywords: nuclear power plants, reactors, spent fuel, radioactive wastes, suppliers, operators, international regulations.

1. Введение

Промышленное развитие в мировом сообществе уже многие десятилетия базируется на интенсивном и неконтролируемом использовании природных ресурсов Земли. Несмотря на прогресс в области промышленных технологий неизбежно накопление отходов промышленности и, как следствие, загрязнение окружающей среды в масштабах, значительно превышающих возможности природы по восстановлению нарушенного равновесия.

В особенности это характерно, по мнению экспертов, для таких базовых отраслей промышленности, как металлургия и энергетика.

Общепризнано, что АЭС¹ не дают выбросов парниковых газов и в перспективе могут работать на возобновляемом энергетическом сырье. Имеются достаточно многочисленные обоснования того, что при нормальной эксплуатации АЭС обладают значительными преимуществами по малому влиянию на окружающую среду по сравнению с другими традиционными источниками энергии.

В этой ситуации, казалось бы, создаются хорошие предпосылки для масштабного развития атомной энергетики на новом этапе (если это потребуется).

Реализация программ масштабного развития атомной энергетики в различных регионах мира, то есть реальный «ядерный ренессанс», будет во многом зависеть от создания эффективной глобальной инфраструктуры обеспечения ядерной и радиационной безопасности. До сих пор сохраняются отголоски аварий на ядерных установках в Виндскэйле, Челябинске, Гаррисберге, Чернобыле. К этому добавились проблемы с расплавлением активных зон на блоках АЭС Фукусима-1 со значительными выбросами радиоактивности в окружающую среду. Кроме того, аналогичные проблемы возникли на Фукусиме и в приреакторных хранилищах ОЯТ в связи с потерей охлаждения в бассейнах выдержки.

Доказать и убедить общественность, что каких-либо аварий на АЭС в будущем не случится, практически невозможно. В любом случае вероятность потенциальной аварии не будет равна нулю. Но техническими мероприятиями, а также конструктивными и проектными решениями по реакторным установкам нового поколения отрицательное воздействие на окружающую среду при эксплуатации этих установок может быть сведено к приемлемому минимуму.

¹ Принятые сокращения:

АЭС – атомная электростанция;

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;

РАО – радиоактивные отходы;

ЯТЦ – ядерный топливный цикл;

ЯРБ – ядерная и радиационная безопасность;

ЯДМ – ядерные делящиеся материалы.

По данным Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ)², на конец 2015 г. в 30 странах эксплуатируются 442 атомных энергоблока общей мощностью около 382 ГВт (в том числе в США – 99, Франции – 58, Японии – 43, России – 35, Китае – 31, Корее – 23 блока).

Еще более шестидесяти блоков находятся в различных стадиях строительства в ряде стран, в основном в Китае – 24, России – 8, Индии – 6, Корее – 5, США – 5.

При этом за последние годы число окончательно остановленных выработавших ресурс блоков составило более 150 (в таких странах, как США, Великобритания, Германия, Франция, Россия).

А число блоков, приближающихся к проектным срокам эксплуатации, неуклонно растет: около 50 блоков приближаются к 30 годам работы, около 30 блоков отрабатывают 40-летний срок.

Ситуацию с выбыванием пытаются компенсировать за счет продления назначенных сроков эксплуатации энергоблоков, тем более что практически все действующие блоки проходят модернизацию для повышения надежности и тесты на безопасность.

Таким образом, можно условно отметить, что в ближайшие годы завершается первая фаза в мировой атомной энергетике на базе реакторных установок 1–2 поколений, которая, тем не менее, оставляет нам клубок нерешенных проблем в виде **«атомно-энергетического наследия»**.

Это **«наследие»** включает необходимость создания инфраструктуры демонтажа остановленных атомных блоков, удаления (захоронения) РАО, как образовавшихся при эксплуатации, так и тех, которые станут результатом демонтажа реакторных установок, утилизации оборудования и конструкций, а также решения долговременных проблем обращения с ОЯТ (или с выделенным «энергетическим» плутонием и другими долгоживущими радионуклидами).

2. Глобальный «ядерный ренессанс» – будет ли он?

Возможности дальнейшего широкомасштабного развития атомной энергетике, то есть «ядерного ренессанса», обусловлены ожиданием сохранения устойчивого спроса на потребление энергии и возникновением новых потенциальных потребителей энергии в ряде развивающихся стран, которые ранее не были связаны с атомной энергетикой, а также требованиями к энергетике по сокращению выбросов углекислого газа.

Прогнозы компетентных международных организаций по масштабам развития атомной энергетике для разных сценариев показывают возможность увеличения количества новых атомных энергоблоков в 1,5–2 раза. Однако существуют и негативные оценки возможностей роста мощностей атомной генерации, которые связаны как с меньшими потребностями промышленности, так и с реальными возможностями действующих поставщиков по сооружению атомных энергоблоков на конкурсной основе в новых условиях.

В любом случае атомная энергетика на долгосрочную перспективу сохранит свое относительно скромное, но в то же время значимое место в производстве электроэнергии как для развитых, так и для развивающихся стран.

При этом отмечается, что новые атомные энергетические программы потребуют иных стратегических решений, чем это было на первых этапах становления атомной энергетике на базе созданных в ряде стран военных ядерных технологий.

Это связано с тем, что основными заказчиками новых АЭС становятся развивающиеся страны, которые не имеют какой-либо инфраструктуры атомной промышленности и квалифицированного персонала для управления и контроля создания и эксплуатации новых сложных технологических объектов.

Следует также отметить, что планы строительства атомных энергоблоков на ближайшую перспективу (2020–2030 гг.) базируются на возможности сооружения блоков с модернизированными водоохлаждаемыми реакторными установками на тепловых нейтронах еще 2-го и 3-го поколений.

Эти реакторные установки хотя и имеют более эффективные системы технической безопасности, но по-прежнему характеризуются низкой эффективностью использования делящихся материалов, требуют для своего топлива обогащения природного урана по изотопу 235 и нарабатывают относительно большое количество высокоактивных отходов в форме отработавшего ядерного топлива.

Безопасность атомной энергетике зависит не только от типа реактора и конструкций ядерного энергоблока, но и от инфраструктуры обеспечения услуг ядерного топливного цикла. Только небольшое число стран имеет развитую инфраструктуру ядерного топливного цикла, включающую как изготовление свежего топлива, так и современные технические средства и установки по обращению с отработавшим топливом и радиоактивными отходами. Накапливаемый в реакторах плутоний, а также долгоживущие радионуклиды создают основные трудности в решении проблемы обращения с отработавшими в энергетических реакторах ядерными материалами. В облученном ядерном топливе остается неиспользованными около 94% изотопов урана, а также накапливается около 1% плутония.

Проблема заключается в том, что:

- отработанное ядерное топливо или неиспользуемые продукты его переработки как опасные радиоактивные материалы в соответствии с действующими международными соглашениями должны быть надежно изолированы от биосферы на весь период, пока они создают опасность, а это период в тысячи лет;
- ОЯТ содержит в себе плутоний, включенный в основной список ядерных материалов, подлежащих учету и контролю в международных организациях;
- ОЯТ на длительный период остается высокорadioактивным материалом, а его склады (хранилища), в принципе, могут представлять собой источник радиологической опасности для значительной территории как в случае техногенной аварии на хранилище, так и в случае террористической акции.

Эксплуатация АЭС связана с образованием и накоплением радиоактивных отходов среднего и низкого уровня активности. Вывод атомных энергоблоков из эксплуатации будет также приводить к накоплению большого количества радиоактивных отходов различного уровня активности и различного агрегатного состояния (в основном твердых отходов низкого уровня активности).

² <https://www.iaea.org/publications/reports>

Без надежного решения проблем кондиционирования и окончательного удаления РАО с изоляцией их от биосферы реализация новых масштабных атомно-энергетических программ практически невозможна.

3. Как решаются долгосрочные проблемы РАО

В большинстве стран, активно развивающих атомную энергетику, в основном разработаны как технические основы, так и организационные и финансовые механизмы обращения с ОЯТ и РАО.

Хотя в основу организационно-финансовых схем решения проблем РАО закладывается принцип «платит загрязнитель», тем не менее, возрастает роль государственных структур в регулировании и контроле. Очевидно, это связано с тем, что решение проблем ОЯТ и РАО и создание хранилищ-могильников имеет долгосрочный характер и связано с проблемой вывода из эксплуатации радиационно-опасных объектов в будущем.

Новые планы развития атомной энергетики во многих странах неизбежно базируются на реакторах 3-го поколения (усовершенствованные конструкции действующих АЭС), которые в части ОЯТ не отличаются во многом от действующих реакторов, то есть в перспективе темп накопления ОЯТ будет возрастать, и необходимость решения проблем хранения и переработки ОЯТ также остается весьма актуальной.

Хотя и считается, что технологии переработки и кондиционирования РАО хорошо развиты и достаточно надежны, тем не менее, имеются реальные возможности их эволюционной модернизации для сокращения объемов (например, ионоселективная очистка от радионуклидов цезия, осушка радиоактивных пульп с ионообменными смолами или солевых концентратов и др.). Для некоторых АЭС требуется решение вопросов удаления радиоактивного «реакторного» графита.

Что касается ОЯТ, то перевод его в «захораниваемые» РАО вряд ли может считаться надежным и безопасным решением.

Ряд стран Евросоюза, в том числе и малые, используют атомные энергоблоки для восполнения потребностей в электроэнергии. Однако в большинстве эти страны имеют ограниченные возможности решения проблемы накопленных ОЯТ и РАО в долгосрочной перспективе.

Некоторые малые страны Евросоюза пытаются найти решение на основе многосторонних подходов, то есть объединения усилий по созданию долговременных геологических хранилищ.

Ряд малых европейских стран рассматривает возможность использования какого-либо международного центра для хранения и захоронения ОЯТ и РАО, образующихся при эксплуатации АЭС в этих странах. При этом ожидается достижение следующих преимуществ: экономические выгоды, повышение надежности, безопасности и физической защиты, минимизация негативного воздействия на окружающую среду.

Под эгидой ассоциации ARIUS³ (Association for Regional and International Underground Storage – Ассоциация ради подземного хранения регионального и международного уровня) восемь европейских стран рассматривали два возможных подхода к достижению этой цели:

- создание своими силами регионального хранилища-могильника при долевым участии заинтересованных сторон;
- использование международного хранилища-могильника, созданного в каком-либо большом ядерном государстве на условиях предоставления услуг для этих стран.

Ассоциация ARIUS в рамках международного проекта SAPIERR⁴ (Support Action Pilot Initiative for European Regional Repositories – Начальная инициатива по действиям в поддержку региональных европейских захоронений) прорабатывала возможность создания такого регионального хранилища для группы стран Европейского союза, имеющих небольшие мощности действующих АЭС.

Предложены концептуальные технические решения по кондиционированию РАО и ОЯТ, включая их капсулирование (то есть размещение в контейнере, предназначенном для захоронения), и по созданию подземного хранилища в геологической формации.

Выполнена предварительная экономическая оценка затрат на создание хранилища (могильника) для вариантов с национальными проектами в каждой стране (суммарные затраты ~14 млрд €) и варианта объединенного регионального объекта (возможные затраты ~ 6 млрд €).

Показаны преимущества концепции многостороннего варианта регионального хранилища как с экономической точки зрения (возможная экономия финансовых средств ~8 млрд €), так и с точки зрения технологии, безопасности и нераспространения ядерных материалов.

Разработаны предложения по продолжению работ, а также по вовлечению в проект других стран с развитой инфраструктурой ЯТЦ как потенциальных провайдеров услуг по решению проблем удаления РАО и ОЯТ для таких стран.

Однако реализация этих намерений затруднена из-за законодательных ограничений на ввоз и вывоз радиоактивных отходов в большинстве стран Евросоюза, даже с учетом новых Директив Еврокомиссии, допускающих возможность согласованных решений по созданию единого хранилища для двух-трех стран Евросоюза.

Задержки с решением этих вопросов в организационной и экономической плоскости и являются «узкими местами» в реализации планов дальнейшего масштабного развития атомной энергетики.

Скорее следует рассматривать эти планы сооружения АЭС в новых странах как вторую промежуточную фазу развития мировой атомной энергетики с одновременным решением упомянутых накопленных проблем ОЯТ и РАО.

Реальным прогрессом все же является принятие согласованных принципов и требований к окончательной изоляции РАО от биосферы и к конструктивным решениям пунктов хранения (захоронения) с учетом уровня активности отходов. Для реализации этих программ во многих странах сформированы специализированные организации. Однако реальное сооружение объектов для окончательного удаления (захоронения) РАО в большинстве стран откладывается на отдаленную перспективу (2040–2060-е гг.).

⁴ https://ec.europa.eu/research/energy/print.cfm?file=/comm/research/energy/fi/fi_cpa/waste/article_2526_en.htm

³ <http://www.arius-world.org/>

Кроме того, опыт реализации проектов «могильников» РАО показывает, что неизбежно возникают проблемы достижения согласия на размещение таких объектов на выбранной территории со стороны местного населения и «экологической» общественности.

С другой стороны, для могильников высокоактивных и долгоживущих отходов и ОЯТ, рассчитываемых на многие тысячи лет, практически невозможно достоверно доказать безопасность их для биосферы в долгосрочной перспективе.

Возможно, на данном этапе следует отказаться от терминов «ПЗРО» и «могильник» и рассматривать эти объекты как пункты долговременного контролируемого хранения с перспективой их перевода в режим бессрочной консервации

4. Международные аспекты развития глобальной атомной энергетики

В настоящее время в основном установлены международные принципы обеспечения безопасности при эксплуатации ядерных энергетических установок и при обращении с ОЯТ и РАО. В МАГАТЭ разработан комплекс норм и стандартов безопасности, в том числе в сфере обращения с ОЯТ и РАО. Разработаны рекомендации по созданию национальной системы обращения с радиоактивными отходами и выпущена серия публикаций по проектированию, строительству и эксплуатации хранилищ РАО различного типа.

На международном уровне принят ряд конвенций по обеспечению безопасности эксплуатации АЭС (по ядерной безопасности, по физической защите, по ответственности за ядерный ущерб и др.). В комплексе с национальными законами и стандартами по обеспечению радиационной безопасности и обращению с РАО этих нормативов и рекомендаций вполне достаточно для реализации технической политики в любой стране или регионе, где это необходимо.

В течение многих десятилетий ведется работа по усовершенствованию международной системы учета и контроля ядерных материалов. Однако вряд ли ужесточение контроля и применение доступных мер воздействия могут дать абсолютную гарантию «нераспространения» ядерных технологий при масштабном развитии атомной энергетики в развивающихся странах на основе сегодняшних технологий.

Экспертами признается, что необходима «технологическая защита ЯТЦ» и новые правила доступа к ядерным технологиям, основанные не только на политических, но также на экономических рычагах. Рассматриваются и рекомендуются такие меры, как лизинг ядерного топлива, лизинг атомных энергоблоков малой и средней мощности (в том числе плавучих и транспортабельных АЭС) и др.

Концепция создания системы Международных центров ядерного топливного цикла (ЯТЦ) обсуждается уже несколько десятилетий, однако до сих пор она не реализована. В рамках международной группы экспертов разработаны предложения по многосторонним подходам. Проанализированы возможные варианты решения вопроса. Опасения ядерных держав относительно возможности широкого распространения «чувствительных» ядерных технологий за пределы ограниченного круга стран, с одной стороны, и объективная необходимость развития атом-

ной энергетики во многих регионах мира, с другой, вновь заставляют обратиться к теме многостороннего атомно-энергетического партнерства.

Все это происходит на фоне многолетней практики международной кооперации по поставкам ядерных материалов и предоставлению услуг ядерного топливного цикла для многих стран. Влияние глобализации мировой экономики весьма существенно сказывается на развитии международных корпоративных связей и рынка ядерных материалов и услуг ЯТЦ. В этой сфере создано достаточно много искусственных ограничений на поставки ядерных материалов и на освоение ядерных технологий. Кооперация производителей и поставщиков жестко регулируется международными соглашениями. Несмотря на то что многие страны эксплуатируют атомные энергоблоки уже длительное время, только несколько стран имеют развитую инфраструктуру ядерного топливного цикла.

Таким образом, страны разделены на группы «поставщиков» и «потребителей» и обладают неравными правами.

Создание сети международных центров ЯТЦ, усилив это разделение, позволит, с одной стороны, укрепить режим «нераспространения» и «безопасность», а с другой – даст возможность «потребителям» участвовать в процессе на определенных условиях. Вполне очевидны стимулы к созданию таких международных центров для решения острых проблем энергообеспечения при одновременном улучшении экологии и безопасности.

Однако на пути реализации этих идей имеются препятствия и трудно решаемые проблемы. Эти трудности могут быть связаны с различными аспектами – технологическими, экономическими, политическими, юридическими, социальными.

Ряд развитых стран активно сотрудничает в международных программах по созданию реакторных установок 4-го поколения. Цели этих программ – разработка и внедрение инновационных ядерных реакторных технологий, позволяющих существенно повысить эффективность использования делящихся материалов, уменьшить количество опасных долгоживущих радиоактивных отходов, а также обеспечить «защищенность» ЯДМ от возможности «переключения» для использования в целях создания ядерного оружия.

Ведущиеся разработки этих установок находятся в различных стадиях реализации. На подходе к демонстрационной стадии находятся разработки установок с реакторами на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем. Однако реализация даже этих проектов для коммерческого использования ожидается после 2030 г.

Внедрение нового поколения реакторов на быстрых нейтронах с технологическим комплексом замкнутого топливного цикла, составляющим «Новую технологическую платформу атомной энергетики», позволит в значительной мере решить проблемы ОЯТ и РАО атомной энергетики нового поколения, в том числе и проблемы обеспечения гарантий «нераспространения» ядерных материалов и технологий.

Однако нерешенными остаются многие конкретные вопросы обращения с ОЯТ и РАО при реализации проектов сооружения новых АЭС, особенно в

странах, впервые встающих на путь внедрения атомной энергетики.

Под эгидой МАГАТЭ разработан ряд предложений по применению многосторонних подходов и партнерства для решения указанных проблем в ядерной области, в том числе:

- гарантированные поставки услуг без участия во владении предприятиями ЯТЦ;
- превращение существующих предприятий ЯТЦ в многонациональные;
- строительство новых предприятий ЯТЦ с совместным владением партнерами.

При этом следует иметь в виду, что в разных странах мира для производства природного урана, его обогащения по изотопу 235 и по фабрикации топлива имеется достаточно мощностей для текущих потребителей. Мощности по радиохимической переработке ОЯТ и рециклу урана и плутония весьма ограничены. Услуги же по обращению с ОЯТ и РАО в международном масштабе практически отсутствуют.

Считается, что в рамках предлагаемого партнерства возможно владение и управление совместными установками как для начальной стадии (обогащение урана, изготовление топлива), так и для конечных стадий ЯТЦ (обращение с ОЯТ, захоронение РАО).

Можно вспомнить, что изначально идеи решения проблем ЯТЦ на основе международной кооперации содержались еще в программе Д. Эйзенхауэра «Атомы для мира» 1953 г. Но кроме создания международной организации МАГАТЭ каких-либо продвижений в этом направлении сделано не было (если не считать разработки концепций международных хранилищ ОЯТ и плутония).

И только сейчас практическим шагом в этом направлении можно считать российские инициативы по созданию «Глобальной инфраструктуры мировой ядерной энергетики», включая систему международных центров по предоставлению услуг ЯТЦ под контролем МАГАТЭ и на основе не дискриминационного доступа⁵.

Создание в России Международного центра по обогащению урана (МЦОУ) на базе Ангарского ЭХЗ является первым элементом такой системы. На последующих этапах предполагается расширение международного сотрудничества по инновационным технологиям ядерных реакторов и их топливных циклов. Однако практических шагов по созданию международных центров для заключительных стадий ЯТЦ пока не сделано.

Аналогичная по целям и задачам американская программа по Глобальному партнерству (GNP) не была запущена и не привела к каким-либо практическим действиям в этом направлении. Однако влиятельная комиссия американских экспертов (Blue Ribbon Commission, BRC) рекомендовала Правительству США комплекс мер в целях восстановления мирового лидерства в атомной энергетике, в том числе и ряд решений по ОЯТ и РАО.

США долгое время занимали глобальное лидирующее положение в разработке ядерных технологий и технической политике в сфере ядерной безопасности и международных гарантий нераспространения. Однако в последние годы неспособность в США решить внутренние проблемы

в части ОЯТ и РАО существенно ограничивают возможность влияния на решение этих проблем за рубежом и в глобальном масштабе в настоящее время.

Комиссия рекомендовала Администрации США «новые» стратегические подходы к решению этих проблем, в том числе:

- создание новой специализированной организации независимой от Департамента энергетики по обращению с ОЯТ и РАО;
- сооружение одного или нескольких геологических хранилищ (могильников) для изоляции РАО;
- сооружение одного или нескольких промежуточных централизованных хранилищ для ОЯТ;
- продолжение активного участия в международном сотрудничестве и кооперации для решения упомянутых проблем в глобальном масштабе.

Комиссия отмечала, что существенную роль в гарантии нераспространения должны играть международные центры ядерных технологий для оказания услуг по поставкам топлива и обращения с ОЯТ и РАО атомной энергетики для развивающихся стран, приобретающих атомные энергоблоки.

Поскольку особую озабоченность в системе гарантий вызывают предприятия по переработке ядерных делящихся материалов, где затруднена система их учета, Комиссия рекомендовала расширить национальные работы по разработке новых эффективных систем учета и контроля ЯДМ.

Необходимость решения проблем «нераспространения» в области ЯТЦ ранее касалась предприятий по обогащению урана и по радиохимической переработке ОЯТ, где выделяются ядерные делящиеся материалы (ЯДМ) в чистом виде, а также хранилищ ОЯТ на АЭС. Аналогичные жесткие требования учета и контроля в меньшей степени касались захоронения ОЯТ и РАО. В рекомендациях Комиссии подчеркивалось, что для хранилищ ОЯТ должны быть также установлены жесткие системы учета и контроля. Не должно быть «забытых» хранилищ ОЯТ в любых частях света без надежных систем контроля и мер по обеспечению безопасности. Комиссия рекомендовала Администрации США проработать вопросы и разработать стратегию «возврата» ОЯТ от АЭС и ядерного топлива, поставляемых из США в другие страны. Эти меры должны уменьшить стремление ряда малых стран к разработке собственных объектов ЯТЦ (сооружение новых предприятий по обогащению урана и радиохимической переработке ОЯТ в новых неядерных странах).

События же на АЭС «Фукусима» вообще привели к идее радикального пересмотра международных нормативов и соглашений в области обеспечения безопасности и надежности атомной энергетики и создания наднациональной нормативно-правовой базы, гарантирующей высокий уровень обеспечения безопасности при эксплуатации АЭС в любой стране мира.

Это особенно актуально сейчас, когда формируется новая архитектура международной кооперации для глобальной атомной энергетики и могут открываться реальные предпосылки создания крупномасштабных центров ЯТЦ, гарантирующих услуги и поставки свежего ядерного топлива, обращение с ОЯТ и РАО и др.

⁵ Развитие глобальной инфраструктуры атомной энергетики. Инициатива Президента РФ от 25.01.06. М.: ФААЭ, 2006.

Отсутствие долгосрочных решений по окончательной судьбе ОЯТ приводит к тому, что идет неизбежное накопление ОЯТ на площадках АЭС. На блоках АЭС мощностью 1000 МВт за год нарабатывается 25–27 тонн ОЯТ, которые до сих пор остаются во временных хранилищах на площадках АЭС или в региональных также временных хранилищах.

Поскольку радиохимической переработке подвергается менее одной трети образующегося ОЯТ, то около 11000–12000 т ОЯТ ежегодно должно размещаться во временных хранилищах. По оценке МАГАТЭ, к 2020 г. будет накоплено около 450000 т ОЯТ, из которых более 300000 т длительное время должно находиться в промежуточных хранилищах (в водных бассейнах или в сухом виде в бетонных каньонах). Это создает определенные проблемы, поскольку необходимо обеспечивать гарантии безопасности на весь период хранения, который выходит далеко за пределы надежности инженерных сооружений.

5. Глобальный рынок атомной энергетики и проблемы РАО

Насколько реален и обоснован «ядерный ренессанс», то есть масштабное строительство атомных энергоблоков в различных регионах мира? На каких типах реакторных установок (РУ) он будет базироваться? Многолетняя «ядерная пауза» после Чернобыля привела к застою на рынке атомной энергетики. Некоторые пионеры-разработчики и поставщики энергоблоков и услуг по ЯТЦ для гражданской атомной энергетики утратили свои компетенции и производственные мощности. В результате на мировой рынок ядерных технологий выходят новые разработчики и поставщики, появляются и новые альянсы Западных и Восточных фирм (Westinghouse-Toshiba, General Electric-Hitachi, Areva-EDF, Китайская корпорация, Корейский альянс и др.). Создаются предпосылки появления жесткой конкуренции для внедрения на рынки в развивающихся странах.

Перспективный рынок развития атомной энергетики может оцениваться на ближайший период на уровне несколько сот миллиардов долларов США. Для его успешного и цивилизованного функционирования в глобальном масштабе должна создаваться новая архитектура атомной энергетики, включая взаимоотношения поставщика и реципиента, условия финансирования, права собственности и т. п.

Рассматривается возможность создания совместных предприятий по эксплуатации АЭС, внедряется система сооружения АЭС по схеме «строй-владеи-эксплуатируй». В процессе сооружения АЭС внедряется практика локализации, то есть использования местных ресурсов по изготовлению оборудования, использования материалов, рабочей силы и др.

Однако на эту архитектуру снова накладываются дополнительные требования по увеличению безопасности эксплуатации атомных энергоблоков. Как реакция на аварию АЭС «Фукусима» (Япония) предлагается ужесточить законодательство по обеспечению безопасности АЭС на международном уровне и сделать его обязательным для всех стран.

Но эти дополнительные меры безопасности не должны ограничиваться только реакторным блоком. Представляется целесообразным, чтобы в странах, которые намерены развивать атомную энергетику,

еще до пуска АЭС в эксплуатацию была создана необходимая инфраструктура обеспечения безопасного обращения с ядерными материалами или условия для ее создания в будущем. Общие требования по созданию комплексной инфраструктуры для новых национальных ядерно-энергетических программ представлены в Руководстве МАГАТЭ SSG-16.

Весьма важно, чтобы было согласованное понимание того, что эта инфраструктура в себя включает, и того, как создание элементов этой инфраструктуры скажется на стоимости сооружения АЭС. Основными элементами инфраструктуры должны быть не только системы контроля, нормативно-законодательная база, кадровое обеспечение и др. Не следует забывать и о долгосрочных проблемах обращения с ОЯТ и РАО, а значит, должны быть проработаны все вопросы обеспечения жизненного цикла АЭС, включая вывод блоков из эксплуатации для реализации концепции от «колыбели до могилы» (from cradle to grave).

В проекте атомного энергоблока, как правило, решаются вопросы временного хранения ОЯТ на 5–10 лет и кондиционирования РАО с временным хранением на площадке до 5–10 лет. Дальнейшая судьба ОЯТ и РАО решается в отдельных документах и соглашениях между поставщиком и заказчиком и может включать долговременное хранение или захоронение. Могут предлагаться и другие варианты решения этих проблем, в том числе возврат ОЯТ поставщику атомного блока или поставщику исходного топлива.

В любом случае, внешняя (за пределами площадки АЭС) инфраструктура должна включать промежуточное хранилище ОЯТ на период 30–50 или до 100 лет, а также хранилища и могильники для РАО различного уровня активности. Причем для высокоактивных и долгоживущих РАО это должны быть геологические хранилища (могильники) глубокого заложения с особыми требованиями к геологической формации.

Кроме того, в государстве размещения АЭС должна быть создана национальная система обращения с РАО и назначен национальный оператор, который в нужные сроки сооружает и эксплуатирует объекты захоронения РАО.

Отдельно следует рассматривать инфраструктуру радиохимической переработки ОЯТ и утилизации плутония и регенерированного урана.

6. Необходимость новых подходов организации глобальной инфраструктуры для решения проблем ОЯТ

Объединенная Конвенция о безопасном обращении с ОЯТ и о безопасном обращении с РАО является международным документом, определяющим требования ЯРБ в этой области. Однако Конвенция не предлагает конкретных мер и позволяет странам выбирать свою линию поведения в рамках регламентированных Конвенцией принципов.

Каким образом на практике реализуется положение не перекладывать решение проблем ОЯТ и РАО на будущие поколения?

Так называемые «отложенные решения» по ОЯТ – долговременное хранение на период 50–100 лет – это и есть в какой-то мере передача решения проблемы в будущее, так как признается, что в настоящее время

«решение» отсутствует или нет возможности реализации альтернативных вариантов. Если нет решения, то возникает вопрос о приемлемости и целесообразности такого проекта.

И если с точки зрения принципов обеспечения безопасности при обращении с ОЯТ и РАО много общего, то с технологической точки зрения – это разные понятия. ОЯТ для большинства владельцев атомных энергоблоков и эксплуатирующих организаций – это действительно отход производства энергии в ядерном реакторе. Но в то же время такое ОЯТ – это потенциально ценное «вторсырье» для других ядерно-энергетических систем.

Кроме того, ОЯТ – это и ядерно- и радиационно-опасный материал с точки зрения «нераспространения» ядерных материалов и технологий, который нельзя просто списывать в отходы. Поэтому к ОЯТ необходим особый подход, и в Объединенной Конвенции следует сформулировать понятие «неперерабатываемого ОЯТ», которое и следует рассматривать как высокоактивные долгоживущие РАО, подлежащие изоляции (захоронению). Мировая практика показывает, что владельцы АЭС или организации, эксплуатирующие атомные энергоблоки, не способны своими силами решить вопрос о долгосрочной судьбе ОЯТ, хотя и должны нести финансовые обязательства по его решению.

А обращение и ответственность за дальнейшую судьбу ОЯТ энергетических водоохлаждаемых реакторов, возможно, следует возложить на поставщиков ЯЭУ и ядерного топлива, которые могут и должны квалифицированно решить технологические вопросы промежуточного хранения ОЯТ и последующей радиохимической переработки с вовлечением ядерных материалов в топливный цикл других ядерно-энергетических систем. В этом случае не потребуется создавать долговременные промежуточные хранилища ОЯТ на площадках АЭС, которым это ОЯТ действительно не нужно. Это будет способствовать уменьшению рисков аварий с ОЯТ на самих атомных энергоблоках.

Целесообразно разработать новые принципы обращения с ядерным топливом, которые должны исходить из того, что любые поставки исходного ядерного топлива для АЭС должны сопровождаться гарантиями возврата ОЯТ после технологического охлаждения в адрес поставщика ЯЭУ и ЯТ (или рекомендуемой ими специализированной организации) для утилизации.

Таким образом, ОЯТ полностью или по большей части в конечном итоге должно быть переработано, а уран и плутоний – утилизированы. Образовавшиеся при переработке высокоактивные отходы должны быть капсулированы и размещены в геологическом хранилище (могильнике). Все технические решения по этим технологиям имеются и могут быть реализованы в ряде стран. Условия обязательного возврата ВАО после радиохимической переработки в страну, где на АЭС было образовано ОЯТ, что практикуется в настоящее время, возможно, следует исключить в некоторых случаях из сегодняшней практики, так как это может быть неприемлемо для новых стран, планирующих строительство АЭС и не имеющих инфраструктуры в области обеспечения ЯРБ.

Реализация проектов сооружения новых АЭС в «малых» странах целесообразна после достижения

соглашений о судьбе ОЯТ с поставщиком ЯЭУ и ядерного топлива.

При этом конечная ответственность за судьбу ОЯТ и ВАО может или должна возлагаться на поставщиков ядерно-энергетических систем (РУ и ЯТ), хотя финансовое обеспечение может оставаться за владельцами АЭС.

Оставлять решение этих проблем на страну размещения АЭС не имеет смысла, так как в большинстве новых стран, желающих размещать на своей территории атомные энергоблоки, надежное их решение недостижимо. Они сами решить эти проблемы не могут в принципе.

Страны и фирмы, производящие и поставляющие на мировой рынок на коммерческой основе ЯЭУ и ЯТ, должны брать на себя обязательства по решению проблем обращения с ОЯТ, захоронения ВАО и выводу ЯЭУ из эксплуатации.

В сегодняшней ситуации найти такие страны и фирмы вряд ли возможно. Однако ответственность поставщиков по этим вопросам должна быть определена и учтена при очередной ревизии нормативных и руководящих документов, в том числе и документа «Принципы поведения экспортеров атомных станций», принятого Брюсселем в мае 2011 г.

В большей степени работать в этих условиях может, наверное, только Госкорпорация «Росатом». Хотя для реализации такой схемы, по-видимому, необходимы альянсы – организация транснациональных (много-сторонних) компаний на базе ведущих мировых разработчиков и поставщиков ядерных технологий.

Корпорация «Росатом» как глобальный лидер по сооружению АЭС во многих странах мира, для повышения конкурентоспособности стремится к достижению наилучших показателей в сравнении со своими глобальными конкурентами. Наиболее актуальными задачами называются сокращение сроков сооружения блоков и сроков проектирования, что необходимо для снижения общей стоимости объекта.

При этом для продвижения проекта на мировой рынок гарантируются возможности реализовать проект и продемонстрировать его наилучшие качества и безопасность (наличие референтности), а также возможность обеспечения длительного жизненного цикла объектов, включая вывод из эксплуатации и захоронение РАО.

Конечным продуктом, поставляемым заказчику в сфере энергетики, является киловатт-час произведенной электроэнергии, и критерием конкурентоспособности является стоимость его генерации. А это включает не только стоимость оборудования, но и стоимость обслуживания, ремонта, поставок топлива, затраты на вывод из эксплуатации, захоронение отходов и др.

7. Заключение

1. Решение долговременных проблем обращения с ОЯТ и РАО должно увязываться со всем комплексом мер по обеспечению ядерной и радиационной безопасности при работе атомно-энергетического и промышленного комплексов, включая завершающий этап демонтажа установок и захоронения РАО. При этом конечная ответственность за судьбу ОЯТ и ВАО может или должна возлагаться на поставщиков ядерно-энергетических систем (РУ и ЯТ), хотя финансовое обеспечение может оставаться

за владельцами АЭС. Оставлять решение этих проблем на страну размещения АЭС не имеет смысла, так как в большинстве новых стран, желающих размещать на своей территории атомные энергоблоки, надежное их решение недостижимо. Они сами решить эти проблемы не могут в принципе.

2. При разработке новой архитектуры безопасности атомной энергетики в целях ускорения решения проблем накопления РАО и ОЯТ целесообразно:

- уточнить некоторые положения Объединенной конвенции по безопасному обращению с ОЯТ и РАО в части условий «захоронения» ОЯТ. Доработать Конвенцию в части возможности и условий утилизации ЯДМ, выделяемых при переработке ОЯТ;
- проработать возможные варианты обращения с ОЯТ и РАО при создании международных или многосторонних центров ЯТЦ (Депозитариев ОЯТ

под международным статусом МАГАТЭ), а также уточнить условия при лизинге ядерного топлива и лизинге блочных (транспортируемых) реакторных установок с определением зоны ответственности поставщиков и заказчиков в части обращения с ОЯТ.

3. В России имеются все необходимые ресурсы (интеллектуальные, технологические, экономические и т. д.) для решения этих проблем, как у себя, так и для мирового атомного сообщества. При реализации таких новых подходов поставщики (ГК «Росатом» или другие фирмы) будут иметь неоспоримые конкурентные преимущества для успешной экспансии на мировой рынок атомной энергетики.

4. Следует также иметь в виду, что задержки с решением окончательной судьбы ОЯТ атомной энергетики будут создавать риски и угрозы для биосферы как в региональном, так, возможно, и в глобальном масштабе.

