

## ЯДЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ – ГАРАНТ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ РОССИИ В XXI веке

**В.М. Мурогов\*, Н.Н. Пономарев-Степной\*\***

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

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



Статья содержит краткий анализ состояния и будущей роли ядерной технологии (прежде всего, ядерной энергии) в мире и, особенно, в России. Ядерная энергетика - не только и не столько часть энергетического рынка: это ключевой элемент военной мощи российской ядерной «триады»; более того, ядерная наука и технология определяют социально-политическое и технико-экономическое развитие нашего государства в 21 веке.

### СЛОЖИВШЕЕСЯ ПОЛОЖЕНИЕ

Несмотря на многообразие и различие сценариев будущего энергетического развития, есть ряд положений незыблемых для этих прогнозов:

- 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-экспортеров нефти;
- нарастающие экологические ограничения;
- нарастающее различие в уровне энергопотребления богатейших и беднейших стран.

В этих условиях роль ЯЭ как стабилизирующего фактора энергетического и социально-политического развития возрастает.

Несмотря на все проблемы, «ядерная» Россия остается великой державой, как с точки зрения военной мощи, так и в рамках экономического развития (ядерные технологии в экономике России).

Именно Президент России выступил на Саммите тысячелетия ООН (сентябрь 2000 г.) с инициативой обеспечения энергетической стабильности развития на основе ядерных технологий. Эта инициатива оказалась исключительно своевременной и нашла поддержку мирового сообщества: в четырех резолюциях Генконференции МАГАТЭ (Вена) и в двух резолюциях Генассамблеи ООН (Нью-Йорк) приветствуется инициатива Президента России как отвечающая чаяниям развивающихся стран и как путь гармонизации отношений индустриальных стран с развивающимися.

Инициатива Президента РФ – политическая акция, а не технический проект. Это было принято мировым сообществом и нашло свое отражение в международном про-

екте МАГАТЭ развития инновационной концепции АЭС и ЯТЦ (INPRO), исключающем использование в мировой энергетике наиболее «чувствительных» материалов и технологий («свободного» плутония и высокообогащенного урана) и «открывающем миру принципиально новые перспективы жизни» (сентябрь 2000 г.).

Реализация международного проекта INPRO позволила объединить усилия экспертов 21 страны, являющихся членами МАГАТЭ, и разработать требования и критерии развития ЯЭ, ее АЭС и ЯТЦ.

Акцент на содержание предложений Президента как на политическую инициативу позволил «оздоровить» атмосферу МАГАТЭ (поскольку западные страны рассматривали МАГАТЭ как организацию с полицейскими функциями). Международный проект INPRO по реализации инициатив Президента позволил развивающимся странам использовать МАГАТЭ в роли мирового форума по обсуждению места ЯЭ в мире. Более того, инициатива Президента РФ подразумевает передачу инновационной ядерной технологии АЭС и ЯТЦ новому поколению ученых и инженеров. В результате новая программа МАГАТЭ в области «сохранения знаний» сфокусирована на сохранении знаний и опыта в самой передовой и ключевой для будущего развития (но не востребованной сегодня) области ядерной энергетики – реакторах на быстрых нейтронах в замкнутом ЯТЦ.

Сохранение и передача знаний новому поколению накладываются на задачу глобальной кооперации в области ЯЭ, т.е. на передачу знаний в новые регионы (в первую очередь, в развивающиеся страны, где проживает 4/5 населения планеты и используется менее 1/25 мощностей ЯЭ).

Все это послужило причиной создания Международного ядерного университета (по инициативе МАГАТЭ, поддержанной ВЯА (WNA) и ВАО (WANO)).

Однако в практической реализации программы развития ЯЭ внутри страны и в реализации наших технических проектов на международном рынке все более отчетливо проявляются негативные тенденции. Первый звонок уже прозвучал: проигрыш тендера в Финляндии, означающий для специалистов практическую потерю шансов на место на рынке не только в Европе, но и (по тем же причинам, что и в Финляндии) снижение шансов на успех в ближайшие десятилетия в Китае, и также в других странах Азии. Более того, в ближайшем будущем ситуация на международном рынке будет становиться гораздо менее благоприятной в силу следующих причин:

- вывод из эксплуатации энергоблоков АЭС, на которые Росатом (Концерн ТВЭЛ) поставляет топливо (Игналинская АЭС, ряд блоков «Козлодуй» и др.);
- вступление стран Восточной Европы – владельцев АЭС с реакторами типа ВВЭР – в Евросоюз;
- окончание поставок в США ядерного топлива по контракту ВΟΥ-НОУ после 2013 г.;
- ввод завода с центрифужной технологией в США после 2006 г.;
- создание транснациональных корпораций в ядерной сфере (концентрация ресурсов, снижение издержек);
- реализация новых конкурентных проектов АЭС, разрабатываемых США (AP-1000, HTGR) и другими странами (EPR).

Кроме того имеется и ряд внутренних трудностей, осложняющих развитие ядерной отрасли (наряду с недостатком инвестиционных средств):

- вывод из эксплуатации 5÷6 ГВт АЭС в 2015-2020 гг.;
- закрытие трех промышленных реакторов в Железногорске и Северске;
- сокращение запасов дешевого уранового сырья, накопленного в прошлые годы;
- ограничения в правах государственных унитарных предприятий;
- несовершенная инвестиционная и тарифная политика.

Даже при максимально возможном использовании собственных средств концернов (в соответствии с энергетической стратегией России) вклад АЭС в энергетический баланс страны будет очень скромным, несмотря на огромный технологический и кадровый потенциал «ядерной» державы.

Ситуация существенно усугубилась в последнее время в связи с реформированием ядерного комплекса России и превращением мощного органа государственного управления Минатома в агентство Росатом. На начальном этапе успешного развития ядерного оборонного и энергетического комплекса роль государства была определяющей во всех отношениях: организационном, финансовом и научном, т.к. этот комплекс определял державную мощь и будущую экономику страны. Для специалистов очевидно, что ядерный щит страны и ядерные технологии мирового использования – две стороны единого научно-технологического комплекса. Без экономически эффективного мирного использования ядерных технологий «ядерный щит» или обрушит экономику России, либо будет «щитом», не обеспечивающим полную безопасность страны.

При этом основной механизм и фундамент державности России – ядерный комплекс – оказался вне сферы прямого влияния руководителя государства – Президента России.

Как следствие, отсутствие четкости в реальной ядерно-энергетической стратегии приводит к потере преемственности поколений. Так, Россия – наиболее продвинутая страна в развитии реакторов на быстрых нейтронах и в области высшего ядерного образования – не имеет сейчас национальной программы сохранения ядерных знаний и опыта, так же, как не имеет национальной программы участия во Всемирном ядерном университете.

### **ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ**

Дальнейшее эффективное развитие ядерных технологий в силу их особой «чувствительности» невозможно без тесной международной кооперации. При этом очень важно корректно определить ту технологическую и «рыночную» нишу, где еще имеется приоритет отечественных разработок.

На мировом рынке традиционной ЯЭ в ближайшем будущем будет происходить дальнейшая экспансия Европейского энергетического реактора (EPR), выигравшего тендер в Финляндии, а также американского AP-1000 и азиатских (Корейского и Японского) реакторов.

Отсутствие завершенного технического проекта и неопределенность со сроками референтной демонстрации ВВЭР нового поколения (ВВЭР-1500), и отсутствие «стандартного», полностью законченного проекта ВВЭР-1000, делает уязвимой позицию России на внешнем рынке традиционных энергетических блоков. Для выбора программы действий необходим, прежде всего, сопоставительный анализ основных показателей отечественных проектов ВВЭР-1000 и ВВЭР-1500 с их западными конкурентами на момент реализации.

В этих условиях, учитывая контрактные обязательства в Китае и Индии, необходима концентрация средств на завершении и демонстрации для внутреннего и внешнего рынков стандартного конкурентоспособного ВВЭР-1000 и выполнение технического проекта ВВЭР-1500, сравнимого по показателям с EPR.

Потенциально благоприятным для России может быть рынок (внутренний и внешний) инновационных малых АЭС. Огромный отечественный опыт разработки и создания ЯЭУ для военно-морского и ледокольного флота (более 500 ЯР) и уникальность отечественных водо-водяных и жидкометаллических (Pb-Bi) ЯЭУ, наряду с потенциально огромным энергетическим рынком развивающихся стран делает это на-

правление приоритетным для внутреннего и внешнего рынков. Россия является идеальным полигоном для демонстрации гармоничного развития традиционной ЯЭ (с блоками ВВЭР-1000) и инновационных разработок малых ЯЭУ для развивающихся стран (электричество, обессоливание, теплофикация). При этом может быть продемонстрирована возможность лизинговой поставки «продукта» (ЯЭУ, топливо), а не технологии, что является одной из возможностей решения проблемы «нераспространения».

Решающей здесь может оказаться возможность создания малых транспортабельных АЭС (например, плавающих) со сроком непрерывной работы (без перегрузки в течение всего срока работы) ~ 10–20 лет.

Общепризнанной является роль реакторов на быстрых нейтронах для будущего развития ЯЭ как основы решения проблемы топливообеспечения с использованием как уран-плутониевого, так и торий-уранового замкнутых топливных циклов.

Разработка и внедрение нового поколения реакторов-размножителей ядерного топлива на быстрых нейтронах и новых методов переработки ядерного топлива является определяющим для замыкания ядерного топливного цикла и решения проблемы практически неограниченного топливообеспечения ядерной энергетики. Признанный передовой уровень технологии быстрых реакторов в России – единственной стране, эксплуатирующей коммерческий реактор этого типа, – в сочетании с опытом переработки ядерного топлива, позволит нашей стране в долгосрочной перспективе претендовать на роль одного из лидеров мировой ЯЭ, снабжающего услугами по производству и переработке ядерного топлива многие страны мира при одновременном снижении опасности распространения ядерного оружия, в том числе путем энергетической утилизации «оружейного» плутония.

Необходимым и обязательным условием решения этой проблемы является, прежде всего, развитие полностью замкнутого ядерного цикла, что потребует достаточно серьезных капиталовложений:

- комплекс по производству плутониевого топлива для быстрых реакторов и МОХ-топлива для ВВЭР реакторов;
- комплекс по переработке плутониевого топлива;
- комплекс по производству и переработке ториевого топлива.

Сложным для решения в настоящее время является вопрос о строительстве АЭС с БН-800. Строительство требует много денег. В качестве доводов в пользу необходимости скорейшего строительства БН-800 приводится следующее:

- отработка уран-плутониевого топлива;
- энергетическая утилизация «излишков» оружейного плутония;
- сохранение знаний и опыта разработки быстрых реакторов в России.

В то же время удельные капиталовложения и себестоимость отпускаемой электроэнергии для БН-800 существенно превышают показатели АЭС с реакторами ВВЭР (см. табл. 1).

Таблица 1

**Технико-экономические показатели АЭС с быстрыми и тепловыми реакторами (в ценах 1991 г.)**

Характеристика	БН-800	ВВЭР-1000	ВВЭР-1500
Удельные капитальные вложения, руб./кВт	1106	920	827
Себестоимость отпускаемой электроэнергии, коп./кВт.ч	2,49	2,11	1,62
Срок службы, лет	30	40	50
Собственные нужды, %	7,6	5,8	5,7

Кроме того, накладным представляется выполнение всего комплекса производств по замыканию топливного цикла и его использование только для одного БН-800.

Реализация преимуществ ЯЭ невозможна в полной мере без ее участия в производстве искусственного жидкого топлива для транспорта и других промышленных применений. Создание АЭС с высокотемпературными гелиевыми реакторами – это путь использования ядерной энергии для производства водорода и его широкого применения в эре водородной экономики. Для достижения этой цели необходимо завершение разработки проекта и создание демонстрационного блока для развития направления высокотемпературных реакторов с гелиевым теплоносителем, способных вырабатывать тепло с температурой до 1000°C и выше, для производства электроэнергии с высоким КПД в газотурбинном цикле и для снабжения высокотемпературным теплом и электричеством процессов производства водорода, а также технологических процессов опреснения воды, химической, нефтеперерабатывающей, металлургической и других отраслей промышленности.

Большинство аналитиков признают, что инновационные задачи ядерной энергетики должны быть решены в течение ближайших двух десятилетий, так, чтобы обеспечить коммерческое внедрение новых технологий в тридцатые годы этого века.

Таким образом, мы сегодня стоим перед острой необходимостью разработки и внедрения технологических инноваций, обеспечивающих долговременное и масштабное развитие ядерной энергетики страны, ядерных технологий, обеспечивающих реализацию их исторической роли в будущем России.

## НЕОБХОДИМЫЕ ДЕЙСТВИЯ

- Необходимость активной государственной политики в топливно-энергетическом комплексе страны, направленной на обеспечение ускоренного развития ядерной технологии, с концентрацией усилий и средств для увеличения государственной поддержки в инвестиционной политике и в инновационных проектах ЯЭ.

- Формирование финансово-экономических механизмов поддержки и стимулирования инновационной деятельности в сфере ядерной энергии. На сегодняшний день главным источником финансирования развития атомной энергетики являются инвестированные средства, закладываемые в тариф.

Второе возможное направление финансирования строительства АЭС – субсидирование процентных ставок при кредитовании за счет доходов, получаемых от дополнительного экспорта газа при вводе АЭС.

В настоящее время появился еще один источник финансирования – пенсионные инвестиционные фонды, формируемые в стране, и стабилизационный фонд.

Все эти варианты финансирования реальны, если удастся убедить Правительство, а затем и Государственную Думу в необходимости таких шагов и создании соответствующей нормативно-правовой базы. В этом состоит суть государственной поддержки атомной энергетики России в новых экономических условиях.

- От Правительства требуется признание роли атомной энергетики в структурном сдвиге экономики страны, дающем экономический выигрыш на общегосударственном уровне.

Но Правительство придерживается позиции, что никаких льгот, приоритетов не должно быть, все равно в рыночных условиях. В этом случае впереди оказываются те, у кого есть средства от эксплуатации природных богатств, принадлежащих всему обществу.

Как известно, рынок состоит из субъектов, интересы которых не всегда совпадают с интересами государства. Сегодняшний рынок в России воспроизводит сырьевую направленность экономики. Многие страны мира используют экономические рычаги для регулирования экономики.

Очевидно, что рынок без дополнительных мер государственного регулирования не выводит экономику страны на высокотехнологичную траекторию развития, а атомная энергетика и ядерно-топливный цикл являются одним из направлений структурного сдвига в экономике страны и прорывных технологий XXI в.

- Реформирование ядерно-энергетического комплекса, восстановление эффективных корпоративных связей в цепочке «наука–проект–промышленность» на основе экономических методов при усилении роли ведущих государственных научных центров, которые являются и будут являться «коллективными экспертами», гарантирующими компетентность решений Правительства в сфере ядерных технологий.

- Приоритезация инновационных проектов (в том числе с активным участием российских экспертов в международном проекте МАГАТЭ «INPRO»), концентрация усилий (финансовых и организационных) на технологиях и достижениях, способных обеспечить России достойное место на международном рынке ядерных технологий и расширить экспортные возможности страны.

В качестве приоритетного направления необходимо отметить ЯЭУ малой мощности на основе уникального опыта НИОКР и создания ЯЭУ для АПЛ, способные к конкуренции на обширном и незаполненном пока рынке АЭС малой мощности для развивающихся стран. Речь идет о перспективных ЯЭУ нового поколения (интегральная компоновка, жидкометаллическое охлаждение и т.п.), соответствующих международным требованиям безопасности, экономики и нераспространения.

- Обеспечение аккумулирования, сохранения и передачи знаний и опыта в ядерной области, с активным привлечением исследователей в ядерную отрасль путем экономического (финансового и др.) и организационного стимулирования студентов, аспирантов и привлечения ведущих инженеров, исследователей и ученых к работе в «головных» ядерных университетах и кафедрах страны: МИФИ, ОИАТЭ, МВТУ, МЭИ, МФТИ, МАИ, МГУ и др. Практическая реализация задачи сохранения ядерных знаний и опыта путем разработки, утверждения и реализации «национальной программы» в этой области, создания Российского Центра ядерных знаний и технологий (интегрированного научно-образовательного центра) с регистрацией его как филиала Всемирного ядерного университета.

- Обеспечение (в т.ч. организационное) участия наиболее компетентных профессиональных «отраслевых» и независимых экспертов-ядерщиков в обсуждении и принятии решений по вопросам, определяющим ведущую роль ядерной науки и технологии: в Правительстве, в Совете Безопасности, в Администрации Президента.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Долгосрочные интересы энергетической и национальной безопасности России требуют развития вклада ядерной энергии в производство электричества, водорода, промышленного и бытового тепла для устойчивого развития страны. Накопленные за 50 лет существования в стране ЯЭ огромный технологический опыт и научно-технический потенциал позволяют России, при соответствующих условиях и инновационной политике, выйти на «ядерную передовую» и стать одним из лидеров следующей ядерной эры на благо своего народа, а также ведущим поставщиком ядерных технологий, оборудования, знаний и опыта в развивающиеся страны.

Поступила в редакцию 14.02.2005

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.039:32:338

*Nuclear Technology – Guarantee of the Stable Development Russia in the 21 Century* \V.M. Murogov, N.N. Ponomarev-Stepnoy; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 6 pages, 1 table.

The gives brief analysis of the current and future role of the nuclear technology ( first off all – nuclear energy) in the world and in Russia, specifically Russia, we could say, has to develop the nuclear technology (and nuclear energy, as the key for this development). The nuclear energy is not the only and not so much the part of energy market: it is the key element of the defence power of the russsian nuclear «triada» and moreover, nuclear science and technology predetermine the social-political and technical-economic development of our country in the 21 century.

### УДК 681.51:621.039

*Development and Research of the Ultrasound Wave-Guide Sensors for Control Liquid Metal Coolant* \V.I. Melnikov, M.A. Kamnev, S. Eckert, G. Gerbeth; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 7 pages, 7 illustrations. – References, 9 titles.

New ultrasound wave-guide sensors employing longitudinal and shear wave-guide's for control and diagnostics liquid metal coolant have been developed. The sensor's application possibility for liquid sodium and lead-bismuth eutectic control has been confirmed. A technology of the wave-guide surface preparation aimed to achieve acoustic contact in the liquid metal medium have been developed and tested. Velocities profile various temperatures tests have been carried out in lead-bismuth eutectic and sodium.

### УДК 681.51:621.311.25

*Automatic Weld Flaw Detection Based on the Ultrasonic Testing of NPPs' Pipelines* \A.O. Skomorokhov, P.A. Belousov, A.V. Nakhobov, A.S. Mokrousov, I.F. Schedrin, T.F. Kozak; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). Obninsk, 2005. – 10 pages, 7 illustrations, References – 7 titles.

The paper describes development of algorithms and software of «UZK-Analyst» – a system for automatic weld flaw detection in pipelines of RBMK-type nuclear power plants. The paper covers ultrasonic signals smoothing, dependence of detection levels and statistical characteristics of noise, calculation of flaw coordinates and false alarm minimization. The paper also contains a short description of a system software implementation.

### УДК 621.039.586

*Checking of Continuity of Boron Solution Delivery into Core during Rupture of the First Circuit with Equivalent Diameter 50 – 100 mm* \A.N. Shkarovskiy, V.I. Aksenov, N.P. Serdun'; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 6 pages. – References, 7 titles.

Calculating research of accidents with rupture of the first circuit with equivalent diameter 50 – 100 mm and loss of coolant in reactor operation on power rating with the purpose to check the continuity of boron solution delivery into core is developed. The work is carried out with successive including of three steps of emergency cooling of core: boron injection with high pressure, vbhidrostorage reservoirs, boron injection with low pressure. It is shown, there are intersection in time of end of work of the step with more high pressure and begin of work of the step with more low pressure in all researching conditions. It is ensured reactor cooldown and its transfer in subcritical condition.