

«Второе дыхание»

Усовершенствованные реакторы на быстрых нейтронах для АЭС могут стать стратегическим императивом

Ядерной энергетике

Евгений Адамов

Ядерной энергетике потребовалось 50 лет, чтобы занять такое же положение в мировом энергопроизводстве, что и гидроэнергетика, которая существует уже несколько столетий. За все эти годы, наряду с разработкой традиционных реакторных технологий, неоднократно возникали новые концепции реакторов. В благоприятные для развития ядерной отрасли 1960-е и 1970-е гг. некоторые из этих инновационных концепций были доведены даже до стадии демонстрационных или пилотных проектов.

Несмотря на все разнообразие новых идей, ядерная энергетика тем не менее вступила в новое столетие, продолжая развиваться в русле традиционных технологий. Большинство из них возникли на заре атомной техники, когда развитие стимулировалось разработкой реакторов для производства изотопов оружейного класса и реакторов для атомных подводных лодок.

Без понимания причин, по которым инновационные технологии в свое время не получили сколько-нибудь заметного развития, невозможно ответить на вопрос, существует ли в них потребность в настоящее время или в обозримом будущем.

Возможно, теперь уже немногие помнят, что появление ядерной энергетике не было связано с дефицитом энергии. Ее приход был вызван Второй мировой войной и связанной с этим настоятельной потребностью в наращивании мощи оружия. После окончания войны питательной средой для развития ядерной отрасли стали как намерения разработчиков оружия (например, И.В. Курчатова в России, ставшего инициатором строительства первой в мире АЭС в Обнинске), так и политиков США во главе с президентом Дуайтом Эйзенхауэром, выдвинувшим в 1953 г. Инициативу «Атомы для мира», которые были направлены на развитие мирных ядерных применений в противовес военной составляющей.

Меняющийся контекст

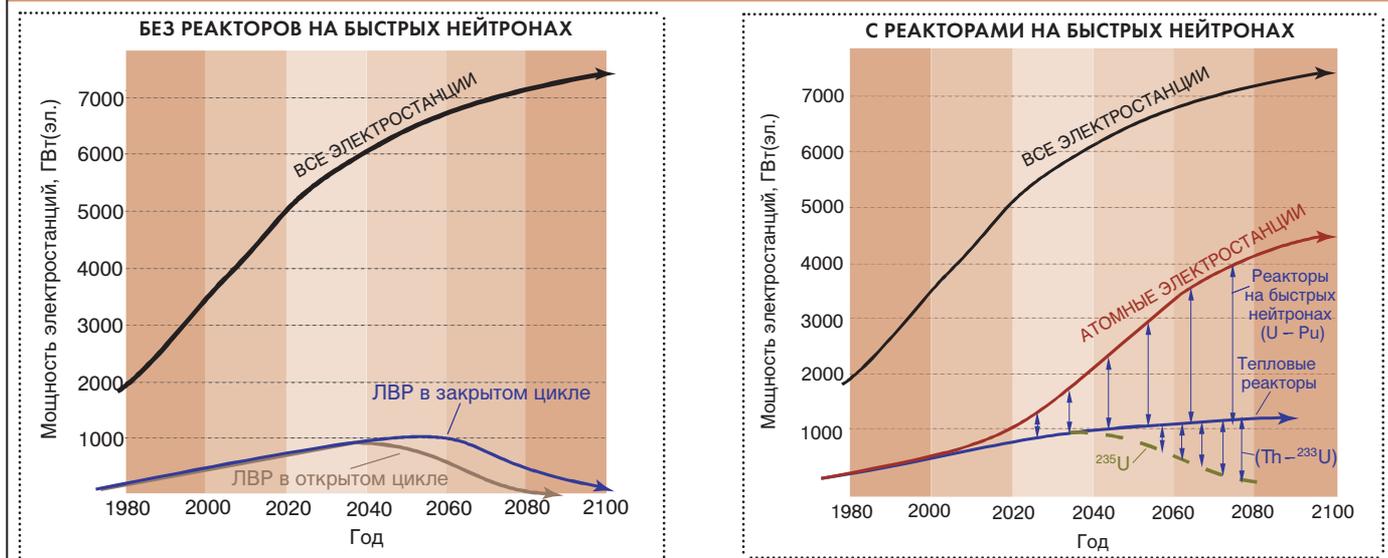
В настоящее время энергетические потребности по-прежнему в основном удовлетворяются за счет ископаемых видов

топлива. В последние десятилетия ярые сторонники атомной энергии постоянно говорили о грядущей нехватке ископаемого топлива, хотя в ближайшие 100 лет эта мрачная перспектива не будет угрожать человечеству. Это означает, что потенциальный дефицит не является единственным – или определяющим – фактором, стимулирующим активные поиски альтернативных источников энергии.

Большее значение приобретают другие факторы. Один из них – изменения окружающей среды. В конце прошлого века острое осознание проблем окружающей среды потребовало более пристального внимания к энергетическим технологиям, созданным с учетом этих факторов. Были оценены и обоснованы преимущества ядерной энергии по сравнению с большинством других энерготехнологий в том, что касается защиты окружающей среды. Однако в последнее время политического энтузиазма у сторонников Киотского протокола значительно поубавилось, и даже при наличии убедительных доказательств опасности парникового эффекта находятся, тем не менее, причины для снятия проблемы выбросов парниковых газов с первоочередной повестки дня. С учетом текущей 6%-ной доли ядерной энергетике в общем энергетическом балансе вполне можно ожидать, что суммарный вклад так называемых альтернативных источников энергии (ветер, солнце, приливы, биомасса, геотермика и др.) может привести к исключению ядерной составляющей без особых потерь для мирового энергообеспечения.

Другим фактором является изменение политических основ. На ранних этапах развития ядерной энергетике предполагалось, что коммерческое производство энергии будет развиваться в контексте дипольного обладания ядерным оружием (с одной стороны, НАТО во главе с США, с другой – Варшавский договор, возглавляемый СССР). Как оказалось позднее, связанные с оружием технологии не удалось удержать в распоряжении узкого круга пяти государств, объявивших о своей принадлежности к ядерному клубу. В результате более остро, по сравнению с вопросами развития энергетических технологий, встала проблема нераспространения. Это стало особенно заметным на фоне активизации поисков энергосбе-

Рисунок 1. Проектируемый рост ядерных мощностей



Примечание. Предполагаемый сценарий исходя из потенциальных запасов недорогого урана в 10 Мт.

регающих решений и открытия новых нефтяных и газовых месторождений, в том числе в открытом море, что довело цены на ископаемое топливо до рекордно низких уровней.

Можно и дальше продолжить анализ причин, которые помешали ядерной энергетике выйти на уровни энергопроизводства, прогнозирувавшиеся в 1970-е гг., а также попытаться понять, почему в ближайшие 10–15 лет доля ЯЭ на энергетическом рынке будет, весьма вероятно, сокращаться и дальше. Такого рода исследования проводились в России и других странах. При такой постановке вопроса требования к ядерной энергетике не должны ограничиваться обычными соображениями рыночной конъюнктуры, а сама ядерная энергетика не должна рассматриваться как всего лишь одна из традиционных сфер коммерческой деятельности, как это настойчиво предлагалось в предшествующем десятилетии.

“Второе дыхание” ядерной энергетики

Важно понимать, что потребность в инновационных ядерных технологиях должна оцениваться с учетом изменений, происходящих в мире. Важно изучить условия, которые могли бы вызвать спрос на ядерную энергетiku, и обстоятельства, при которых эта технология сможет обрести “второе дыхание”. Для отдельных стран, таких как Франция и Япония, недостаток собственных нефтяных и газовых ресурсов сам по себе служит достаточной причиной для сохранения ядерной компоненты в структуре энергобаланса. Другие страны могут уделять приоритетное внимание диверсификации в энергетическом секторе или самодостаточности в энергообеспечении.

Безопасная ядерная энергетика также способна, например, производить водород дешевым способом, что позволило бы сократить потребление ископаемых видов топлива в энергопроизводстве в будущем, сохраняя тем самым эти ресурсы для иных, более рациональных применений на транспорте и в других энергоемких отраслях, что уже сегодня могло бы стать привлекательной альтернативой для ряда экономически мощных государств.

Кроме того, как это ни парадоксально, появлению “второго дыхания” у ядерной энергетики могли бы способствовать рост цен и озабоченность вопросами распространения ядерного оружия, а также проблема управления рисками. До тех пор, пока ядерное оружие окончательно не запрещено и не уничтожено, его распространение останется зоной риска,

Важно изучить условия, которые могли бы повысить спрос на ядерную энергетiku, и обстоятельства, при которых эта технология сможет обрести “второе дыхание”.

требующей строгого контроля, чтобы предотвратить попадание ядерных материалов и технологий в преступные руки. В настоящее время усилия по поддержанию и разработке ядерных технологий, подготовка соответствующих кадров и обеспечение деятельности промышленных установок, предназначенных исключительно для производства ядерного оружия, куда более обременительны для ресурсов общества с экономической и социальной точек зрения, чем если бы это ноу-хау одновременно использовалось для производства энергии.

В России, например, деятельность по ликвидации последствий осуществления программ ядерного вооружения оценивается в десятки миллиардов долларов, которые нужно еще найти в государственном бюджете. Между тем разумное осуществление уже одобренной правительством России Стратегии активного развития ядерной энергетики на перспективу до 2050 г. помогло бы избежать отвлечения этих средств на связанные с оружием цели из других секторов общественного спроса.

По моему мнению, главным направлением продвижения в этой области является разработка усовершенствованных АЭС, основанных на технологических решениях, которые способствуют сдерживанию расползания ядерного оружия.

Крупномасштабная ядерная энергетика должна строиться на базе инновационных реакторных проектов и топливных процессов, которые могут обеспечить технологическую поддержку режиму ядерного нераспространения, одновременно способствуя удовлетворению мировых потребностей в электроэнергии.

“Быстрые” ядерные установки

Самыми многообещающими с точки зрения нераспространения и по другим основаниям представляются проекты реакторов на быстрых нейтронах (см. текст во вставке). Они сжигали бы только уран-238, что, в свою очередь, позволило бы исключить стадию обогащения урана и выделение оружейного плутония из комплекса технологий топливного цикла, используемых в настоящее время в ядерной энергетике. В отличие от прежних типов, такие реакторы на быстрых нейтронах не будут иметь топливного blankets, где мог бы нарабатываться плутоний оружейного класса.

Этот выбор дает возможность ядерной энергетике в ходе ее развития технологически еще больше отдалиться от производства материалов, пригодных для оружейного использования. Кроме того, он способствовал бы поддержке других элементов режима нераспространения, включая осуществление политических и юридических договоренностей, таких, например, как проведение инспекций. Использование спутниковых систем для наблюдения за конфигурацией зданий топливного цикла могло бы существенно облегчить проведение инспекций.

При таком подходе государства, которым в настоящее время приходится нести бремя расходов, связанных с проблемой ядерного распространения, могли бы иначе распределить свои усилия. Они могли бы определить оптимальные условия для совместного использования преимуществ новаторских ядерных энергетических технологий с теми странами, которые не имеют ядерного оружия, но одновременно испытывают настоятельную потребность в развитии собственных систем производства энергии.

Так, например, предоставляя максимальный доступ к ядерным технологиям, ядерные государства могли бы способ-

ствовать решению проблемы нераспространения прежде всего путем организации – за собственный счет – производства энергии в бедных регионах Азии и Африки. Использование ядерной энергии, которое на первых порах будет субсидироваться в этих регионах, было бы в своей основе некоммерческим и базировалось на международной помощи. Эта инициатива могла бы, в свою очередь, стать решающим фактором стабилизации политической ситуации в районах международных конфликтов – как тех, что существуют сегодня, так и могущих возникнуть в будущем. В то же время подобная инициатива прекрасно вписывалась бы в практикуемые сейчас подходы по принципу “проектируй – строй – эксплуатируй” и по мере развития энергетического рынка могла бы вполне превратиться в крупный бизнес для государственных или международных корпораций.

По моему мнению, главным направлением продвижения в этой области является разработка усовершенствованных АЭС, основанных на технологических решениях, которые способствуют сдерживанию разползания ядерного оружия.

Может ли ядерная энергетика удовлетворить спрос на электроэнергию?

Если рассматривать ядерную энергетика как стратегический императив для глобальной экономики и безопасности, необходимо иметь ясное представление о ее потенциале. Работая на базе современных реакторов с использованием открытого топливного цикла (без переработки), ядерная энергетика уже к концу этого столетия исчерпала бы имеющиеся запасы недорогого урана. Суммарная мощность АЭС не поднялась бы намного выше имеющегося уровня, составляющего около 350 ГВт(эл.). Путем переработки и повторного использования топлива в тепловых реакторах, как это практикуется

Реакторы на быстрых нейтронах

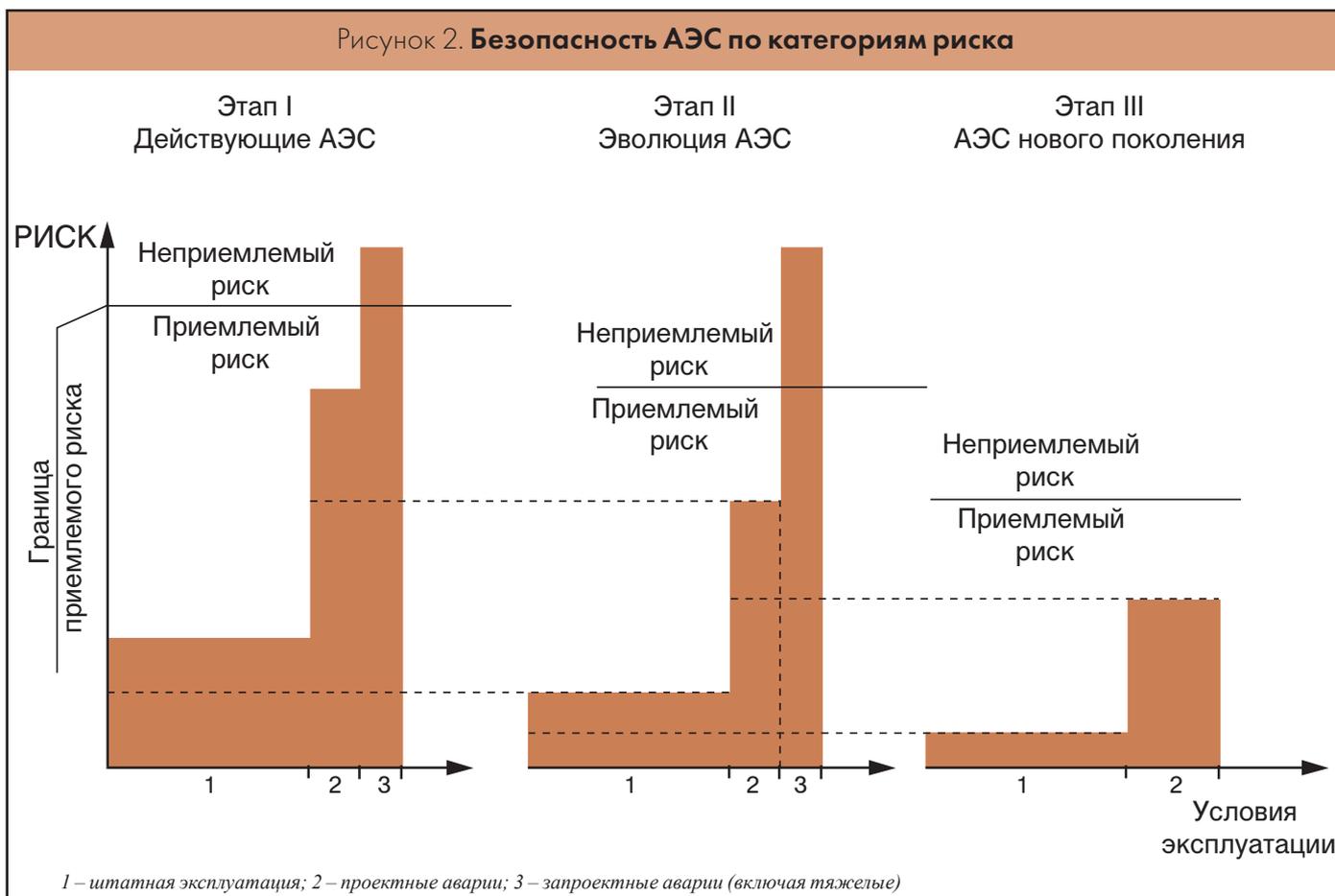
Реакторы на быстрых нейтронах – не новое изобретение, но их разработка находится на новом этапе. Первоначально они предназначались и проектировались и для потребления, и для производства топлива. Такие реакторы-“размножители” сжигают урановое топливо и вырабатывают плутоний, который затем может перерабатываться и заново использоваться в качестве реакторного топлива. Разработкой реакторов-размножителей на быстрых нейтронах занимались Франция, Россия, Япония и другие страны, хотя лишь немногие из этих реакторов сегодня производят электроэнергию в коммерческих объемах. Например, реактор БН-600 в России поставляет электричество в сеть с 1981 г.

Сегодня коммерческими ядерными установками в основном являются “тепловые” реакторы, эксплуатация кото-

рых может сопровождаться или не сопровождаться переработкой топлива. Базовые термины “на быстрых нейтронах” и “тепловой” относятся к тому, что происходит внутри активной зоны реактора. В реакторах любых типов деление, или цепная реакция, производящая тепло, происходит благодаря энергетическому столкновению нейтронов с топливом. В тепловом реакторе нейтроны замедляются до той стадии, которую физики называют “низкой энергией”, с помощью таких замедлителей, как графит или вода. В “быстром” реакторе нейтроны из цепной реакции не замедляются и остаются на “высокой энергии”.

Для получения дополнительной технической информации о реакторах на быстрых нейтронах и о соответствующей деятельности в странах обращайтесь к веб-страницам МАГАТЭ по ядерной энергетике: www.iaea.org.

Рисунок 2. Безопасность АЭС по категориям риска



в некоторых странах, можно достичь суммарного увеличения выхода энергии на 15–20%. При использовании в качестве топлива тория в дополнение к природному урану потенциальный вклад ядерной составляющей мог бы в лучшем случае вырасти вдвое.

Прогнозируемая картина значительно меняется, если будут внедрены реакторы на быстрых нейтронах в сопровождении замкнутого топливного цикла, при котором отработавшее топливо перерабатывается и повторно используется для производства энергии. В этом случае ядерная составляющая могла бы обеспечить весь необходимый прирост производства электроэнергии, предусмотренный Мировым энергетическим конгрессом (МЭК) на несколько последующих десятилетий. На более позднем этапе ядерная энергетика

Если рассматривать крупномасштабную ядерную энергетику как реальный выбор, неизбежен вывод о том, что основу отрасли должны составить реакторы на быстрых нейтронах.

могла бы даже справиться с ограничениями на использование топливных ресурсов. В этом случае были бы автоматически выполнены требования Киотского протокола, и эмиссия парниковых газов от работы энергетической промышленности могла бы фиксироваться на любом заранее установленном уровне.

На месте пессимизма 1990-х гг. в последние несколько лет возникли некоторые тенденции к восстановлению роли ядерной энергетики среди приоритетов энергетической стратегии в ряде таких крупных стран, как Китай, Индия, Иран и Россия. Показательны в этом отношении также положения Национальной энергетической политики США. Тем не менее, какими бы ни были мотивы для оживления ядерной энергетики, неизменным приоритетом международной политики остается необходимость обеспечения нераспространения. Если рассматривать крупномасштабную ядерную энергетику как реальный выбор, неизбежен вывод о том, что основу отрасли должны составить реакторы на быстрых нейтронах. В конечном счете успешное решение проблемы управляемого термоядерного синтеза могло бы служить лишь добавлением к росту возможностей ядерной энергетики для удовлетворения постоянно растущего глобального энергетического спроса.

Безопасность и отходы

Помимо вопросов использования энергии и распространения важно также учитывать проблемы безопасности АЭС и удаления радиоактивных отходов.

В отношении отходов накопленный за много лет в ядерной отрасли опыт помог найти весьма действенные пути удаления радиоактивных отходов. Они включают различные методы их изолирования от окружающей среды и захоронения в специально выбранных геологических формациях. Однако остается проблема обоснования безопасности любых хранилищ – не говоря уже о хранилищах отработавшего топлива – для геологически значимого отрезка времени. Это указывает на необходимость разработки такого топливного цикла, ко-

торый не усугубляет проблему отходов, а, наоборот, сводит ее к минимуму.

Ядерная электроэнергетическая система, основанная на реакторах на быстрых нейтронах, позволила бы достичь стадии “радиационно-эквивалентного обращения” с ядерными материалами. Такое обращение включает процесс, называемый “трансмутацией” мелких актинидов и продуктов деления, который разрабатывается в качестве альтернативной стратегии обращения с долгоживущими радиоактивными отходами и сокращения их объемов. Например, при замкнутом топливном цикле для быстрых реакторов суммарная активность ядерных отходов примерно сравнялась бы с радиоактивностью рудного сырья уже через 150–200 лет. Это несомненно могло бы повлиять на общественное восприятие проблемы обращения с ядерными отходами.

В отношении безопасности АЭС не могу не отметить значительных достижений в повышении безопасности существующих ядерных установок на основе использования вероятностных оценок безопасности и других мер. Однако если мы выберем верное направление развития инновационных ядерных технологий, то можно будет создать реакторы, исключаящую какую-либо возможность тяжелых аварий благодаря особенностям проекта, своим физическим характеристикам и используемым материалам. Преимущества таких установок могут оказаться решающим фактором общественного выбора.

Для таких реакторов в последнее время используется термин “реакторы естественной безопасности”. Их безопасность будет основываться на законах природы, а не на создании дополнительных инженерных барьеров и увеличении персонала. Например, реакторы на быстрых нейтронах могут быть спроектированы таким образом, чтобы физически исключить возможность серьезных аварий, как, например, чернобыльская в 1986 г. или на АЭС “Три Майл Айленд” в 1979 г. (Различия проиллюстрированы на рисунке 2.)

Глобальное сотрудничество и поддержка

Следовательно, с учетом различных аспектов проблемы реакторы на быстрых нейтронах могли бы открыть новые возможности для развития экономически конкурентоспособной ядерной энергетики. Чтобы служить стратегическим интересам в области энергии и нераспространения, необходима национальная и международная поддержка, призванная открыть эту новую главу в развитии ядерной энергетики.

В ходе многих исследований анализировались и определялись основные требования в отношении безопасности, экономических и других связанных с этим аспектов разработки инновационных реакторных технологий. Они имеют принципиальные отличия от требований, которые предъявлялись в 1960-х и 1970-х гг. Эти новые требования получили свое отражение в основных принципах Стратегии развития ядерной энергетики в России на первую половину XXI в. и изложены президентом России в его Инициативе по международному сотрудничеству на Саммите тысячелетия ООН в Нью-Йорке в сентябре 2000 г.

Кроме того, на сессии Генеральной конференции МАГАТЭ в 2000 г. было объявлено о начале так называемой программы ИНПРО (Международный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам), в рамках которой уже сотрудничают многие страны (см. статью “Стимулирование инноваций” в данном выпуске Бюллетеня). Недавние заяв-

ления Генерального директора МАГАТЭ эль-Баради во многом созвучны с глобальной инициативой президента Путина.

Изменения в политике по отношению к ядерной энергии также нашли свое отражение в Национальной энергетической политике США и побудили ряд стран объединить свои усилия в рамках форума “Поколение IV” (ГИФ) для разработки усовершенствованных ядерных реакторов. С целью приня-

Чтобы служить стратегическим интересам в области энергии и нераспространения, необходима национальная и международная поддержка, призванная открыть эту новую главу в развитии ядерной энергетики.

тия окончательного решения и более детального рассмотрения были отобраны шесть реакторных концепций, включая реакторы на быстрых нейтронах.

Между тем в последнее десятилетие такая работа уже проводилась, что привело к выбору реактора на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем, инженерный проект которого находится на стадии углубленной проработки. Работа по проекту значительно продвинулась, и на Урале уже намечена площадка для возможного строительства опытного блока. За то же время были завершены НИОКР в поддержку подхода по радиационно-эквивалентному обращению с ядерными материалами. Результаты исследований могли бы послужить основой для сравнения с другими реакторными концепциями и подходами к выполнению задач топливного цикла.

Рассмотрение прогресса, достигнутого в рамках ИНПРО и ГИФ, свидетельствует о возможности координации двух проектов, при условии что конечная цель будет согласована и определена как развитие экономически конкурентоспособной крупномасштабной ядерной энергетики на базе замкнутого цикла и технологий, препятствующих распространению. В свете повышения интереса к новым подходам в ядерной энергетике представляется целесообразным объединение усилий в рамках ИНПРО и ГИФ для достижения их общих целей на базе международного сотрудничества. Успешная реализация проекта “Международный термоядерный экспериментальный реактор” (ИТЕР) для ядерного синтеза, даже при том что его осуществление опережает фактическую потребность в таких установках, является прекрасным примером действенного сотрудничества, направленного на решение наиболее сложных технических проблем.

Дешевое электричество, производимое на АЭС нового поколения, является привлекательной основой для будущего экономического развития. Это может способствовать усилиям по преодолению удручающего неравенства в уровнях жизни в различных регионах и в конечном счете содействовать устранению причин, лежащих в основе политической напряженности и международных конфликтов.

Евгений Адамов был министром Российской Федерации по атомной энергии с 1998 по 2001 г. и с 2002 г. является советником председателя правительства России. Все библиографические и технические подробности могут быть получены у автора по эл. почте: avde@nikiet.ru