

## ОТ ИННОВАЦИОННЫХ ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К ЯДЕРНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ (К 50-ЛЕТИЮ ОБРАЗОВАНИЯ МАГАТЭ)

**В.М. Муругов\*, Н.Н. Пономарев-Степной\*\*, В.В. Артисюк\*,  
Ю.А. Коровин\***

*\*Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,  
г. Обнинск*

*\*\*РНИЦ «Курчатовский институт», г. Москва.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Первые годы нашего столетия ознаменовались рядом важных инициатив Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), имеющих ключевое значение для возрождения и развития ядерных технологий на благо человечества в XXI веке.

Это касается как использования достижений ядерной науки, техники и технологий для преодоления стоящих перед миром насущных проблем, таких как голод, болезни, загрязнение окружающей среды, повышение уровня знаний, «ядерной» культуры в развивающихся странах и сохранение для будущего использования уникальных знаний и опыта ядерных держав.

Значительная часть деятельности Агентства связана с ядерной энергетикой, включая все ее аспекты, важные для решения проблемы стабильного энергетического развития человечества.

Венцом оценки значения и результатов работы МАГАТЭ стало присуждение в 2005 г. этой организации и ее нынешнему главе – Генеральному директору МАГАТЭ доктору Эль-Барадеи Международной Нобелевской премии мира.

И это не только признание прошлых исторических достижений этой международной организации. Это – дань деятельности Агентства в современном мире в широком спектре проблем: от участия в решении острых злободневных проблем, связанных с гарантиями мирного использования ядерной энергии, до новых инициатив, прорывных начинаний в деле оказания поддержки устойчивому развитию человечества в рамках наиболее приоритетной программы ООН «Agenda XXI» («Повестка дня на XXI век»).

В этой связи необходимо отметить новые инициативы Агентства в области развития инновационных ядерных технологий, сохранения ядерных знаний и поддержки ядерного образования. Важно подчеркнуть, что эти инициативы во многом используют прошлый отечественный опыт СССР (России).

### **МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ МАГАТЭ**

Речь идет о Международном проекте МАГАТЭ ИНПРО (INPRO) – по развитию инновационных концепций атомных станций (АЭС) и их ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Международный проект МАГАТЭ ИНПРО (INPRO) создан в ответ на выступления Президента России в 2000 г. на Саммите Тысячелетия ООН с инициативой обеспечения энергетической стабильности мира на основе развития ядерных технологий. Эта инициатива предусматривает развитие инновационных ядерных тех-

нологий реакторов и топливного цикла, открывающих миру принципиально новые перспективы жизни при снижении риска распространения наиболее «чувствительных» материалов и технологий. Членами ИНПРО на сегодняшний день являются 29 стран – членов МАГАТЭ.

Реализация международного проекта ИНПРО позволила объединить усилия экспертов стран-членов МАГАТЭ и разработать требования и критерии дальнейшего развития ЯЭ. Эта инициатива МАГАТЭ оказалась исключительно своевременной и нашла поддержку мирового сообщества: в 5 резолюциях Генеральной конференции МАГАТЭ и в 3 резолюциях Генеральной Ассамблеи ООН приветствуется инициатива МАГАТЭ как «отвечающая чаяниям развивающихся стран и как путь гармонизации отношений промышленных стран с развивающимися странами».

Реализация проекта ИНПРО показала необходимость и своевременность международной кооперации по разработке и реализации инновационных ядерных технологий.

В настоящее время реализация проекта ИНПРО стала составной частью регулярной программы МАГАТЭ (до этого он развивался на основе добровольного вклада стран-участниц, в первую очередь – России) и объединила в своем составе как страны, только планирующие развитие ЯЭ, так и ведущие «ядерные» «страны-доноры» инновационных ядерных разработок и технологий.

Одним из важнейших основополагающих результатов первого этапа реализации проекта ИНПРО явились выводы из анализа многочисленных прогнозов – сценариев энергетического развития в мире, регионах и ведущих странах. Несмотря на многообразие и различие сценариев будущего энергетического развития был выявлен ряд принципиальных положений, независимых от позиции авторов этих прогнозов. Это:

- рост населения и глобального энергопотребления в мире;
- ужесточающаяся конкуренция за ограниченные и неравномерно размещенные ресурсы органического топлива;
- нарастающая зависимость от нестабильной ситуации в районах стран-экспертов нефти;
- сокращение разрыва в уровне удельного энергопотребления развивающихся и промышленно развитых стран;
- нарастающие экологические ограничения.

В этих условиях роль ЯЭ – источника энергии, освоенного в промышленном масштабе и способного ответить на перечисленные вызовы, будет неизбежно возрастать как стабилизирующего фактора социально-политического развития.

Ядерные технологии не только важнейший элемент энергетического рынка – ядерная наука и технология «пронизывают» и определяют социально-политические, экономические и научно-технические параметры жизни современного индустриального общества. Это:

- «ядерная» медицина, включающая новый уровень диагностики и лечения наиболее распространенных заболеваний – сердечно-сосудистых, раковых и т.д.;
- повышение эффективности сельского хозяйства и улучшения качества питания, в том числе консервация продуктов питания;
- ядерно-физические методы повышения уровня контроля качества в промышленности;
- развитие прикладной науки на основе ядерно-физических методов и приборов, лазеры, ускорители, изотопы;
- развитие технологий производства пресной воды.

Достаточно сказать, что «неэнергетическая» составляющая использования ядер-

ных технологий в современном западном обществе превышает объем бизнеса в ядерной энергетике.

Осваивать и внедрять ядерные технологии недопустимо без должного освоения культуры безопасности. Культура физической и ядерной (safety and security) безопасности ядерных установок, система и режим международной ядерной безопасности – должны стать аксиомой практически во всех сферах техногенной деятельности. Освоение ядерных технологий способствует переходу к интенсивному способу ведения экономики, переходу от «сырьевой» экономики – к индустриальной, машиностроительной, где научно-технический потенциал играет роль двигателя общественного и промышленного развития (образование, экология, экономика и культура безопасности).

Однако крупномасштабная ядерная энергетика сможет сыграть свою ключевую роль в обеспечении стабильного энергетического развития мира только при реализации инновационных технологий и проектов. И это нашло свое отражение не только в заключениях экспертов крупнейшего международного проекта ИНПРО, но и экспертов других международных проектов, в том числе международного проекта GIF: (Международный форум по разработке реакторов IV-го поколения – Generation – IV).

Необходимость крупномасштабного развития ядерной энергетики вытекает из анализа роста мирового энергопотребления с учетом роста напряженности рынка органического топлива. По данным энергетических агентств к 2050 г. ожидается увеличение мирового электропотребления как минимум в 2-3 раза.

В целях компенсации роста напряженности рынка органического топлива и снижения экологического ущерба от выброса продуктов сгорания доля ЯЭ должна вырасти до 30-35%, что означает более чем пятикратное увеличение ядерных мощностей. А если учесть, что более напряженной в энергообеспечении является сфера моторного топлива, а также бытовая и промышленная теплофикация, то потребуются внедрение атомной энергии в эти сферы за счет развития атомно-водородной энергетики и производства искусственного жидкого топлива на основе водорода. В этом случае возможно существенное (в 3-4 раза) увеличение доли ЯЭ в общем энергетическом балансе к концу XXI в.

Значительное увеличение объема ядерной энергетики и расширение сферы ее применения неминуемо требуют разработки и освоения инновационных технологий ядерных реакторов и топливного цикла.

1. Наиболее готовы и будут использоваться в ближайшие десятилетия для быстрого наращивания ядерных мощностей водо-водяные реакторы (типа BWR, PWR или ВВЭР). Однако при их работе в открытом топливном цикле возникнут ресурсные ограничения по экономически приемлемым запасам урана, а также трудности обращения с ОЯТ. В связи с этим потребуются внедрение в ядерную энергетику быстрых реакторов с расширенным воспроизводством ядерного горючего, переработка ОЯТ и повторное использование плутония в быстрых и урана-233 в тепловых реакторах, т.е. замкнутый топливный цикл. Замыкание топливного цикла обеспечит не только решение проблемы ресурса топлива, но и облегчит проблему обращения с опасными долгоживущими актинидами.

2. Расширение сферы применения ядерной энергии в область энерготехнологических процессов потребует разработки и внедрения высокотемпературных реакторов и технологий использования их высокотемпературного тепла для производства водорода и его производных. Кроме того, в связи с расширением числа региональных потребителей будут востребованы региональные ядерные источники электричества и тепла при широком спектре необходимых им мощностей. Потре-

буется внедрение ядерных технологий в бытовое теплоснабжение, на основе, например, атомных станций теплоснабжения (АСТ) и внедрение более эффективных путей использования электроэнергии для теплоснабжения, а также получения пресной воды.

3. Увеличение числа ядерных установок и их более широкое распространение по регионам мира потребует еще большего внимания к вопросам безопасности. В связи с этим большее внимание должно быть обращено на реакторы с внутренней безопасностью и использование пассивных принципов.

Реализация перечисленных направлений инновационного развития ЯЭ сможет обеспечить достижение поставленных целей – стабильного энергетического развития – только при гарантии мирного использования ядерных технологий, т.е. при гарантированном режиме нераспространения. Это является одной из основных миссий МАГАТЭ. В контексте результатов ИНПРО такая проблема рассматривается шире, чем только контроль и учет делящихся материалов. Рассматриваются три базовых направления обеспечения режима «нераспространения»:

- развитие существующей системы контроля и учета делящихся материалов, включая развитие национальных систем физической защиты, борьбы против саботажа и терроризма и т.п.;

- создание технологических барьеров и мониторинга на пути несанкционированного распространения ядерных материалов;

- законодательные меры, развитие международного (юридического) режима (institutional activity), в том числе разработка и реализация Соглашения о международных ядерных центрах по переработке топлива, по обогащению урана, по использованию плутония на основе центров с быстрыми реакторами, по производству в более отдаленном будущем нового низкообогащенного уранового топлива уран-233 + уран-238 и центров по захоронению высокоактивных отходов. Одновременно обеспечивается под контролем МАГАТЭ режим гарантий поставок всем заинтересованным членам Агентства топлива на основе низкообогащенного урана (международный банк топлива). Основа этих предложений заложена инициативами президентов РФ и США и их обсуждение на Саммите G8 в июне 2006 г. в С.-Петербурге. Обсуждаются предложения по дальнейшему развитию этих инициатив с целью вызвать реальный интерес к участию в них развивающихся стран.

Привлекательным с этой точки зрения является, например, лизинг ЯР малой мощности, так называемых «ядерных батареек» широкого мощностного ряда (от 1 до 100 МВт) с длительным сроком непрерывной работы – 10–20 лет без перегрузки. В этом случае, а также при их централизованном производстве и поставках можно будет говорить о рынке продуктов ядерной энергии: электричество, тепло, пресная вода и др. – вместо распространения технологий.

Практически речь идет о формировании нового международного соглашения о мирном использовании ЯЭ (на базе ДЗЯО), о возрастании роли МАГАТЭ – как основного гаранта выполнения этих соглашений.

Таким образом, международное сообщество сегодня стоит перед острой необходимостью разработки и внедрения технологических инноваций, обеспечивающих долговременное и масштабное развитие ядерной энергетики и ядерных технологий. Решение этой задачи невозможно в одиночку. Требуется активное международное сотрудничество.

В мировом сообществе уже складывается кооперация по разработке инновационных ядерных технологий как на межправительственном уровне, так и на уровне промышленных компаний. Показательно в этом отношении Соглашение, подписанное в феврале 2005 г. США, Англией, Францией, Японией и Канадой ( в рам-

ках международного проекта GIF) о разработке ядерных энергетических систем нового поколения, включая быстрый гелиевый реактор, быстрый натриевый реактор, быстрый реактор с «тяжелым» теплоносителем, реактор на расплавах солей, легководный реактор со сверхкритическими параметрами, «сверх»-высокотемпературный реактор.

Россия приняла предложение об участии в проекте GIF. Намечается координация проектов ИНПРО и GIF. За всеми этими шагами стоит постоянная работа секретариата МАГАТЭ и его Генерального директора по консолидации усилий мирового сообщества в мирном использовании ядерной энергетики.

### **ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ В ЯДЕРНОЙ ОБЛАСТИ**

МАГАТЭ – инициатор международной программы по консолидации, сохранению и развитию знаний и опыта в области мирного использования ЯЭ. Проект ИНПРО позволил МАГАТЭ подойти к решению еще одной «сверхзадачи», а именно, гармонизация работ по развитию атомной энергетики с контрольными функциями Агентства. Проект ИНПРО ориентировал МАГАТЭ на роль мирового форума по обсуждению места ЯЭ в мире, и в особенности для развивающихся стран.

Проект ИНПРО подразумевает не только помощь развивающимся странам в развитии инновационной ядерной технологии, но и передачу знаний новому поколению ученых и инженеров. Новая программа МАГАТЭ в области «сохранения знаний» сконцентрирована на сохранении знаний и опыта в самой передовой и ключевой для будущего развития области ядерной энергетики – реакторах на быстрых нейтронах и замкнутом ЯТЦ.

Это стимулировало в 2003 г. инициативу МАГАТЭ по созданию Международного Ядерного Университета с целью консолидации знаний и опыта индустриальных стран (доноров «инновационных» технологий) с потребностями и необходимостью в знаниях и опыте развивающихся стран. Именно МАГАТЭ – создатель и обладатель самых крупных баз данных в области мирного использования ядерной энергетики, Международной ядерной информационной системы (INIS) и современной «ядерной» библиотекой, объединяющей все виды публикаций и изданий, является гарантом содержательного научного наполнения «Программы сохранений знаний» в Агентстве и компетентности программ Всемирного Ядерного Университета.

Инициатива по стимулированию международной кооперации как в области инновационных ядерных разработок ЯЭУ и их ЯТЦ, так и в области образования и сохранения ядерных знаний в областях ЯЭ, имеющих определяющее значение для будущего полномасштабного развития ЯЭ, приобретает огромное значение и для такой «ядерной» державы как Россия.

Актуальной становится задача возрождения отечественных традиций – создание центров ядерного инженерного образования на университетском физико-математическом фундаменте, интегрированных с экспериментальной и технологической базой ведущих НИИ. Инициативно такие научно-образовательные центры возникают на базе крупнейших ядерных центров страны: Томский СКХ, Уральский УПИ, Дмитровград, Обнинск.

Объективно идеальным для создания интегрированного Научно-образовательного центра ядерной науки и технологий – Российского Центра ядерной науки и образования является первый наукоград России – город Обнинск.

Здесь уникальное сочетание комплекса научно-исследовательских организаций с богатейшим кадровым потенциалом и уникальной экспериментально – технологической базой – более 200 установок, связанных с ядерной тематикой. Эта

база идеально пригодная для обучения и тренинга, но сейчас без целевого финансирования, медленно стареет, не используется.

Обнинский государственный технический университет атомной энергетики (ИАТЭ) сохранил процесс образования по всем направлениям ядерной прикладной науки, техники и технологии. На базе ИАТЭ в 2005 г. создана Российская ассоциация ядерной науки и образования (РАЯНО). Наряду с университетом, в Ассоциацию входят: РНЦ «Курчатовский институт», ГНЦ РФ «Институт теоретической и экспериментальной физики», ГНЦ НИИАР, МРНЦ РАМН (г. Обнинск). Ассоциация – некоммерческая организация, она открыта и для других участников.

Проблема подготовки кадров, нового поколения специалистов и нового поколения преподавателей вузов по ядерным специальностям стоит крайне остро. Важной частью этой проблемы является создание современных учебных программ и учебных материалов, в том числе с использованием современных информационных технологий. Фундаментом для решения этих задач является Программа сохранения ядерных знаний от фундаментальных ядерных данных и прикладных знаний по развитию и использованию ядерных технологий в медицине, сельском хозяйстве и других до обращения с РАО и снятием с эксплуатации отслуживших установок. Участие в этой новой приоритетной Программе МАГАТЭ есть одна из основных целей Российской ассоциации ядерной науки и образования.

Результаты успешной деятельности РАЯНО (при активной поддержке руководства и специалистов ИАТЭ, ФГОУ ЦИПК, РНЦ «Курчатовский институт» и МРНЦ РАМН) по реализации проекта «Ядерные технологии для человечества в XXI веке, стимулировали новую инициативу, поддержанную МАГАТЭ. Речь идет об инициативе создания в Обнинске Международного центра ядерных знаний (Center of Excellence in Nuclear Knowledge Management) на базе РАЯНО (ИАТЭ, ЦИПК, КИ). В качестве первого шага РАЯНО включено в сеть ядерных библиотек под эгидой МАГАТЭ (Nuclear Library Network).

Эта проблема не только России, но и стран СНГ и в значительной мере Восточной Европы. Для специалистов этих стран особенно ясно, что ядерному сообществу крайне необходимо сохранение ядерных знаний и одним из факторов должны быть экономические инициативы на государственном уровне в форме финансовой поддержки ядерной науки и ядерного образования.