

Министерство Российской Федерации
по атомной энергии

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

в первой половине XXI века

*ИЛЛЮСТРАЦИЯ
ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ*

МОСКВА
ФГУП «ЦНИИАтоминформ» – 2001

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Становление атомной энергетики.....	11
Двухэтапное развитие атомной энергетики	12
Современное состояние атомной энергетики	15
Прогнозы развития атомной энергетики	19
Долгосрочные прогнозы	20
Оценка потенциальных возможностей атомной энергетики	23
Варианты структуры атомной энергетики	25
Стратегия безопасного роста	29
Основные принципы стратегии	30
Условия реализации стратегии	36
Атомная энергетика и энергетическая безопасность	52
Этапы стратегии	61
Литература	

ВВЕДЕНИЕ



○ существляемая Минатомом России государственная политика ядерной энергетики определена «Энергетической стратегией России до 2020 года» и разработанной на ее основе «Стратегией развития атомной энергетики России в первой половине XXI века».

Реализация этих основополагающих документов предусмотрена Федеральной целевой программой «Энергоэффективная экономика на 2002-2005 годы и на перспективу до 2010 года» и в ее составе подпрограммой 2 «Безопасность и развитие атомной энергетики Российской Федерации на 2002-2005 годы и на перспективу до 2010 года».

Необходимость разработки долговременной стратегии вызвана тем, что завершающий период первого этапа развития атомной энергетики (АЭ) связан со сложными и противоречивыми процессами: энергонасыщенные развитые страны Америки и Европы в условиях стабилизации топливного рынка свертывают свои ядерные программы, а наиболее заинтересованные в увеличении производства энергии развивающиеся страны, особенно Азии, начинают с повторения не во всём удачного пути, пройденного в XX веке ядерными державами.

Рост мировых потребностей в топливе и энергии при ресурсных и экологических ограничениях традиционной энергетики делает актуальной своевременную подготовку новой энергетической технологии, способной взять на себя существенную часть прироста энергетических нужд, стабилизируя потребление органического топлива. Активные исследования новых возобновляемых источников энергии и управляемого термоядерного синтеза пока не позволяют рассматривать их в качестве реалистических конкурентоспособных способов крупномасштабного замещения традиционного топлива.

Полувековое развитие атомной энергетики не привело пока к ядерной технологии, способной в масштабах мировой энергетики конкурировать с традиционной энерготехнологией. Но исходя из большого практического опыта её первого этапа эта задача может быть решена.

Особенности современного состояния российской энергетики можно охарактеризовать двумя взаимосвязанными положениями:

- время дешёвых энергоресурсов в стране закончилось;
- «газовая пауза» завершилась.

Если учесть, что платёжеспособный внутренний спрос на газ при ценах, обеспечивающих самофинансирование газовой отрасли, в прогнозируемый период практически недостижим, то, очевидно, для оздоровления российской экономики, которую идеология «газовой паузы» привела в «газовую ловушку», не-

обходима интенсивная дегазификация электроэнергетики в значительной степени за счет атомной энергетики, самофинансирование которой вполне достижимо.

Всё это указывает на то, что крупномасштабная атомная энергетика в России может стать востребованной гораздо раньше, чем это прогнозируется в настоящее время. Следовательно, необходима организация работ по созданию технологической базы такой энергетики на основе новой стратегии развития атомной энергетики.

Крупномасштабная атомная энергетика - это энергетика без радиационных последствий для населения. Чтобы достичь этого результата, обеспечивается безаварийная и эффективная работа действующих, замещающих и новых энергоблоков, а также разрабатывается ядерный реактор с детерминистским исключением тяжелых аварий, с освоением которого практически решается задача цивилизованного обращения с радиоактивными отходами, реализуется концепция радиационно-эквивалентного ядерного топливного цикла.

Крупномасштабная атомная энергетика - это энергетика с радиационно-эквивалентным обращением с делящимися ядерными материалами, что потребует:

□ освоения технологии глубокой очистки радиоактивных отходов (РАО) от малых актинидов и трансмутации последних в составе основного топлива, то есть перехода от концепции «чистое топливо - грязные отходы» к концепции «грязное топливо - чистые отходы»;

Реакторный зал Нововоронежской АЭС



□ демонстрации достижимости радиационного баланса между извлекаемым из недр сырьем и захораниваемыми в недрах радиоактивными отходами.

Крупномасштабная атомная энергетика - это военно-политически нейтральная энергетика. Для достижения этой цели необходимо обеспечить технологическую поддержку режима нераспространения ядерного оружия и прекращение производства материалов, необходимых для его изготовления (отказ от наработки плутония в бланкетах и извлечения его при переработке облученного ядерного топлива, а в перспективе - и от технологий обогащения урана).

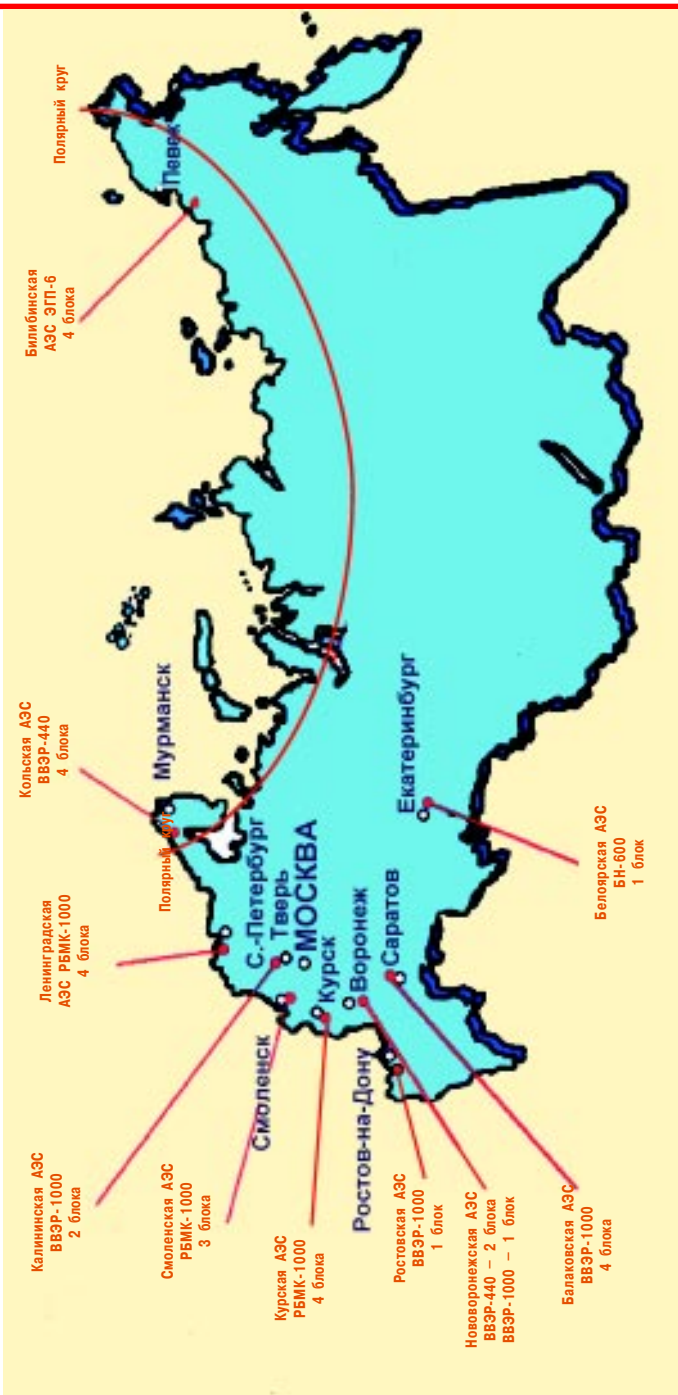
Крупномасштабная атомная энергетика - это конкурентоспособная энергетика. Стоимость АЭС может быть существенно снижена, что возможно только на основе общего принципа, затрагивающего все основное оборудование и технологические системы. Таким принципом является принцип естественной безопасности. Необходимо отказаться от стереотипа «чем дороже, тем безопаснее» и перейти к норме «чем безопаснее, тем дешевле».

В пользу необходимости интенсивного роста атомной энергетики говорит то стратегически важное обстоятельство, что из «газовой ловушки» для европейской части России есть только один «ядерный выход» на перспективный период. Подтверждением этого является ввод в эксплуатацию в 2001 г. первого блока Ростовской АЭС мощностью 1000 МВт, а также принятие пакета «атомных законов», позволяющих России выйти на международный рынок переработки облученного ядерного топлива.

Реакторный зал первой в мире АЭС в г. Обнинске



Действующие АЭС России



Атомная энергетика обладает важными принципиальными особенностями по сравнению с другими энерготехнологиями: ядерное топливо имеет в миллионы раз большую концентрацию энергии и неисчерпаемые ресурсы; отходы атомной энергетики имеют относительно малые объёмы и могут быть надёжно локализованы, а наиболее опасные из них можно «сжигать» в ядерных реакторах; ядерный топливный цикл может быть реализован таким образом, что радиоактивность и радиотоксичность отходов не превысят их значений для руды, из которой добывается уран.

«Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века» является неотъемлемой частью «Энергетической стратегии России до 2020 г.», одобренной Правительством России в 2000 г.

Дальнейшее развитие атомной энергетики невозможно без реализации новой энергетической политики. Суть этой политики нашла отражение в инициативе Президента Российской Федерации В.В. Путина, предложенной на Саммите тысячелетия в ООН 6 сентября 2000 г.

Критический анализ состояния мировой атомной энергетики показал, что дальнейшее ее развитие немыслимо без тесной связи двух ее важнейших для человечества аспектов: долговременного обеспечения энергией безопасным и экономически приемлемым способом и предотвращения ее использования для целей создания ядерного оружия.

Предлагаемый подход способен постепенно заменить существующую сегодня ядерную энергетику с ее проблемами нераспространения, ресурсными и экологическими ограничениями. Это также будет содействовать завершению начатого Россией и США процесса ядерного разоружения запрещением и полной ликвидацией ядерного оружия.

В этой связи Россия предлагает разработать и реализовать при участии МАГАТЭ соответствующий международный проект.

Генеральный директор МАГАТЭ Мохаммед Эль-Барадей на состоявшейся 18 сентября 2000 г. 44-й сессии Генеральной конференции МАГАТЭ с интересом отметил инициативу В.В. Путина, призвавшего все страны присоединиться к международному проекту под эгидой МАГАТЭ, направленному на развитие такой технологии производства ядерной энергии, которая не применяет и не вырабатывает ядерных материалов военного назначения, но в то же время будет способна сжигать долгоживущие отходы облученного ядерного топлива и ядерного оружия. Он выразил готовность МАГАТЭ при необходимости оказать поддержку в координации этого проекта.

Атомная энергетика обладает важными принципиальными особенностями по сравнению с другими энерготехнологиями:

- ядерное топливо имеет в миллионы раз большую концентрацию энергии и неисчерпаемые ресурсы;
- отходы атомной энергетики имеют относительно малые объёмы и могут быть надёжно локализованы, а наиболее опасные из них можно «сжигать» в ядерных реакторах;
- ядерный топливный цикл может быть реализован таким образом, что радиоактивность и радиотоксичность отхо-

дов не превысят их значений для руды, из которой добывается уран.

Это открывает принципиально новые возможности и перспективы:

- реализации такого топливного цикла, при котором из ограниченных природных запасов топливного сырья в течение тысячелетий можно получать необходимое количество энергии для удовлетворения энергопотребности человечества при любом прогнозируемом сценарии развития цивилизации;
- осуществления такого замкнутого технологического цикла, при котором воздействие атомной энергетики на окружающую среду будет существенно меньше, чем воздействие других традиционных энерготехнологий;
- развития энергетики для удалённых районов и для крупных транспортных средств;
- замещения ядерным топливом органического топлива, которое в отличие от первого может быть эффективно использовано для других целей: химический синтез, транспорт и т.д.

Таким образом, атомная энергетика потенциально обладает всеми необходимыми качествами для постепенного замещения значительной части энергетики на ископаемом органическом топливе и становления в качестве доминирующей энерготехнологии.

Создание необходимых предпосылок к развитию крупномасштабной атомной энергетики и реализация ее принципиальных особенностей составляют основное содержание стратегии развития атомной энергетики России.

Востребованность принципиальных особенностей атомной энергетики будет означать востребованность крупномасштабной атомной энергетики.

Значение развития ядерной технологии и атомной энергетики для России определяется её национальными интересами:

- ядерные технологии в рассматриваемый период остаются основой обороноспособности России;
- атомная энергетика без ограничений со стороны дешевого и общедоступного топлива открывает новые возможности в развитии экономики России;
- крупномасштабная атомная энергетика переносит центр тяжести энергетического производства с топливодобывающих отраслей и транспортировки топлива на современные наукоёмкие ядерные и сопутствующие неядерные технологии, а в экспорте - с топливного сырья на

Создание необходимых предпосылок к развитию крупномасштабной атомной энергетики и реализация ее принципиальных особенностей составляют основное содержание стратегии развития атомной энергетики России. Востребованность принципиальных особенностей атомной энергетики будет означать востребованность крупномасштабной атомной энергетики.

продукцию этих технологий, что даст новый импульс социальному развитию России;

- развитая атомная энергетика позволит избежать опасностей, связанных с исчерпанием органического топлива и международными конфликтами из-за его источников, что будет способствовать стабилизации международной обстановки;
- вовлечение плутония из сокращаемых ядерных боеголовок и ядерного топлива (ЯТ) в сбалансированный по нему замкнутый топливный цикл быстрых реакторов будет способствовать режиму нераспространения; с переводом же в дальнейшем тепловых реакторов в торий-урановый цикл, построенный аналогичным образом, отпадёт нужда в технологиях обогащения урана и выделения Pu или ^{233}U , что будет являться важной технологической предпосылкой к полному запрещению ядерного оружия и значительным фактором увеличения глобальной безопасности;
- способствуя безопасному экономическому и социальному развитию и сохранению среды обитания, атомная энергетика будет давать весомый вклад в рост продолжительности и качества жизни граждан России.

Инициатива России по выработке долговременной ядерной стратегии вполне соответствует ее традиции и статусу в этой области, ее собственным интересам и глубоким интересам мирового сообщества. Разработка стратегии должна быть нацелена на решение долговременных топливно-энергетических проблем не только России, но и мира и исходить из представлений о вероятном развитии мировой энергетике в рассматриваемый период и далее.

Будущее атомной энергетике России зависит от решения трёх главных задач:

- поддержания безопасного и эффективного функционирования действующих АЭС и их топливной инфраструктуры;
- постепенного замещения действующих АЭС энергоблоками повышенной безопасности (энергоблоки третьего и четвертого поколений) и осуществления на их основе в последующие 20-30 лет уверенного роста установленной мощности атомных энергоблоков и увеличения экспортного потенциала;
- разработки и овладения в промышленных масштабах ядерной энерготехнологией, отвечающей требованиям крупномасштабной энергетике по экономике, безопасности и топливному балансу.

СТАНОВЛЕНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ





Энрико Ферми – один из создателей ядерной и нейтронной физики. Построил первый ядерный реактор и осуществил в нем цепную ядерную реакцию

Тепловые реакторы на ^{235}U используют природный уран неэффективно (менее 1%). Они могут давать вклад в мировую энергетику лишь ограниченное время.

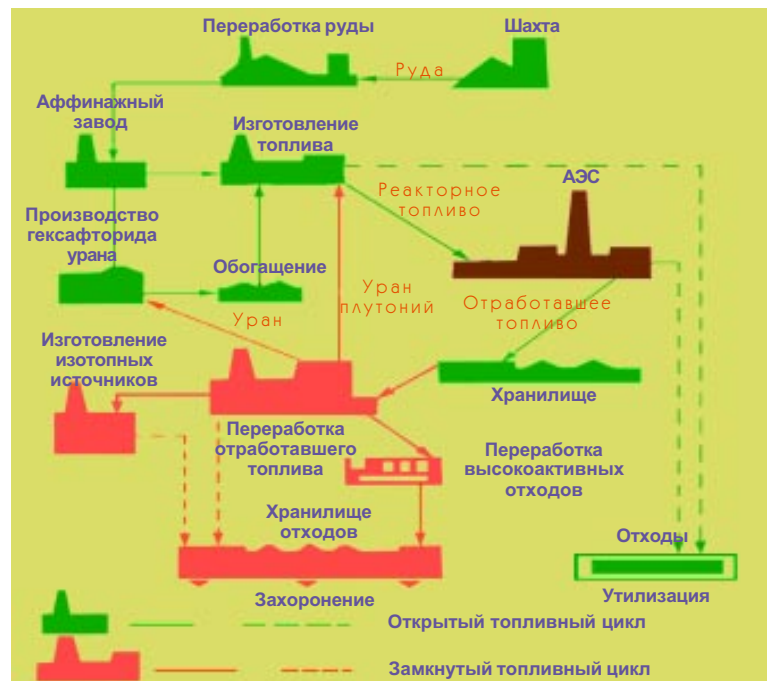
На основе благоприятного опыта эксплуатации первого поколения гражданских ядерно-энергетических установок сформировалось представление о развитии атомной энергетики в два этапа:

- энергетика на тепловых реакторах и накопление в них плутония для запуска и параллельного освоения быстрых реакторов;
- развитие на основе быстрых реакторов крупномасштабной атомной энергетики, постепенно замещающей традиционную энергетику на ископаемом органическом топливе.

Стратегической целью являлось овладение на основе ядерного бридинга неисчерпаемыми ресурсами дешевого топлива – урана и, возможно, тория.

Тактической целью было использование тепловых реакторов на ^{235}U (освоенных для атомных подводных лодок и производства оружейных материалов – плутония и трития) с целью производства энергии и радиоизотопов для народного хозяйства и накопления энергетического плутония для быстрых реакторов.

Уран-плутониевый топливный цикл



Тепловые реакторы на ^{235}U используют природный уран неэффективно (менее 1%). Они могут давать вклад в мировую энергетику лишь ограниченное время.

Считалось, что по мере накопления тепловыми реакторами плутония для запуска и освоения быстрых реакторов может быть развита крупномасштабная атомная энергетика, постепенно замещающая традиционную, не имеющая в дальнейшем ограничений со стороны ресурсов дешёвого топлива, т.к. для реакторов с коэффициентом воспроизводства равным или большим единицы, полностью использующих природный уран или торий, приемлемы бедные месторождения данных ресурсов.

Два обстоятельства оказали сильное влияние на становление атомной энергетики:

- Высокие темпы роста традиционной энергетики в послевоенные десятилетия - в мире 5-7% в год, в СССР до 10% в год - предъявляли такие же высокие требования к развитию атомной энергетики.
- Успехи ядерных технологий в военной области и первых АЭС породили амбициозные намерения создать уже к концу века атомную энергетику масштаба до сотен тысяч гигаватт (в СССР до 100 ГВт).

Развитие мирной ядерной энергетики началось в 1954 г. с пуском в СССР первой атомной электростанции в г. Обнинске. Мощность первой АЭС была всего 5 МВт (эл.), но за ней последовало сооружение более мощных АЭС во всем мире.

К 80-м годам в мире насчитывалось около 300 действующих ядерных реакторов общей установленной мощностью около 200 ГВт (эл.). Атомная энергетика производила около 10% общемирового количества электроэнергии. Таким образом, всего за четверть века мощность АЭ возросла от 5 до 200 ГВт. Трудно найти в истории пример подобного быстрого внедрения новой энергетической технологии в жизнь общества. Такие темпы во многом определялись государственными инвестициями в реакторную базу и топливный цикл, развивавшихся для военных целей.

В 2000 г. в 33 странах 438 атомных энергоблока суммарной электрической мощностью 351 ГВт выработали ~2450 млрд кВт·ч.

Амбициозные программы развития уже в новом веке атомной энергетики крупных масштабов оказались и невостребованными, и неподготовленными технически:

- крупные аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд» (США) и в Чернобыле указали на неприемлемый уровень безопасности АЭС первых поколений;



Курчатов
Игорь Васильевич – академик, первый организатор и руководитель работ по атомной науке и технике в СССР

В 2000 г. в 33 странах 438 атомных энергоблока суммарной электрической мощностью 351 ГВт выработали ~2450 млрд кВт·ч.

Становление атомной энергетики



Александр Анатолий Петрович – руководитель исследований и разработок по созданию ядерных реакторов в СССР



Доллежал Николай Антонович – главный конструктор первых отечественных промышленных реакторов и реакторов подводных лодок

- строительство быстрых реакторов ограничилось первыми опытными блоками из-за их большей по сравнению с тепловыми реакторами стоимостью, а вопросы топливообеспечения на длительную перспективу отошли на второй план;
- не нашли приемлемого решения проблемы обращения с отдельными видами облучённого ЯТ и с РАО;
- не было найдено надёжного решения проблемы нераспространения ядерного оружия.

Таким образом, первая стратегия развития атомной энергетики - стратегия быстрого роста на быстрых реакторах не была осуществлена ни в одной стране.

Характеристики действующих АЭС

Название АЭС	Номер блока	Тип реактора	Электрическая мощность (брутто), МВт	Поколение энергоблока	Срок ввода в эксплуатацию, год	Окончание назначенного срока службы, год
Белоярская*	3	БН-600	600	II	1980	2010–2020**
Билибинская	1	ЭГП-6	12	I	1974	2004–2014**
	2	ЭГП-6	12	I	1974	2004–2014**
	3	ЭГП-6	12	I	1975	2005–2015**
	4	ЭГП-6	12	I	1976	2006–2016**
Балаковская	1	ВВЭР-1000	1000	II	1985	2015
	2	ВВЭР-1000	1000	II	1987	2017
	3	ВВЭР-1000	1000	II	1988	2018
	4	ВВЭР-1000	1000	III	1993	2023
Калининская	1	ВВЭР-1000	1000	II	1984	2014
	2	ВВЭР-1000	1000	II	1986	2016
Кольская	1	ВВЭР-440	440	I	1973	2003–2013**
	2	ВВЭР-440	440	I	1974	2004–2014**
	3	ВВЭР-440	440	II	1981	2011
	4	ВВЭР-440	440	II	1984	2014
Курская	1	РБМК-1000	1000	I	1976	2006–2016**
	2	РБМК-1000	1000	I	1979	2009–2019**
	3	РБМК-1000	1000	II	1983	2013
	4	РБМК-1000	1000	II	1985	2015
Ленинградская	1	РБМК-1000	1000	I	1973	2003–2013**
	2	РБМК-1000	1000	I	1975	2005–2020**
	3	РБМК-1000	1000	II	1979	2009–2019**
	4	РБМК-1000	1000	II	1981	2011
Нововоронежская	3	ВВЭР-440	417	I	1971	2001–2011**
	4	ВВЭР-440	417	I	1972	2002–2012**
	5	ВВЭР-1000	1000	II	1980	2010
Смоленская	1	РБМК-1000	1000	II	1982	2012
	2	РБМК-1000	1000	II	1985	2015
	3	РБМК-1000	1000	II	1990	2020

* Первые и вторые энергоблоки указанных АЭС остановлены для выполнения работ по выводу их из эксплуатации.

** С учетом продления назначенного срока службы на 10 лет.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В России сегодня эксплуатируются 30 энергоблоков установленной электрической мощностью 22,24 ГВт. В их числе 14 энергоблоков с реакторами типа ВВЭР, 11 энергоблоков с реакторами типа РБМК, 4 энергоблока типа ЭГП Билибинской АТЭЦ с канальными водографитовыми реакторами и один энергоблок на быстрых нейтронах БН-600. Россия имеет уникальный опыт эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах – БН-350 и БН-600 (безаварийная работа в течение 20 лет).

Продолжается эксплуатация в режиме энергообеспечения канальных уран-графитовых промышленных реакторов в г. Северске (Сибирская АЭС) и г. Железногорске.

Кроме этого, на стадии высокой степени достройки находятся 4 энергоблока: на Ростовской, Калининской, Балаковской АЭС с ВВЭР-1000 и на Курской АЭС с РБМК-1000.

В 2000 г. АЭС России выработали 130,3 млрд кВт·ч; только за счёт увеличения КИУМ эта выработка оказалась больше уровня электроэнергии, выработанной на действующих АЭС в 1989 г.

Несмотря на значительную роль, которую играет атомная энергетика, сегодня можно говорить об определённом её кризисе. Об этом свидетельствует наметившаяся тенденция падения её доли в мировом энергопроизводстве, сворачивание ядерных программ и разработок по быстрым реакторам в развитых странах Запада. Кроме того, АЭ подвергается критике, вплоть до требования её полного закрытия. И хотя в подобной критике часто присутствует субъективизм, а то и полная необъективность, следует признать, что веские основания для критики имеются. Атомная энергетика, как и любая технология, требует совершенствования. Более того, имеются и особые основания для обостренного внимания к ней:

- потенциальная опасность аварий с большим экологическим и экономическим ущербом (реальность этой опасности подтверждена рядом аварий);
- накопление высокоактивных и долгоживущих отходов;
- связь ядерной энергетики с опасностью распространения ядерного оружия и ряд других.

Современные ядерные реакторы при существующем масштабе атомной энергетики являются достаточно безопасными установками. Несмотря на случавшиеся время от времени аварии и инциденты, нельзя забывать о том, что атомная энергетика наработала уже около 8000 реакторо-лет, из них ~5000 без крупных аварий после апреля 1986 г. Это – важный успех ядерной технологии. На рис. 1 представлена динамика одного из важнейших интегральных показателей безопасности.



**Лейпунский
Александр Ильич** –
руководитель
разработки ядерных
реакторов-
размножителей
на быстрых нейтронах

**В 2000 г. АЭС России
выработали
130,3 млрд кВт·ч;
только за счёт увели-
чения КИУМ эта выра-
ботка оказалась боль-
ше уровня электро-
энергии, выработан-
ной на действующих
АЭС в 1989 г.**

Становление атомной энергетики

Безопасность настоящего поколения реакторов обеспечивается, главным образом, увеличением количества различных систем безопасности и систем ограничения выхода активности, ужесточением требований к оборудованию и персоналу. В результате АЭС становятся все более и более сложными и, следовательно, - более и более дорогими. Можно сказать, что при господствующей в настоящее время философии безопасности атомная энергетика близка к её экономически «предельному» уровню: дальнейшее наращивание систем безопасности ведёт к снижению существующей конкурентоспособности атомной энергетики.

Анализ современного состояния атомной энергетики позволяет сделать следующие выводы:

- Эксплуатационная безопасность современной атомной энергетики является приемлемой для существующих масштабов её использования при условии постепенного за-

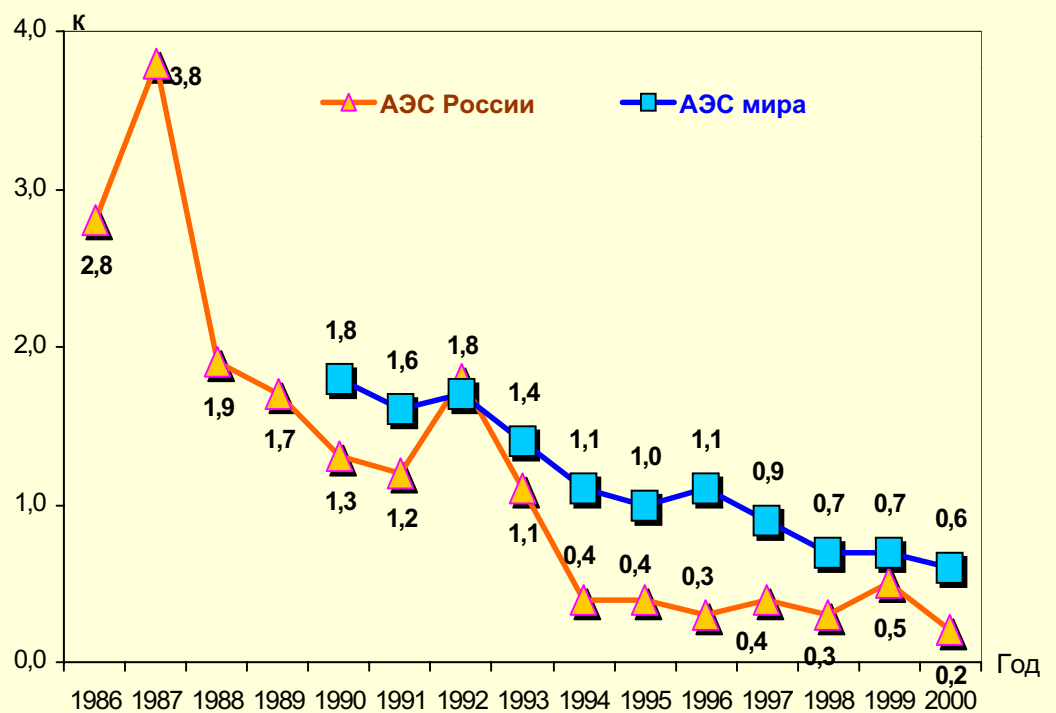


Рис. 1. Количество автоматических остановов реакторов из критического состояния (K) в России и в мире на 7000 ч работы блока (по данным ВАО АЭС)

мещения действующих энергоблоков на реакторы третьего и четвертого поколений.

- Ресурсы природного рентабельно извлекаемого из недр урана ограничены. При доминирующей сегодня практике «сжигания» урана в тепловых реакторах эти ресурсы будут исчерпаны уже в следующем веке как в России, так и в мире в целом. Переработка отработавшего топлива при рециклировании плутония (МОХ-топливо) в тепловых реакторах может лишь ненамного продлить эти сроки, увеличивая затраты и снижая возможность последующего развития на быстрых реакторах.
- Конкурентоспособность атомной энергетики при существующих расходах на безопасность, обеспечиваемую наращиванием инженерных систем, имеет устойчивую тенденцию к снижению.

Пульт управления АЭС



Схема АЭС с ВВЭР-1000

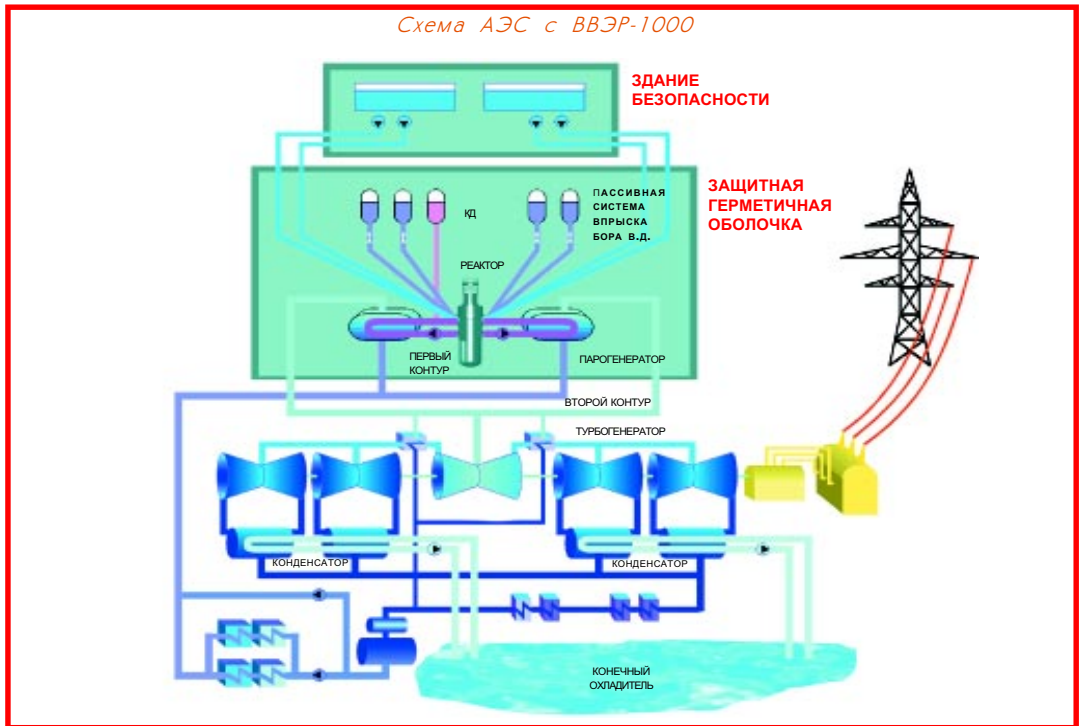
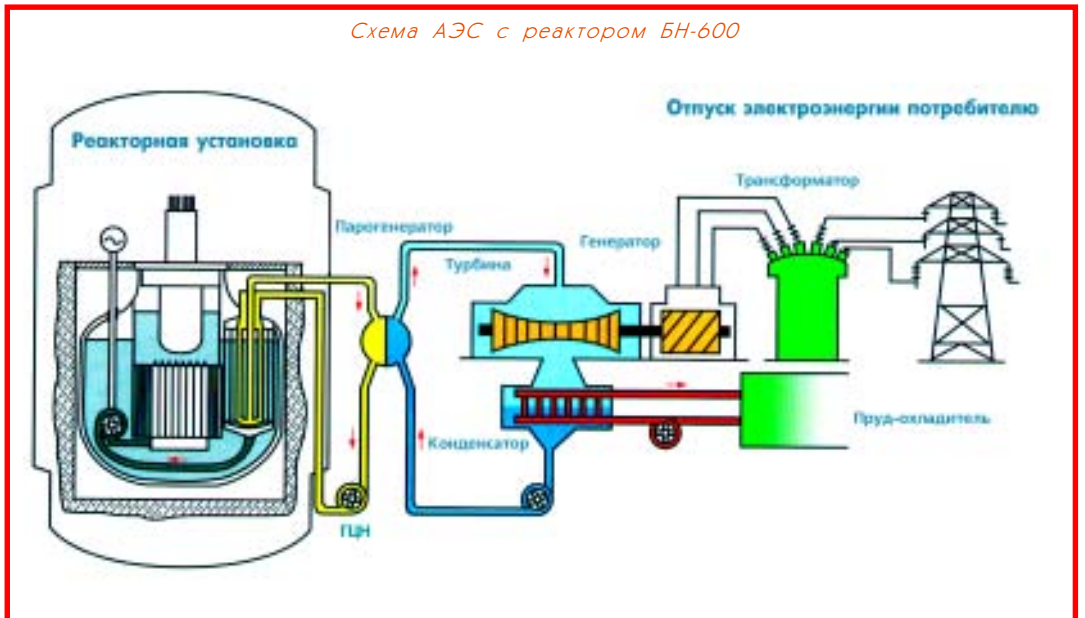



Схема АЭС с реактором БН-600





ПРОГНОЗЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ

На ядерную энергию приходится ~6% мирового топливно-энергетического баланса и ~17% производимой электроэнергии.

В настоящее время атомная энергетика сохраняет свои позиции как один из основных мировых источников энергии.

На ядерную энергию приходится ~6% мирового топливно-энергетического баланса и ~17% производимой электроэнергии.

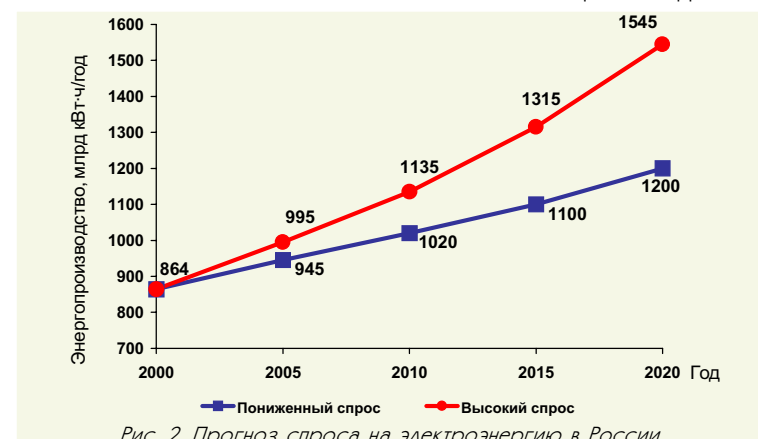
Прогнозируется рост мощностей АЭС, прежде всего в странах Азии и Азиатско-Тихоокеанского региона (Китай, Южная Корея, Индия, Япония), а также некоторых стран Восточной Европы (Чешская Республика, Словацкая Республика) и ряда стран, входящих в Содружество Независимых Государств (Россия, Украина, Казахстан). У целого ряда стран есть намерение вступить в «ядерный энергетический клуб» (Турция, Иран, Индонезия, Вьетнам). Однако по современным прогнозам МАГАТЭ, даже при осуществлении этих намерений общемировая доля ядерной электроэнергии в электропроизводстве в ближайшие 20-25 лет составит 12-15%.

Долгосрочные прогнозы мировой атомной энергетики весьма противоречивы, что отражает и отношение к ней общества, и неблагоприятную для нее конъюнктуру, и настроения в самом ядерном сообществе после неудавшейся попытки решить все ее проблемы с ходу.

Возможные варианты развития электроэнергетики и атомной энергетики представлены: прогноз спроса на электроэнергию в России - рис. 2; прогноз мирового производства электроэнергии - рис. 3; воспроизводство и развитие мощностей России - рис. 4; ресурсный потенциал АЭС - рис. 5.

В различных прогнозах МИРЭС, IEA/OECD, МАГАТЭ, РАН доля атомной энергетики к 2050 г. в мировом энергобалансе не превысит 15-25%.

По результатам прогнозных оценок Института систем энергетики им. Л.А.Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН общий вклад атом-



ной энергетики в мировой энергетический баланс может возрасти к 2100 г. до 30%.

Международное энергетическое агентство (IEA/OECD, 1998) прогнозирует к 2020 г. снижение доли атомной энергетики в производстве электричества до ~10% при сохранении общей

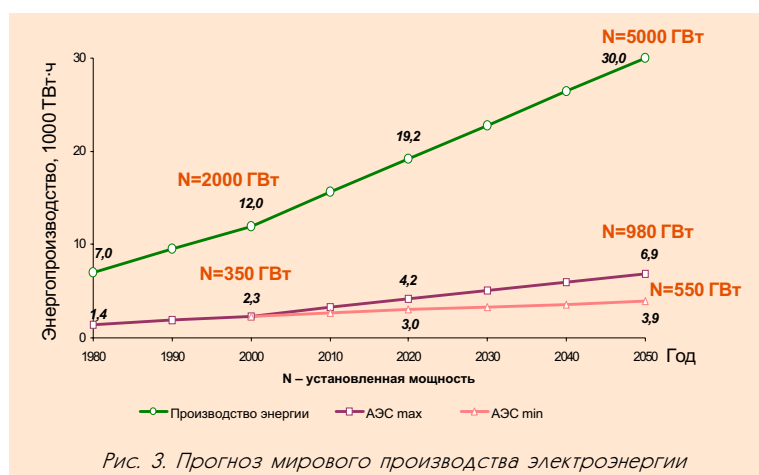


Рис. 3. Прогноз мирового производства электроэнергии

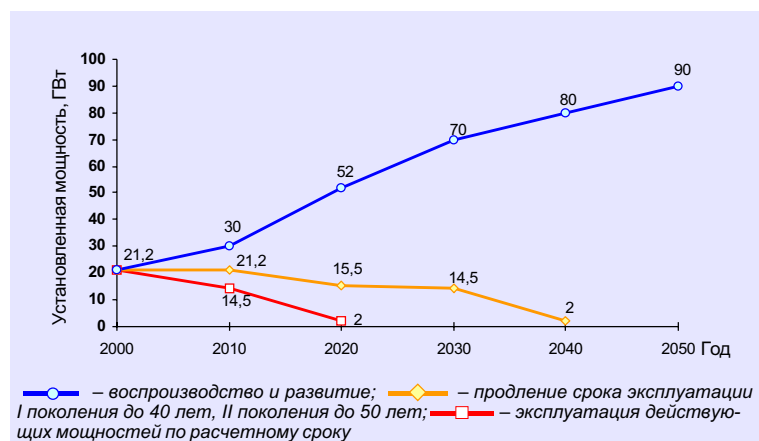


Рис. 4. Воспроизводство и развитие мощностей России до 2050 г.

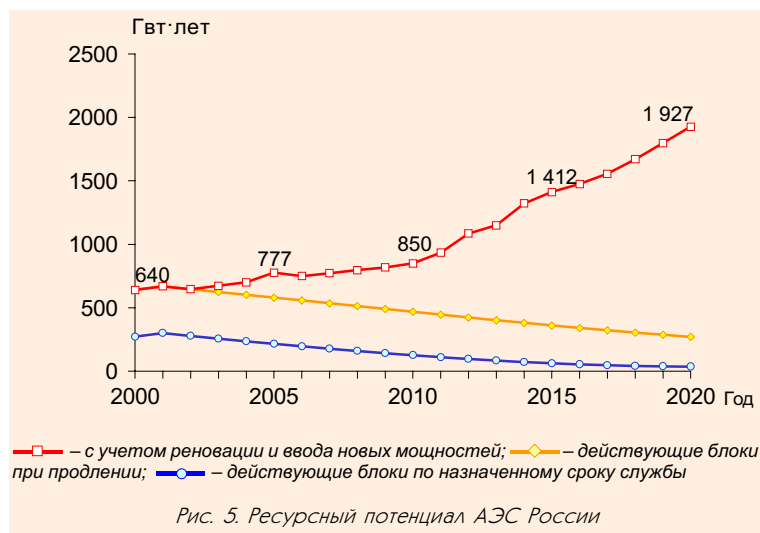
	2000 г.	2010 г.	2020 г.	2030 г.	2040 г.	2050 г.
Выработка всего, млрд кВт·ч	878	1055	1240	1630	1870	2100
Выработка АЭС, млрд кВт·ч	130	212	340	490	560	630
Доля АЭС в общей выработке, %	15	20	27	30	30	30

Рис. 4. Воспроизводство и развитие мощностей России до 2050 г.

Прогнозы развития АЭ

Прогнозы 1999 г. Института энергетических исследований РАН указывают на возможность роста производства электроэнергии АЭС России до 205 млрд кВт·ч в 2010 г. и до 340 млрд кВт·ч в 2020 г.

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ



установленной мощности атомных энергоблоков на сегодняшнем уровне.

Министерство энергетики США (DOE, 1999) в качестве наиболее вероятного сценария рассматривает снижение к 2020 г. установленной мощности атомных энергоблоков на 10% в мире и на 25% в развитых странах.

Прогнозы 1999 г. Института энергетических исследований РАН указывают на возможность роста производства электроэнергии АЭС России до 205 млрд кВт·ч в 2010 г. и до 340 млрд кВт·ч в 2020 г.

Ожидаемое к середине XXI века почти удвоение населения Земли, в основном за счёт развивающихся стран, и приобщение этих стран к индустриальному развитию может привести к удвоению мировых потребностей в первичной и к утроению (до 5000 ГВт) в электрической энергии. Атомная энергетика, отвечающая требованиям крупномасштабной энергетики по безопасности и экономичности, могла бы взять на себя после 2020 г. существенную часть прироста мировых потребностей в энергопроизводстве (до 300 ГВт). Развитие к середине века мировой атомной энергетики такого масштаба явилось бы радикальным средством стабилизации потребления обычных топлив и предотвращения следующих кризисных явлений:

- истощения дешёвых ресурсов углеводородных топлив и возникновения конфликтов вокруг их источников, дестабилизации мирового топливного цикла;
- достижения опасных пределов выбросов продуктов химического горения.

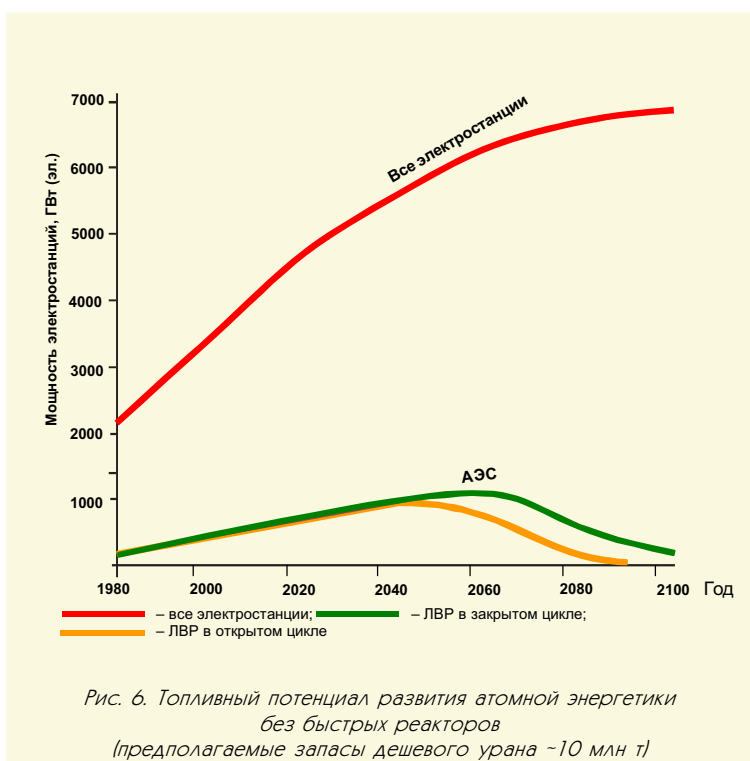
ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Мировые ресурсы урана в наиболее богатых месторождениях с концентрацией металла в рудах $\approx 0,1\%$ в настоящее время оцениваются следующим образом: разведанные - несколько более 5 млн т, потенциальные - 10 млн т.

За время жизни (~50 лет) тепловой реактор мощностью 1 ГВт (эл.) потребляет ~10 тыс. т природного урана, поэтому 10 млн т урана позволяют ввести 1000 блоков АЭС с такими реакторами, из которых ~350 ГВт (эл.) работают сейчас, а 650 ГВт (эл.) могут быть введены в XXI веке. В результате в первой половине этого столетия мощности мировой АЭ на тепловых реакторах с учётом вывода из эксплуатации отработанных блоков могут вырасти вдвое, но ее вклад в производство энергии будет постепенно падать, а во второй половине века сойдет на нет (рис. 6).

Ежегодная потребность современной атомной энергетики России в природном уране составляет до 3 тыс. т, а с учетом экспортных поставок ядерного топлива ~7 тыс. т. При имеющихся ресурсах урана (залежи в недрах, складские запасы на горнодобывающих предприятиях, запасы высокообогащённо-

Имеющиеся мировые и российские запасы природного урана не могут обеспечить устойчивого долгосрочного развития атомной энергетики на тепловых реакторах.



Прогнозы развития АЭ

го урана) срок функционирования отечественной атомной энергетики на тепловых реакторах, если оставаться на уровне мощности ~20 ГВт (эл.), составляет ~80 лет. Замыкание топливного цикла тепловых реакторов с вовлечением энергетического плутония и регенерированного урана продлит этот срок на 20 лет в зависимости от способа изготовления регенерированного топлива.

Имеющиеся мировые и российские запасы природного урана не могут обеспечить устойчивого долговременного развития атомной энергетики на тепловых реакторах.

В быстром реакторе при коэффициенте воспроизводства равном единице или выше можно сжигать уран практически полностью. Увеличение энергетического выхода от ядерного топлива в 200 раз, по сравнению с тепловым реактором, позволяет обеспечить 4000 ГВт (эл.) на быстрых реакторах дешевым ураном с запасом топлива в течение 2,5 тыс. лет при малой топливной (сырьевой) составляющей затрат. Для быстрых реакторов приемлем и уран из бедных месторождений, ресурсы которого в сотни или даже тысячи раз больше ресурсов дешевого урана (рис. 7).

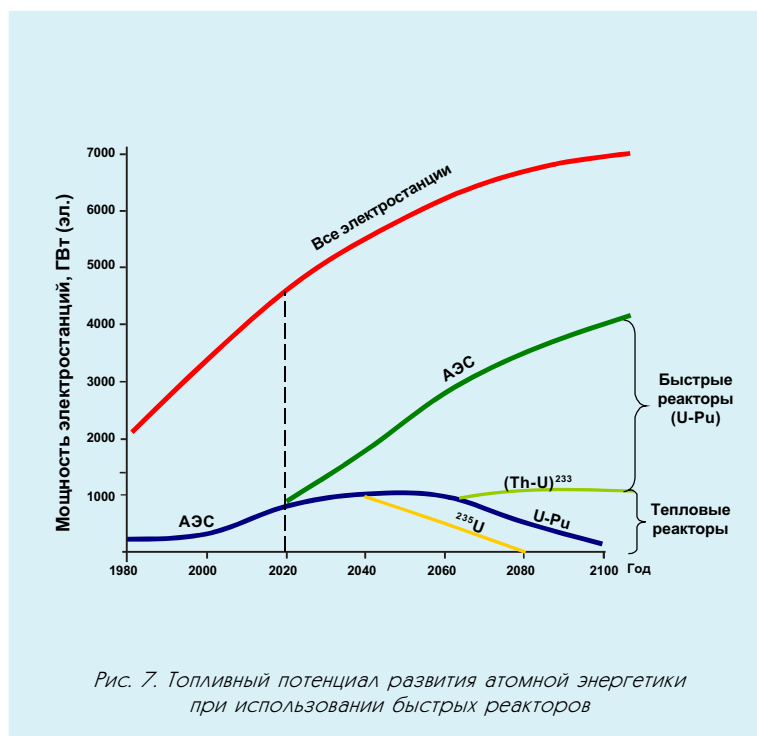


Рис. 7. Топливный потенциал развития атомной энергетики при использовании быстрых реакторов

ВАРИАНТЫ СТРУКТУРЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

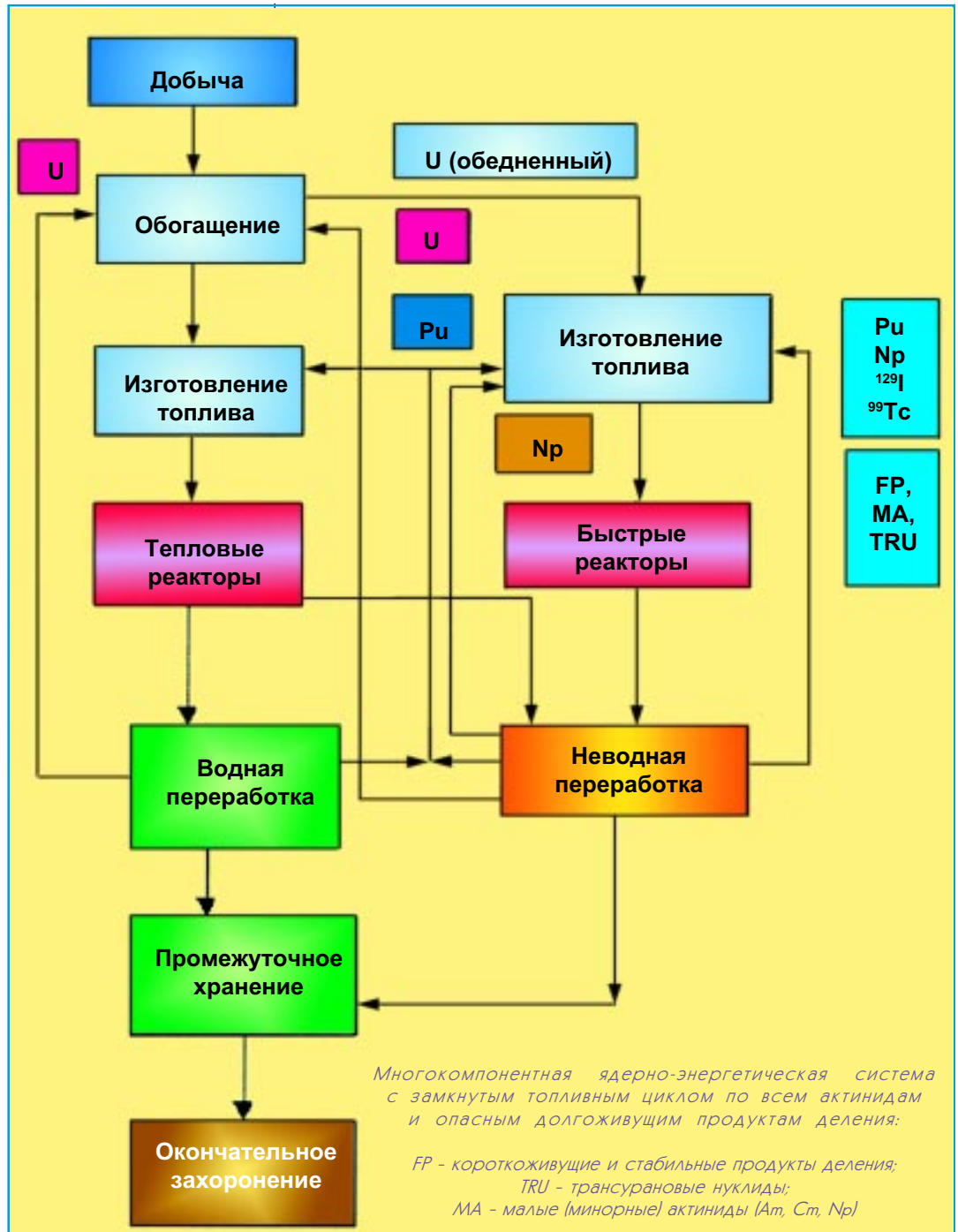
Развитие атомной энергетики в два этапа предполагает длительное, до 50 лет, сосуществование тепловых реакторов на ^{235}U , пока есть дешёвый уран, и быстрых реакторов, которые вводятся на плутонии из оружейных запасов и из тепловых реакторов и практически не имеют ограничений по топливным ресурсам.

В двухкомпонентной структуре целесообразен постепенный переход тепловых реакторов на выгодный для них торий-урановый цикл с производством ^{233}U для начальной загрузки и подпитки из Th-бланкетов быстрых реакторов. Двухкомпонентная структура атомной энергетики будущего имеет под собой веские основания, но важный для неё вопрос о пропорциях между быстрыми и тепловыми реакторами требует адекватного решения.

В предстоящие полвека, пока есть дешёвый уран для тепловых реакторов, этот вопрос не имеет принципиального значения. Плутоний, получаемый в тепловых реакторах, целесообразно использовать для запуска быстрых реакторов, не требуя от них высоких коэффициентов воспроизводства и коротких времён удвоения плутония. Проблема топливообеспечения тепловых реакторов и участия в нём быстрых реакторов может возникнуть лишь за пределами рассматриваемого здесь периода, и при её решении нужно учитывать следующие обстоятельства:

- Производство электроэнергии растёт быстрыми темпами и составит в XXI веке около или более половины в мировом топливно-энергетическом балансе (табл. 1) и поэтому потребует интенсивного роста атомной энергетики, что снова выдвигает на первый план после 2020 г. широкомасштабное развитие быстрых реакторов.
- В отличие от органической энергетики, где на топливо приходится ~50% издержек производства электроэнергии, затраты на ядерное топливо относительно малы (~15%), а основная часть издержек в АЭ – сооружение и обслуживание – уменьшается с увеличением единичной мощности реакторов и АЭС, что делает производство электроэнергии на крупных АЭС доминирующим направлением атомной энергетики (энергоблоки ВВЭР-1500, БН-1600).
- Проблема коротких времён удвоения плутония и связанные с ней соображения о нежелательности участия быстрых реакторов в регулировании нагрузки в энергосистемах сегодня и в обозримом будущем не актуальны.
- Последние проекты АЭС с тепловыми и быстрыми реакторами указывают на значительное снижение разницы в их стоимости даже для быстрых реакторов традицион-

Прогнозы развития АЭ



Прогнозы развития АЭ

Таблица 1

Общее потребление первичных энергоносителей, доля первичных энергоносителей, используемых для производства электроэнергии, и доля АЭС в потреблении первичных энергоносителей в регионах мира в 1997 г. и прогноз до 2020 г.*

Регион	1997 г.			2000 г.			2010 г.			2020 г.		
	Общее потребление, ЭДж	Для производства электроэнергии, %	Доля АЭС, %	Общее потребление, ЭДж	Для производства электроэнергии, %	Доля АЭС, %	Общее потребление, ЭДж	Для производства электроэнергии, %	Доля АЭС, %	Общее потребление, ЭДж	Для производства электроэнергии, %	Доля АЭС, %
Северная Америка	108,7	35,9	6,3	$\frac{113}{117}$	$\frac{36}{36}$	$\frac{5,8}{5,7}$	$\frac{123}{139}$	$\frac{36}{36}$	$\frac{4,8}{4,7}$	$\frac{131}{157}$	$\frac{38}{39}$	$\frac{3,1}{5,3}$
Латинская Америка	28,7	29,6	0,7	$\frac{31}{32}$	$\frac{30}{31}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{39}{47}$	$\frac{33}{34}$	$\frac{0,6}{0,7}$	$\frac{48}{64}$	$\frac{36}{36}$	$\frac{0,4}{1}$
Западная Европа	62,6	41,3	12,9	$\frac{64}{66}$	$\frac{42}{42}$	$\frac{13}{12}$	$\frac{68}{76}$	$\frac{44}{47}$	$\frac{12}{11}$	$\frac{72}{86}$	$\frac{45}{52}$	$\frac{8,6}{11}$
Восточная Европа и страны бывшего СССР	54,1	30,7	4,5	$\frac{54}{55}$	$\frac{31}{31}$	$\frac{5,1}{5,2}$	$\frac{61}{67}$	$\frac{32}{33}$	$\frac{4,8}{5,4}$	$\frac{75}{90}$	$\frac{34}{34}$	$\frac{3}{5,2}$
РОССИЯ	31	31	4,1	$\frac{30,4}{30,4}$	$\frac{32}{32}$	$\frac{4,6}{4,6}$	$\frac{32}{34,5}$	$\frac{36,5}{36}$	$\frac{8,0}{7,9}$	$\frac{33,3}{41}$	$\frac{43}{41}$	$\frac{12}{11,5}$
Африка	17,2	21,5	0,7	$\frac{19}{19}$	$\frac{22}{22}$	$\frac{0,7}{0,7}$	$\frac{25}{28}$	$\frac{23}{23}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{33}{42}$	$\frac{26}{25}$	$\frac{0,4}{0,8}$
Средний Восток и Южная Азия	35,6	25,7	0,2	$\frac{40}{42}$	$\frac{26}{26}$	$\frac{0,2}{0,3}$	$\frac{59}{71}$	$\frac{29}{29}$	$\frac{0,4}{0,5}$	$\frac{88}{122}$	$\frac{32}{32}$	$\frac{0,5}{0,7}$
Юго-Восточная Азия и Океания	19,6	24,3	–	$\frac{21}{22}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{–}{–}$	$\frac{30}{34}$	$\frac{28}{28}$	$\frac{–}{0,1}$	$\frac{43}{53}$	$\frac{30}{30}$	$\frac{–}{1}$
Дальний Восток	80,5	33,3	5,2	$\frac{88}{91}$	$\frac{34}{34}$	$\frac{4,9}{4,8}$	$\frac{118}{134}$	$\frac{38}{38}$	$\frac{5,8}{6,4}$	$\frac{159}{198}$	$\frac{42}{42}$	$\frac{5,1}{6,5}$
Всего в мире	406,9	33,0	5,4	$\frac{430}{445}$	$\frac{33}{33}$	$\frac{5,1}{5,0}$	$\frac{524}{597}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{4,6}{4,7}$	$\frac{648}{812}$	$\frac{37}{38}$	$\frac{3,3}{4,7}$

* Числитель – нижняя оценка; знаменатель – верхняя оценка.

Балаковская АЭС



ного типа. Разработка быстрых реакторов на основе принципа естественной безопасности позволяет рассчитывать на то, что капитальные затраты в АЭС с быстрыми реакторами нового поколения будут ниже, чем в современных АЭС с ЛВР, и сопоставимы с ТЭС.

- Требования высокого коэффициента воспроизводства и коротких времён удвоения плутония препятствуют реализации потенциала быстрых реакторов по экономичности и безопасности.

Итак, при любом варианте развития в крупномасштабной ядерной энергетике будущего могут найти свое место разные типы реакторов на тепловых нейтронах при доминирующей роли быстрых реакторов. Двухкомпонентную схему с покрытием дефицита топлива для тепловых реакторов за счёт избыточного производства в быстрых реакторах следует рассматривать лишь как отдалённую перспективу. В рассматриваемый период тепловые реакторы будут работать на ^{235}U , но для следующих этапов следует начать подготовку их к переводу в торий-урановый цикл с производством недостающего ^{233}U в ториевых blankets быстрых реакторов. При накоплении в них ^{233}U с концентрацией в тории, необходимой для тепловых реакторов, изготовление торий-уранового топлива не потребует извлечения чистого ^{233}U .

Структура атомной энергетики России в рассматриваемый период будет в значительной степени определяться масштабами её востребованности. В случае интенсивного развития атомной энергетики решающую роль в ней станут играть быстрые реакторы, т.к. топливная база тепловых реакторов в России не сможет обеспечить устойчивого роста установленной мощности (более 3-4 ГВт/год) и при таком варианте будет исчерпана уже в первой половине XXI века.

A photograph of a high-voltage electrical substation. In the foreground, a yellow crane is positioned on a blue truck. The background shows several tall, white, cylindrical insulators supporting power lines. The sky is clear and blue.

СТРАТЕГИЯ БЕЗОПАСНОГО РОСТА

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СТРАТЕГИИ

ВОСПРОИЗВОДСТВО ЯТ

Воспроизводство делящихся материалов - одна из основных предпосылок развивающейся атомной энергетики. Эта функция в рассматриваемый период будет реализовываться быстрыми реакторами.

Задачи атомной энергетики большого масштаба решаются быстрыми реакторами с коэффициентом воспроизводства равным или большим единицы. В складывающихся в энергетике условиях нет необходимости в больших коэффициентах воспроизводства, высокой энергонапряжённости и коротких временах удвоения плутония. Приемлемы коэффициент воспроизводства порядка единицы и умеренная энергонапряжённость, так что при разработке быстрых реакторов можно сосредоточиться в основном на решении проблем экономичности и безопасности.

ЕСТЕСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Принцип «естественной безопасности» является обобщением принципа «внутренне присущей безопасности» путём распространения его на весь топливный цикл с учётом проблемы радиоактивных отходов и режима нераспространения. Этот принцип включает:

- исключение тяжёлых реакторных аварий и аварий на предприятиях ядерного топливного цикла;
- малоотходную переработку ЯТ с радиационно-эквивалентным захоронением РАО;
- технологическую поддержку режима нераспространения.

Лучшая защита от опасности - это отказ от опасных технических решений.

Детерминистическое исключение тяжёлых аварий не следует отождествлять с недостижимой абсолютной безопасностью. Детерминистически должно быть исключено лишь катастрофическое развитие наиболее тяжелых аварий, тогда как к «обычным» авариям применяется обычный вероятностный подход, требующий достоверных вероятностей на уровне 10^{-3} - 10^{-4} , известных из опыта.

По своим физическим и техническим принципам быстрые реакторы с жидкометаллическим охлаждением имеют наибольший потенциал внутренне присущей безопасности, а следовательно, и экономичности, далеко не полностью реализованный в их первом поколении.

Исследования последних лет указывают на возможность создания в ограниченные сроки ядерной технологии, приближающейся к идеалу «внутренне присущей естественной безопасности», не уходя слишком далеко от технических решений и

Лучшая защита от опасности – это отказ от опасных технических решений.



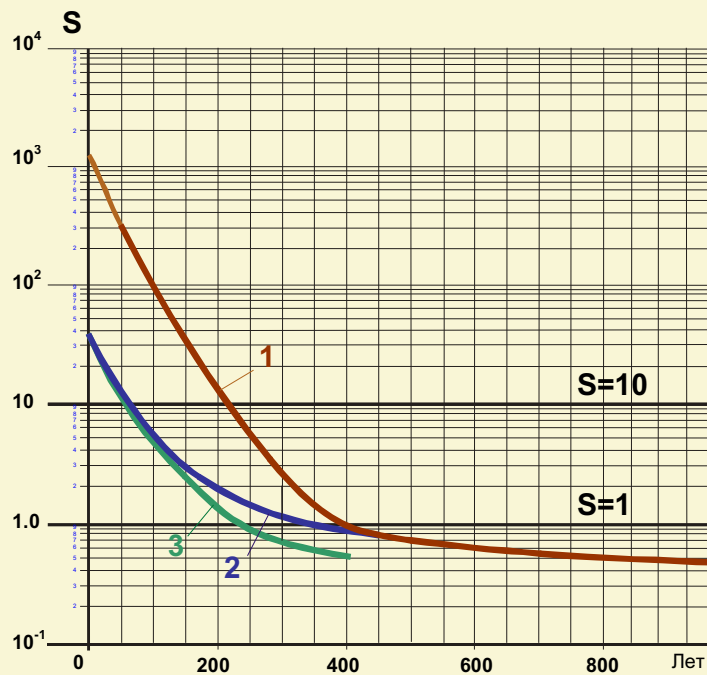
материалов, уже освоенных в мирной и военной ядерной технике. Доказано, в частности, что переход к плотному теплопроводному топливу и к химически пассивному, высококипящему, мало активируемому нейтронами тяжёлому теплоносителю позволяет детерминистически исключить аварии разгона на мгновенных нейтронах, аварии с потерей теплоносителя (LOCA), пожары и водородные взрывы при любых ошибках персонала и отказах оборудования и выбросы радиоактивности, требующие эвакуации населения, даже при повреждении основных внешних барьеров (контеймент, корпус реактора).

Тепловые реакторы умеренной мощности разных типов также обладают пока не полностью реализованными резервами внутренне присущей безопасности. К их числу относятся использование профилированных выгорающих поглотителей для компенсации реактивности по мере выгорания, снижение уровня энергонапряженности, использование высокотемпературного дисперсионного микро топлива без металлических оболочек, наконец, жидкосолевые реакторы с коэффициентом воспроизводства около единицы и низким давлением.

Безопасность захоронения радиоактивных отходов на десятки и сотни тысяч лет вызывает вполне обоснованные сомне-

Стратегия безопасного роста

ния, связанные с надёжностью столь долговременных прогнозов. При обеспечении баланса между радиационной опасностью захораниваемых радиоактивных отходов и урана, извлекаемого из недр (радиационно-эквивалентное захоронение РАО с их временным региональным концентрированием), можно избежать существенных изменений природного уровня радиационной и биологической опасности и сделать убедительными доказательства безопасности обращения с РАО (рис. 8).



$$S = \frac{A_{\text{РАО}}}{A_U}$$

где $A_{\text{РАО}}$ — активность долгоживущих высокоактивных отходов, полученных при переработке облученного топлива;
 A_U — активность природной урановой руды.

Кривая	Доля, идущая в отходы, %				
	Sr	Cs	U	Pu	MA (Np+Am+Cm)
1	10	15	0,05	0,1	0,1
2	0,1	1	0,05	0,1	0,1
3	0,1	1	0,01	0,01	0,1

Рис. 8. Радиационная эквивалентность топливного цикла крупномасштабной ядерной энергетики

Избыток нейтронов и их энергетический спектр, в котором делятся все актиноиды, позволяет осуществить в быстрых реакторах эффективное «сжигание» наиболее опасных и долгоживущих радионуклидов из отходов топливного цикла, обеспечив радиационный баланс между захораниваемыми радиоактивными отходами и добываемым из земли ураном, не требуя специальных реакторов-сжигателей вплоть до завершающей стадии развития АЭ.

Режим нераспространения – это технологические барьеры плюс политический контроль.

Исключение уранового blankets, переход к топливу равновесного состава в быстрых реакторах и постепенный отказ от технологий обогащения урана для атомной энергетики создают необходимые предпосылки для технологической поддержки режима нераспространения.

Технология переработки топлива должна исключать возможность выделения чистого плутония. Кроме того, должна быть обеспечена возможность контроля национальными средствами (например, с искусственных спутников Земли) за конфигурацией зданий и сооружений, предназначенных для переработки ядерного топлива.

Разумеется, проблема нераспространения не может быть решена одними техническими мерами, поскольку независимо от развития новой ядерной технологии остаются возможности нелегального получения и использования для оружейных материалов хорошо развитых технологий изотопного разделения урана и выделения плутония из облученного топлива, в т.ч. ядерного топлива легководных реакторов. Полное решение проблемы требует сочетания технологических и политических мер.

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ

От стереотипа «чем дороже, тем безопаснее» к норме «чем безопаснее, тем дешевле».

Формирование технологий, обеспечивающих крупномасштабное развитие в соответствии с принципами естественной безопасности, должно сопровождаться повышением конкурентоспособности атомной энергетики.

Высокая стоимость первых быстрых реакторов оказалась главной причиной того, что они не получили распространения в энергетике. Требование к АЭС следующего поколения состоит в снижении их стоимости по сравнению с современными АЭС с легководными реакторами, чтобы обеспечить экономическую конкурентоспособность для многих стран и районов. Стоимость АЭС с быстрыми реакторами должна быть сниже-

Режим нераспространения – это технологические барьеры плюс политический контроль.

От стереотипа «чем дороже, тем безопаснее» к норме «чем безопаснее, тем дешевле».

Стратегия безопасного роста

на существенно, что возможно только на основе некоего общего принципа, затрагивающего все основное оборудование, системы и сооружения. Таким принципом является принцип естественной безопасности. Его последовательное проведение, начиная с исходных технических решений, создаёт предпосылки к упрощению конструкций, требований к основному и вспомогательному оборудованию, сооружениям АЭС и к персоналу, к отказу от дополнительных систем безопасности и к удешевлению АЭС.

Блочный щит управления Балаковской АЭС



В последнее время при рассмотрении экономики различных топливных циклов обращается все большее внимание не только непосредственно на технологическую стоимость производства энергии, но также и на полную стоимость возмещения всех ущербов (экстерналий), которые сопровождают производство и распределение энергии. Поэтому рыночное равновесие развивающихся энергетических технологий следует рассматривать с учетом экстерналий, присущих каждой из этих технологий. На сегодня строго обоснованные оценки экстерналий практически отсутствуют.

Европейская комиссия (ЕС) в 1991 г. инициировала проект «Extern E» по разработке методологии расчёта «внешней стоимости» электроэнергии, т.е. денежного выражения экологического ущерба, связанного с химическим и физическим загрязнением биосферы, за который сегодня энергопроизводитель не несёт финансовой ответственности. Наиболее проблематичной является оценка вклада энергетики во «внешнюю стоимость» глобального потепления. Оценки, полученные в рамках этого исследования, показывают, что учёт экстерналий может привести к увеличению стоимости «угольного электричества» на 25-100% и более, при этом стоимость «ядерного электричества» практически не изменяется. Усреднённые по западноевропейским странам «внешние стоимости» различных энерготехнологий при «внешней стоимости» выброса углерода 200 дол./т оцениваются следующими величинами: 6,4 цент/(кВт·ч) - для угольных ТЭС; 2,8 цент/(кВт·ч) - для газовых ТЭС; 0,2 цент/(кВт·ч) - для АЭС (в ценах 2000 г.).

Другие исследования (IEA, 1998) прогнозируют, что при «внешней стоимости» выброса углерода 30 дол./т «угольное электричество» может подорожать на ~20%, а при 200 дол./т «газовое электричество» - на 40%.

Приведённые прогнозы носят предварительный характер. Необходимы специальные национальные исследования и разработка на их основе своего рода экологического кодекса. Только после этого можно делать выводы о влиянии экстерналий на конкурентоспособность энергетики на органическом топливе.

Атомную энергетику следует ориентировать на достижение экономической конкурентоспособности в большинстве регионов уже при умеренных ценах на топливо и энергию, прогнозируемых на ближайшие десятилетия, а не только в неопределённом будущем, когда дешёвые ресурсы топлив будут исчерпаны, а выбросы парниковых газов будут квотироваться или штрафовать.

Атомную энергетику следует ориентировать на достижение экономической конкурентоспособности в большинстве регионов уже при умеренных ценах на топливо и энергию, прогнозируемых на ближайшие десятилетия, а не только в неопределённом будущем, когда дешёвые ресурсы топлив будут исчерпаны, а выбросы парниковых газов будут квотироваться или штрафовать.

УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ

БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЙСТВУЮЩИХ АЭС

○ обеспечение безопасности действующих АЭС - основное условие функционирования атомной энергетики. Работающие блоки введены в эксплуатацию в период с 1971 по 1993 г. Блоки одной мощности, построенные в разное время, сооружались по разным проектам и в различной степени удовлетворяют современным правилам и нормам безопасности. В этом плане действующие энергоблоки можно разделить на два поколения:

- энергоблоки первого поколения - 12 энергоблоков суммарной мощностью 5762 МВт (энергоблоки 3 и 4 Нововоронежской, 1 и 2 Кольской, 1 и 2 Ленинградской, 1 и 2 Курской АЭС, 4 энергоблока Билибинской АТЭЦ). Все они разработаны и построены до выхода основных нормативных документов по безопасности атомной энергетики;
- энергоблоки второго поколения - 16 энергоблоков суммарной мощностью 14480 МВт (энергоблоки 1, 2 и 3 Балаковской, 1 и 2 Калининской, 3 и 4 Кольской, 3 и 4 Курской, 3 и 4 Ленинградской, 5 Нововоронежской, 1, 2 и 3 Смоленской, 3 Белоярской АЭС) спроектированы и построены в соответствии с нормативными документами, отражающими подходы ОПБ-73, ОПБ-82, ПБЯ-04-74;
- энергоблок третьего поколения 4 Балаковской АЭС мощностью 1000 МВт модифицирован с учётом требований ОПБ-88.

Энергоблоки второго поколения в основном соответствуют требованиям безопасности, существовавшим в 80-е гг. Однако для приближения ряда энергоблоков к уровню безопасности, регламентируемому ОПБ-88, предусмотрено проведение модернизации.

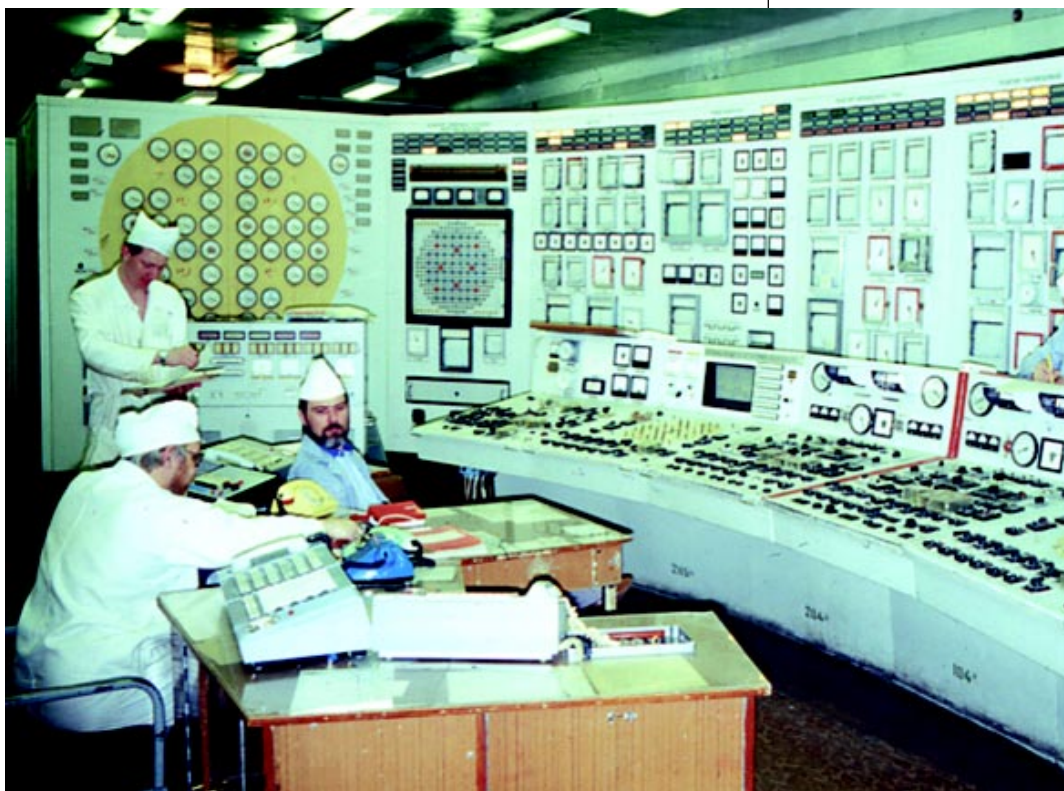
Билибинская АТЭЦ



Экспертами МАГАТЭ был проведен обширный анализ проектных решений и эксплуатации АЭС с ВВЭР-440 первого и второго поколений. В результате была выработана концепция поэтапной модернизации первого и второго блоков Кольской АЭС и третьего и четвертого блоков Нововоронежской АЭС без вывода блоков из эксплуатации на продолжительное время.

На основе анализа требований современных нормативов и реализованных проектных решений разработаны концепции повышения безопасности действующих блоков АЭС с ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Замещение РУ энергоблоков первого поколения АЭС является комплексной задачей, охватывающей широкий круг вопросов, начиная от прекращения эксплуатации энергоблока до его ликвидации (или всей АЭС). Для осуществления этих мероприятий на действующих АЭС создается фонд снятия с эксплуатации в объеме 1,3% расчетной стоимости товарной продукции.

Пульт управления Билибинской АТЭЦ



АЭС «Ловиза», Финляндия



ТОПЛИВНАЯ БАЗА ТЕПЛОВЫХ РЕАКТОРОВ

В «Красной книге» ОЭРС и МАГАТЭ «Уран. Ресурсы, производство и потребности» суммарные запасы природного урана в России при стоимости добычи до 80 дол. за 1 кг оцениваются на уровне 240 тыс. т (RAR+EAR-I, II), причем запасы, оцененные с высокой степенью достоверности, составляют около 150 тыс. т (RAR). Кроме указанных выше трех категорий запасов урана в упомянутой «Красной книге» приведена еще одна категория SR с общим количеством урановых ресурсов, равным 1 млн т, включая 550 тыс. т со стоимостью добычи до 130 дол. за 1 кг (табл. 2).

Таблица 2

Запасы Российской Федерации по месторождениям урановых ресурсов, т

Категория залежей урана по классификации МАГАТЭ	Стоимость добычи 1 кг урана, тыс. дол.		
	<40	<80	<130
RAR	66,1	145	Не определялись
EAR – I	17,2	36,5	“
EAR – II	0	56,3	104,5
SR	Не определялись	Не определялись	550

Примечание 1. В категории SR указано дополнительно 450000 т без определения стоимости добычи.

Примечание 2. Категории залежей урана по классификации МАГАТЭ:

1. RAR (Reasonably Assured Resources) - запасы урана оцениваются по характеристикам образцов и по параметрам пластов залегания урана. Высокая степень надежности оценок.

2. EAR-I (Estimated Additional Resources - Category I) - дополнительные запасы урана, оцениваемые по имеющимся или по похожим образцам. Менее надежная степень оценки, чем RAR.

3. EAR-II (Estimated Additional Resources - Category II) - дополнительные предполагаемые запасы, оцененные главным образом по тенденциям и характеристикам подобных хорошо известных залегающих. Еще меньшая степень надежности оценок, чем EAR-I.

4. SR (Speculative Resources) - в дополнение к предыдущей категории EAR-II предполагается, что эти запасы урана существуют главным образом на базе косвенных свидетельств и геологических экстраполяций.

Сегодня резервы урана и атомной промышленности России могут обеспечить 4-кратное увеличение мощности АЭС.

Таким образом, как уже отмечалось, достоверно разведанные российские запасы природного урана не могут обеспечить устойчивое долговременное развитие атомной энергетики на тепловых реакторах.

Другим возможным способом увеличения ресурсной базы атомной энергетики является повторное использование ядерного горючего, а именно выделенного из облученного уран-плутониевого топлива, в реакторах на тепловых нейтронах. Оценки показывают, что замыкание топливного цикла по урану позволит увеличить мощность АЭ на ~13%, а замыкание по урану и плутонию вместе - на ~17%. При этом в обоих случаях срок функционирования АЭ на тепловых реакторах остается практически таким же, как и при незамкнутом топливном цикле.

Таким образом, рециклирование плутония в тепловых реакторах как средство увеличения их ресурсной базы нецелесообразно. Для этой цели в переходный период до серийного ввода быстрых реакторов нового поколения следует рассмотреть целесообразность разведки и освоения новых месторождений урана или поиск внутренних ресурсов ядерного топливного цикла по экономии урана, например за счет переработки отвалов обогатительного производства, использования регенерированного и оружейного урана и т. д.

Сегодня резервы урана и атомной промышленности России могут обеспечить 4-кратное увеличение мощности АЭС.

Для обеспечения более высокого уровня безопасности и надёжности активных зон требуется дальнейшее совершенствование конструкции, технологии изготовления твэлов и ТВС, а также изучение влияния динамических характеристик реакторных установок на работоспособность твэлов. Реакторы ВВЭР-440 переведены на четырёхгодичную кампанию, что позволило увеличить эффективность использования топлива на 12% относительно проектной.

Проводятся работы по обеспечению 4- и 5-годичной кампании в реакторах ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 соответственно, что требует повышения эксплуатационной надёжности топлива и снижения частоты разгерметизации твэлов, которая в настоящее время находится на мировом уровне $2-3 \cdot 10^{-5}$.

Перспектива улучшения топливных показателей реакторов РБМК связана, прежде всего, с применением выгорающих поглотителей, позволяющих скомпенсировать мощность свежих ТВС и увеличить обогащение топлива, что приводит также к увеличению безопасности реактора.

Основным направлением, позволяющим существенно улучшить безопасность и экономику реакторов на быстрых нейтро-

нах, является переход к нитриднему топливу равновесного состава, отказ от урановых бланкетов и повышение выгорания топлива.

Важнейшими задачами в области производства твэлов и ТВС являются:

- переход к нитриднему топливу в быстрых реакторах;
- улучшение технологии производства порошка диоксида урана, минимизация доспекания топливных таблеток;
- совершенствование технологии производства циркониевых сплавов (содержание гафния не более 0,01%);
- разработка и организация промышленного производства твэлов с топливом, содержащим выгорающие поглотители;
- разработка твэлов, обеспечивающих надёжную и безопасную работу реакторов при маневренных режимах.

ОБРАЩЕНИЕ С ОБЛУЧЕННЫМ ЯТ И РАО

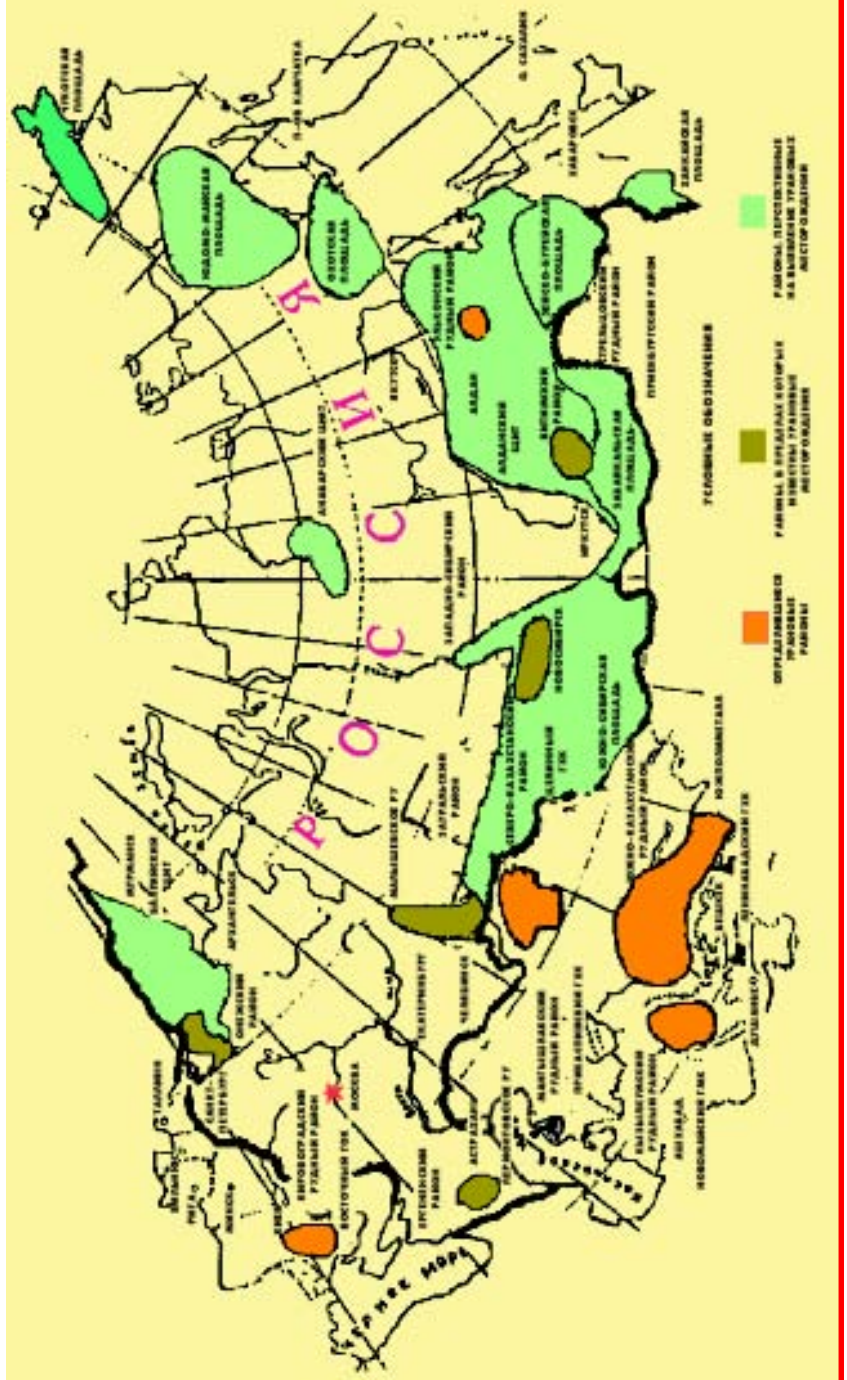
Стратегическим направлением развития атомной энергетики Российской Федерации является замыкание ядерного топливного цикла, в результате которого должны обеспечиваться более полное использование природного ядерного топлива и искусственных делящихся материалов, образующихся при работе ядерных реакторов (плутоний и др.), минимизация образования РАО от переработки ЯТ и приближение к радиационной эквивалентности захораниваемых отходов и извлеченного природного топлива. Ключевым звеном при реализации указанной стратегии является обращение с облучённым ЯТ и образующимися РАО.

Объём облучённого ЯТ в мире и в нашей стране весьма значителен. В мире к 2000 г. накоплено ~250 тыс. т облученного ЯТ, в России ~14 тыс. т, его суммарная радиоактивность - 5 млрд Ки.

Выгружаемое из ЯЭУ топливо в основном находится на хранении, т.к. перерабатывается в относительно небольших масштабах. Проблема хранения облучённого ЯТ в России все более обостряется: с учетом увеличения его выгрузки из выводимых из эксплуатации энергетических, транспортных (особенно АПЛ) и исследовательских ядерных установок можно ожидать заполнения действующих хранилищ облучённого ЯТ к 2007 г. Следует учитывать также, что используемая технология хранения топлива в водной среде в течение нескольких десятков лет не в полной мере отвечает требованиям обеспечения безопасности, а опытно-промышленный завод по переработке топлива на ПО «Маяк», действующий с 1977 г., требует технической реконструкции и развития его мощности.

Переработку основной массы облученного ядерного топлива целесообразно подготовить к началу серийного строительства быстрых реакторов нового поколения.

Схема расположения урановых рудных районов и добывающих предприятий СНГ и площадей перспективных для выявления урановых месторождений в России



Переработку основной массы облученного ядерного топлива целесообразно подготовить к началу серийного строительства быстрых реакторов нового поколения.

Это позволит также воздержаться от дальнейшего накопления плутония на складах, что целесообразно по соображениям укрепления режима нераспространения.

УТИЛИЗАЦИЯ ОРУЖЕЙНОГО ПЛУТОНИЯ

С сокращением ядерных вооружений появилась проблема оружейного плутония. Российская Федерация и Соединенные Штаты Америки взяли на себя обязательства «... поэтапно изъять из своих ядерных оружейных программ около 50 метрических тонн плутония и переработать его так, чтобы никогда нельзя было использовать этот плутоний в ядерном оружии». Позднее это количество было сокращено до 34 т.

В то же время в существующих сегодня в России условиях - наличие достаточных ресурсов сравнительно дешевого урана, отсутствие заводов по производству топлива с плутонием (МОХ-топлива) и лицензированных под это топливо ядерных реакторов - потребуются дополнительные существенные затраты, чтобы начать вовлекать плутоний в ядерный топливный цикл.

Принципиальных проблем по использованию смешанного уран-плутониевого топлива в ядерных реакторах различных типов на сегодняшний день не существует. Это подтверждается многолетним опытом работы ядерных реакторов и установок по производству МОХ-топлива в Западной Европе.

Россия имеет определенный опыт по обращению с плутонием в мирной деятельности. На заводе ПО «Маяк» и в ГНЦ РФ-НИИАР действуют опытные установки по изготовлению экспериментальных тепловыделяющих сборок для быстрых реакторов с использованием таблеточной и вибротехнологии производства МОХ-топлива соответственно.

Для целей сжигания МОХ-топлива из плутония оружейного происхождения могут использоваться на коммерческой основе энергетические реакторы за рубежом.

Утилизация избыточного оружейного плутония в быстрых реакторах технически возможна и наиболее экономически эффективна.

Утилизацию оружейного плутония следует рассматривать в качестве первого этапа создания технологии будущего замкнутого ядерного топливного цикла.

Основное направление утилизации избыточного оружейного плутония, как и плутония из облученного ЯТ, состоит в использовании смешанного уран-плутониевого топлива в быс-

Утилизацию оружейного плутония следует рассматривать в качестве первого этапа создания технологии будущего замкнутого ядерного топливного цикла.

Подходы к обращению с отработавшим топливом
в разных странах

Страна	Отложенное решение	Прямое удаление	Переработка
Аргентина	◆		
Бельгия	◆		●
Бразилия	◆		
Болгария	◆		●
Канада		■	
Китай			●
Чешская Республика	◆	■	●
Финляндия		■	
Франция			●
Германия		■	●
Венгрия	◆		●
Индия			●
Италия	◆		●
Япония			●
Республика Корея	◆		
Литва		■	
Мексика	◆		
Нидерланды			●
Пакистан	◆		
Румыния		■	
Россия		■	●
Словацкая Республика		■	●
Словения	◆		
Южная Африка		■	
Испания		■	
Швеция		■	
Швейцария	◆		●
Соединенное Королевство			●
Украина	◆	■	●
США		■	

Примечание. Некоторые страны применяют различные подходы к разным типам топлива. Кроме того, отдельные страны, применяя один подход, проводят одновременно оценку других подходов, которые могут быть применены в будущем.



Цепочка защитных камер по изготовлению МОХ-топлива

трех реакторах, которые составят основу будущей крупномасштабной атомной энергетики. Утилизацию же ограниченного количества оружейного плутония в тепловых реакторах, если этого потребуют политические соглашения, целесообразно проводить при финансовом и технологическом содействии мирового сообщества.

Технологически и экономически оправданная утилизация оружейного плутония может быть реализована в реакторах БН, БРЕСТ.

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ДЕЙСТВУЮЩИХ АЭС

Для сохранения конкурентоспособности действующих АЭС необходимо решение следующих первоочередных задач:

- эффективная эксплуатация действующих энергоблоков, в том числе увеличение КИУМ до ~82%;
- снижение эксплуатационных затрат в производстве электроэнергии;
- продление срока эксплуатации энергоблоков, выработавших проектно-установленный ресурс.

Среди показателей эффективности эксплуатации АЭС особое значение имеют коэффициент готовности и использования установленной мощности (КИУМ).

На АЭС России в 2000 г. обеспечена выработка электроэнергии 130,3 млрд кВт·ч. При этом КИУМ составил 70%.

При нормализации финансово-экономического положения и доведении среднегодового КИУМ до 80% АЭС могли бы дополнительно вырабатывать более 20 млрд кВт·ч электроэнергии, что позволило бы сэкономить около 6,6 млн т условного топлива дополнительно (сейчас работа АЭС позволяет сберечь более 40 млн т условного топлива в год при КПД ТЭС -0,36, или -39 млрд м³ природного газа). В настоящее время среднегодовой КИУМ на АЭС в Западной Европе и США достиг 85-90%.

Штатный коэффициент АЭС России в 2000 г. составил 1,6-2,0 чел./МВт (эл.). Для зарубежных АЭС штатный коэффициент в среднем составляет 0,25 чел./МВт.

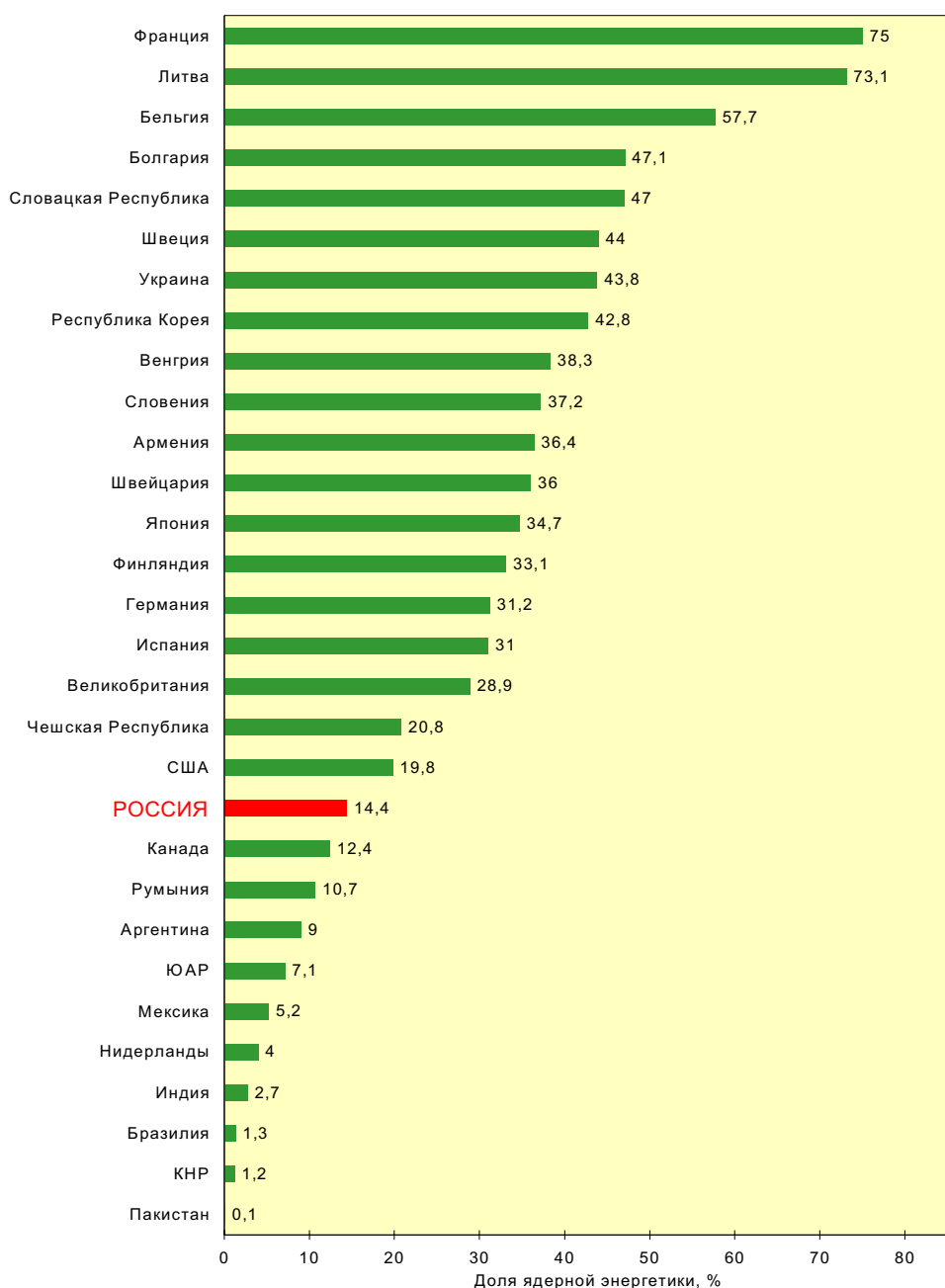
В СССР штатный коэффициент также составлял -1-1,2 чел./МВт. Значительный рост персонала наблюдается также за годы реформ в энергетике на органическом топливе (РАО «ЕЭС»), несмотря на значительное падение производства электроэнергии.

Снижение штатного коэффициента - значительный резерв повышения эффективности работы АЭС России.

Будучи очень капиталоемкими, АЭС неминуемо должны обладать длительным сроком службы. Установленный в проектной документации 30-летний назначенный срок службы действующих АЭС отражает лишь уровень расчетной базы его обоснования, а не фактический физический износ. Совершенствование этой базы позволяет научно обоснованно пересматривать установленные ранее нормативы и составляет тот фундамент, на котором осуществляются работы по управлению сроком службы.

Управление сроком службы есть продление срока службы объекта до срока, определяемого физическим или моральным износом. Поскольку срок морального износа в энергетике велик (для отработанной технологии, каковой являются современные АЭС второго и третьего поколений с тепловыми реакторами, этот срок может существенно превышать 30 лет), то управление сроком службы действующих энергоблоков вполне может позволить продлить их срок службы на 10 и более лет. Для энергоблоков следующих поколений следует так управлять назначенным сроком службы, чтобы сроки физического и морального износов оказывались достаточно близкими и проблема продления назначенного срока службы просто не возникала.

Доля АЭС в производстве электроэнергии в странах мира
(по состоянию на 31 декабря 1999 г.)



**Сравнительные данные
о радиационно-экологическом риске
для различных направлений
производства электроэнергии**

Способы производства электроэнергии	Оценка риска на человека в год
ГЭС	$10^{-5}-10^{-6}$
Солнечные электростанции	$10^{-4}-10^{-5}$
Ветряные электростанции	$10^{-4}-10^{-5}$
ТЭС	$10^{-4}-10^{-5}$
АЭС:	$10^{-4}-10^{-8}$
реакторы первого поколения	$10^{-4}-10^{-5}$
реакторы второго поколения	10^{-6}
реакторы третьего поколения	$10^{-7}-10^{-8}$

В России началась практика продления срока службы АЭС, построенных в 70-80 гг., на 15-20 лет, а новые энергоблоки проектируются на срок службы не менее чем 50-60 лет.

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭКСПОРТНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Для увеличения экспортного потенциала ядерных технологий России необходимо решение следующих задач:

- развитие экспорта АЭС и ядерного топлива (в т.ч. услуг с ОЯТ);
- сооружение референтных блоков третьего поколения и наращивание на этой основе экспорта АЭС.

Наиболее перспективными направлениями экспорта электроэнергии, вырабатываемой АЭС, в настоящее время являются Северо-Западная и Центральная Европа, Турция, а также Дальневосточный регион. В связи с этим представляет интерес освоение новых технологий передачи электроэнергии с использованием эффекта сверхпроводимости.

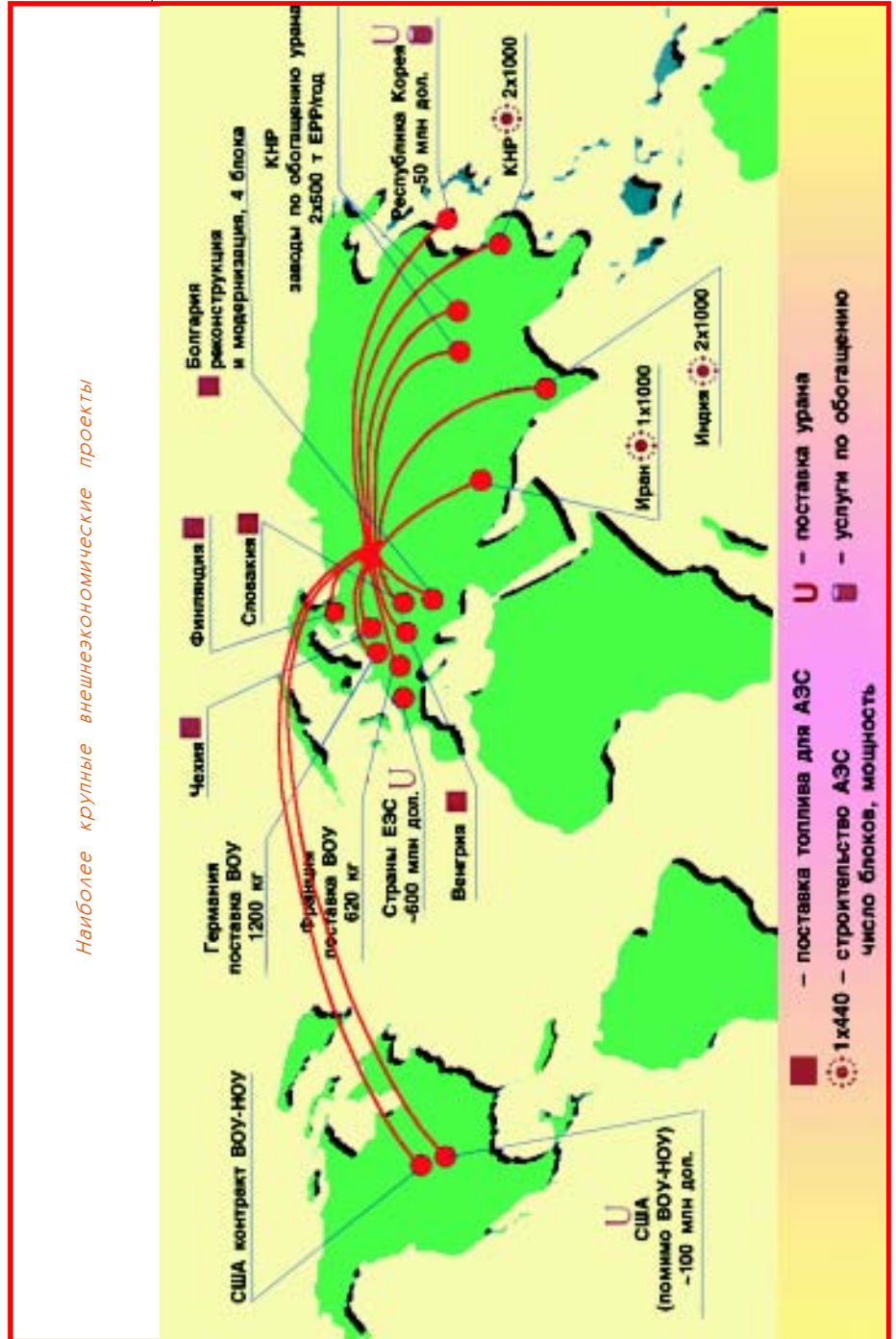
Россия имеет значительный научно-технический и природный потенциал, позволяющий обеспечить осуществление таких сложных технологий, как контролируемое долговременное хранение облучённого ЯТ и высокотехнологичная глубокая его переработка, в том числе и зарубежных АЭС.

Накопленный мировой опыт показал высокую экономичность оказания услуг зарубежным АЭС по обращению с ЯТ.

Участие России в мировом рынке обращения с ЯТ в объеме до 20 тыс. т ЯТ зарубежных АЭС (~10% рынка) позволит в течение ближайших 10-25 лет направить до 7,2 млрд дол. США на выполнение социально-экономических и экологических программ.

Участие России в мировом рынке обращения с ЯТ в объеме до 20 тыс. тонн ЯТ зарубежных АЭС (~10% рынка) позволит в течение ближайших 10–25 лет направить до 7,2 млрд дол. США на выполнение социально-экономических и экологических программ.

Наиболее крупные внешнеэкономические проекты



*Строительство блока 1 (ВВЭР-1000)
АЭС «Тяньвань», КНР, 2000 г.*



*Достройка блока 1 (ВВЭР-1000)
АЭС «Бушер», Иран, 2000 г.*



НОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

Особенности современного состояния российской энергетики можно охарактеризовать двумя взаимосвязанными положениями:

- время дешёвых энергоресурсов в стране закончилось,
- «газовая пауза» в электроэнергетике завершилась.

Эти выводы следуют из анализа сложившейся ситуации в нефтегазовом комплексе России:

- В настоящее время добыча нефти стабилизировалась на уровне около 300 млн т/год. Снижение нефтедобычи связано с объективным процессом качественного ухудшения сырьевой базы отрасли. Степень выработки рентабельных запасов на разрабатываемых месторождениях страны достигла 53%, в том числе в главном нефтедобывающем регионе - Западной Сибири - 43%. Основные нефтегазовые провинции вышли на последние стадии разработки с падающей добычей. Начальный ресурсный потенциал «новых» нефтегазоносных провинций в несколько раз меньше, чем «старых». Время открытия гигантских месторождений, за счёт которых обеспечивались приросты запасов, а издержки разведки и добычи снижались, прошло. Сегодня открываются в основном мелкие и средние месторождения, расположенные вдали от существующей производственной инфраструктуры. Доля трудноизвлекаемых запасов достигла ~60% и продолжает расти. Приросты разведанных запасов в последние годы не компенсируют текущую добычу нефти.
- Базовые газовые месторождения Западной Сибири, обеспечившие в 1999 г. 72% добычи газа в России, преждевременно вышли на стадии 600 млн т/год с падающей добычей и выработаны более чем наполовину: Медвежье - на 78%, Уренгойское - на 67%, Ямбургское - на 46%. К 2020 г. добыча газа на этих месторождениях не превысит 83 млрд м³, что составляет лишь 14% нынешней добычи в России. Вследствие превышения отборов газа над приростом разведанных запасов величина последних снижается. Для поддержания лишь сегодняшних объемов добычи на период до 2020 г. необходимо, как минимум, трёхкратное увеличение инвестиций для развертывания освоения добычи газа на Штокмановском и Ямальском месторождениях.
- Прогнозируется следующая динамика роста цен на газ в России: к 2005 г. цена добычи ~10 дол./тыс. м³, отпускная цена для внутреннего рынка ~14 дол./тыс. м³; к 2010 г.

отпускная цена может увеличиться до ~40-48 дол./тыс. м³ при годовой добыче ~600 млрд м³ и до ~47-56 дол./тыс. м³ при добыче ~750 млрд м³; к 2020 г. отпускная цена возрастет до ~54-60 дол./тыс. м³ (при цене добычи ~18-30 дол./тыс. м³) в случае, если будут задействованы запасы Ямала и добыча стабилизируется на ~600 млрд м³, и до ~60-70 дол./тыс. м³ при добыче ~750 млрд м³.

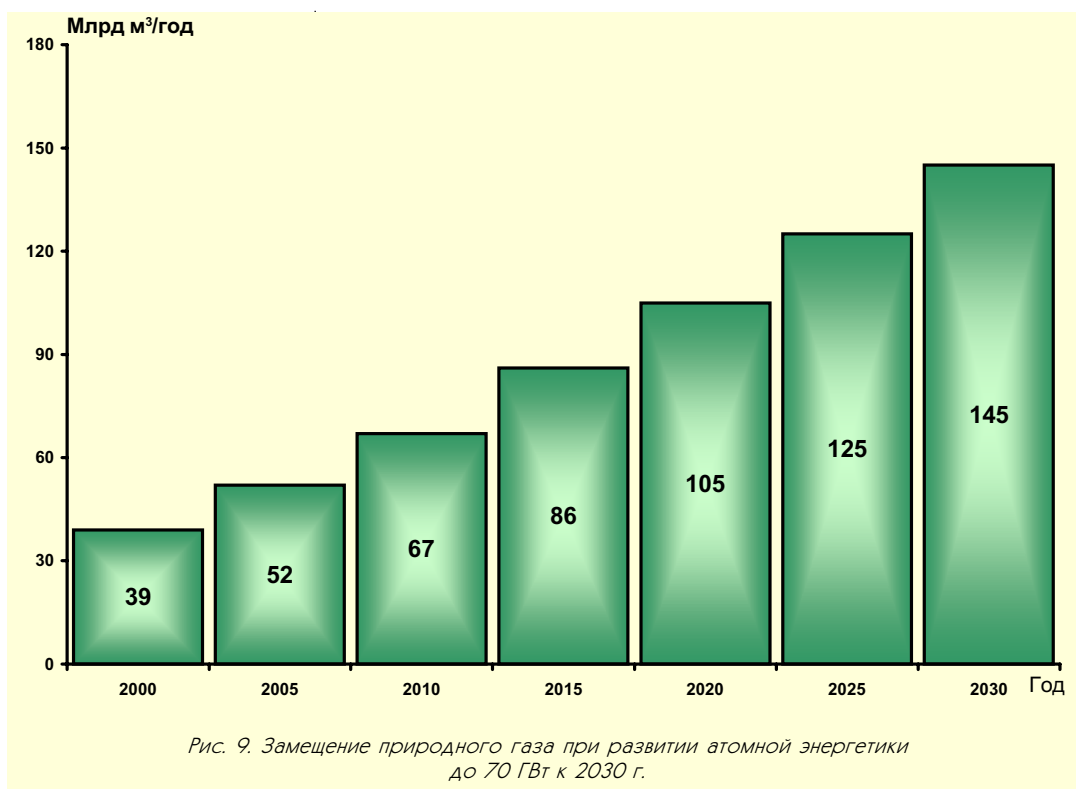
Сложившаяся ситуация усугубляется тем, что сегодня энергетика России находится в инвестиционном и структурном кризисе.

Инвестиционный кризис. Объем годовых инвестиций в ТЭК за годы реформ снизился почти в 4 раза, что создало реальную угрозу энергетической безопасности России из-за старения основных фондов ТЭК. К 2010 г. в европейской части России 50 ГВт электрогенерирующих мощностей исчерпают свой расчетный или физический ресурс. Только в газовой отрасли необходимые инвестиции до 2020 г. оцениваются в 90-100 млрд дол., в то время как в настоящее время здесь ежегодно осваивается лишь около 3 млрд дол. капитальных вложений.

Структурный кризис. Доля газа в топливно-энергетическом балансе превысила пределы допустимого уровня энергетической безопасности. При общей доле газовой составляющей в электроэнергетике (ТЭС) ~65%, в европейской части она достигает 73% и более. Газ участвует, и очень активно, в регулировании графика нагрузок, но по масштабам расхода его «львиная доля» сжигается в базисной части графика нагрузок на станциях с паросиловым циклом, что неоправданно дорого, расточительно и неэффективно, особенно при совместном использовании мазута в качестве резерва топлива. В европейской части России на ТЭС конденсационного типа сжигается около 30 млрд м³ газа в год.

Если учесть, что платежеспособный внутренний спрос на газ при ценах, обеспечивающих самофинансирование газовой отрасли, в прогнозируемый период практически не достигим, то очевидно, что для оздоровления российской экономики, которую идеология «газовой паузы» привела к «газовой ловушке», необходима интенсивная дегазификация электроэнергетики на основе атомной энергетики, самофинансирование которой вполне достижимо при умеренных тарифах. Замещение выбывающих из строя ТЭС позволит увеличить экспорт газа (рис. 9).

Вышеприведенный анализ указывает на необходимость разработки новой энергетической политики России, основывающейся на следующих основных принципах энергетической безопасности:



- 1. Принцип независимости от исчерпаемого ресурса: энергетика не должна чрезмерно зависеть от какого-либо одного исчерпаемого топливного ресурса, т.е. доля газа в топливно-энергетическом балансе должна снижаться за счёт ядерного топлива и угля.
- 2. Принцип постепенного роста доли возобновляемых источников энергии в топливно-энергетическом балансе страны: энергетика должна постепенно освобождаться от естественной неопределённости, связанной с разведкой и добычей ископаемого топливного сырья, т.е. ископаемое топливо необходимо по мере возможности замещать на неисчерпаемые источники энергии и, в первую очередь, на такой антропогенно-возобновляемый источник, как ядерное топливо быстрых реакторов.
- 3. Принцип экологической приемлемости энергетики: развитие ТЭК не должно сопровождаться увеличением его воздействия на окружающую среду, в частности, рост

электрогенерирующих мощностей должен обеспечиваться в основном ядерными энергоблоками и возобновляемыми источниками энергии.

- 4. Принцип экономии органического сырья: использование органического топлива в электроэнергетике не должно приводить к истощению запасов органического сырья для химической промышленности и транспорта, т.е. необходим постепенный переход к крупномасштабной атомной энергетике с замещением ТЭС на АЭС с естественной безопасностью.
- 5. Принцип систематического уменьшения доли сырья в экспорте топливных ресурсов: экспорт топливных ресурсов не должен сводиться к перекачиванию относительно дешёвого ископаемого сырья за рубеж, т.е. необходимо постоянно увеличивать в экспорте долю продуктов, получаемых из топливного сырья, в т.ч. таких высокотехнологичных продуктов, как моторное и ядерное топливо, электроэнергия.
- 6. Принцип самофинансирования простого воспроизводства: модернизация и обновление энергетического оборудования должны проводиться за счёт собственных средств энергетики, т.е. ценовая и налоговая политика государства в энергетике должна обеспечивать условия для самофинансирования простого воспроизводства всех отраслей ТЭК.
- 7. Принцип госрегулирования рыночного реформирования энергетики: рыночное реформирование в энергетике должно сопровождаться действенным госрегулированием. Возврат к директивным методам управления энергетикой не допустим, но необходимо государственное регулирование рыночных взаимоотношений в целях ускорения формирования эффективного энергетического рынка.
- 8. Принцип соответствия законодательной базы России ее стратегическим интересам: законы и другие нормативные акты не должны препятствовать выходу национальных предприятий ТЭКа на мировые рынки высокотехнологичных и наукоёмких товаров и услуг, в частности, необходимо снять законодательные ограничения на высокодоходные экспортные услуги по переработке и хранению облучённого ядерного топлива.

ОПТИМАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ РОСТА АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Если ориентироваться на новую энергетическую политику, то возможен оптимальный вариант роста атомной энергетики до 2020 г. (табл. 3).

В пользу такого варианта развития атомной энергетики говорят следующие обстоятельства:

- резервы урана и промышленной инфраструктуры атомной энергетики достаточны для 4-кратного увеличения существующих мощностей АЭС;
- диспропорция в использовании топливных ресурсов в электроэнергетике (63% природного газа в общем балансе и 83% в европейской части России);
- тенденция к сокращению использования природного газа в теплоэнергетике до 30% в год к 2002 г. (сегодня в европейской части России сжигается более 30 млрд м³ ежегодно на КЭС);

Таблица 3

Оптимальный вариант роста атомной энергетики

Основные показатели	
Повышение КИУМ	До 80–85%
Продление назначенного срока службы действующих атомных энергоблоков, лет	До 40–50, что позволит выработать дополнительно более 2500 млрд кВт·ч электроэнергии
Реновация до 2020 г. 5,76 ГВт атомных энергоблоков I поколения	Билибинская АЭС – блоки 1–4 Кольская АЭС – блоки 1, 2 Курская АЭС – блоки 1, 2 Ленинградская АЭС – блоки 1, 2 Нововоронежская АЭС – блоки 3, 4
Доведение мощностей АЭС	
В 2005 г.	До 25 ГВт с энерговыработкой ~174 млрд кВт·ч
В 2010 г.	До 30 ГВт с энерговыработкой ~212 млрд кВт·ч
В 2020 г. (с учетом АТЭЦ)	До 52 ГВт с энерговыработкой ~340 млрд кВт·ч и 15 млн Гкал на АТЭЦ

Окончание табл. 3

Доведение мощностей АЭС	
<p>В том числе:</p> <p>до 2010 г.:</p> <p>рост установленной мощности АЭС</p> <p>достройка 4 ГВт атомных энергоблоков</p> <p>новое строительство 5 ГВт атомных энергоблоков</p>	<p>На 9 ГВт</p> <p>Ростовская АЭС – блок 1 (введен в 2001 г.) Калининская АЭС – блок 3 Курская АЭС – блок 5 Балаковская АЭС – блок 5</p> <p>Калининская АЭС – блок 4 Балаковская АЭС – блок 6 Ростовская АЭС – блоки 2, 3 Башкирская АЭС – блок 1 (а также энергоблоки с быстрыми реакторами на Белоярской АЭС и энергоблоки малой мощности в Северодвинске)</p>
<p>до 2020 г.:</p> <p>рост установленной мощности АЭС</p> <p>ввод для замещения атомных энергоблоков I поколения</p> <p>новое строительство энергоблоков АЭС и АТЭЦ</p>	<p>На 22 ГВт</p> <p>Ленинградская АЭС-2 – блоки 1, 2 Курская АЭС-2 – блоки 1,2 Нововоронежская АЭС – блоки 6, 7</p> <p>Дальневосточная АЭС – блок 1 Ростовская АЭС – блок 4 Башкирская АЭС – блоки 2–4 Татарская АЭС – блоки 1–4 Смоленская АЭС-2 – блоки 1, 2 Северо-Кавказская АЭС – блоки 1, 2 Архангельская и Калининградская АТЭЦ (а также энергоблоки с быстрыми реакторами на Белоярской и Южно-Уральской АЭС и атомные энергоблоки Хабаровской и Приморской АТЭЦ)</p>
Основные задачи	
<p>Основные задачи атомной энергетики до 2020 г. – модернизация и продление назначенного срока службы атомных энергоблоков до 40–50 лет, воспроизводство выбывающих и строительство новых АЭС с целью интенсивного замещения сжигания газа и мазута в электроэнергетике, с увеличением доли атомной энергетики в производстве электроэнергии в России до 27% от общей выработки.</p>	

В пользу максимального варианта роста атомной энергетики говорит то стратегически важное обстоятельство, что для европейской части России из «газовой ловушки» есть только один «ядерный выход».

- цена ядерного топлива на внутреннем рынке ниже мировой в ~3 раза, а газа - в ~6 раз; если исходить из самофинансирования только топливных отраслей, оставляя величины остальных издержек на прежнем уровне, то при переходе на мировые цены на топливо цена электроэнергии АЭС возрастёт в ~1,5 раза, а газовой ТЭС - в ~4 раза;
- к 2010 г. в европейской части России 10 ГВт КЭС исчерпают физический ресурс и могут быть замещены АЭС;
- имеются строительные заделы для АЭС суммарной мощностью 10 ГВт, достройка которых потребует удельных капитальных вложений около 680 дол./кВт;
- в европейской части России ТЭС на угле имеют бóльшие капитальные затраты, чем АЭС. Кроме того, для новых угольных ТЭС потребуются существенные дополнительные затраты на строительство шахт и транспортировку угля по железной дороге;
- при удельных инвестициях до 1000 дол./кВт строительство АЭС с учетом затрат на инфраструктуру (табл. 4) в европейской части России сопоставимо со строительством ТЭС с ПГУ, с учетом инвестиций в добычу, транспортировку и строительство подземных хранилищ газа;
- есть готовый проект АЭС с отечественным оборудованием, для реализации которого достаточно удельных вложений около 900-950 дол./кВт;
- тарифы на электроэнергию ТЭС и АЭС составят, соответственно, 3,3 и 1,7 цент/(кВт·ч).

В пользу максимального варианта роста атомной энергетики говорит то стратегически важное обстоятельство, что для европейской части России из «газовой ловушки» есть только один «ядерный выход».

Таблица 4

Ожидаемые объемы затрат на реализацию проектов и мероприятий по развитию атомной энергетики до 2020 г.

(млрд дол. при курсе 28 руб./дол. и ценах на оборудование и услуги на 2000 г.)

Направления	2001–2010 гг.	2011–2020 гг.
Завершение строительства энергоблоков высокой степени готовности	2,0	–
Строительство новых энергоблоков	9,6	19
Объекты РАО, ОЯТ	0,6	0,1
Топливообеспечение	0,4	0,6
Безопасность АЭС, продление срока эксплуатации АЭС	1,5	2,6
Итого...	14,2	22,3
Удельные затраты на ввод энергоблоков АЭС (учитывая наличие незавершенного строительства части энергоблоков)	664 дол./кВт	877 дол./кВт
Удельные полные затраты на развитие атомной энергетики	~ 750 дол./кВт	~ 900 дол./кВт

Ростовская АЭС



ЭТАПЫ СТРАТЕГИИ



В крупномасштабной атомной энергетике будущего могут найти свое место различные типы реакторов на тепловых нейтронах при доминирующей роли быстрых реакторов.

до **2010** г.

1. Рост установленной мощности атомной энергетики и поддержание ее в безопасном состоянии:

- безопасная и эффективная эксплуатация действующих энергоблоков, в том числе доведение КИУМ до 80–85% и роста выработки до 212 млрд кВт·ч;
- снижение эксплуатационных затрат на производство электроэнергии;
- продление срока эксплуатации энергоблоков от назначенного ресурса (9 ГВт);
- завершение строительства и ввод в действие энергоблоков высокой и средней готовности;
- доведение проектов энергоблоков третьего поколения до коммерческой реализации;
- сооружение референтных блоков третьего поколения на имеющихся площадках;
- завершение реконструкции завода РТ-1, расширение хранилищ ОЯТ на заводе РТ-2, реализация первой очереди сухого хранения облученного ЯТ РБМК на АЭС и Горно-химическом комбинате;
- разработка комплекса по утилизации и захоронению РАО.

2. Разработка программы развития промышленной базы АЭ.

3. Увеличение экспортного потенциала АЭ:

- экспорт электроэнергии;

- экспорт АЭС с реакторами третьего поколения;
- экспорт ядерного топлива;
- экспорт услуг по хранению и переработке ЯТ.

4. Начальная стадия утилизации оружейного плутония в российских реакторах при финансировании заинтересованными странами и экспорт МОХ-топлива.

5. Сооружение АЭС с БН, переход на нитридное топливо и КВА@1.

6. Завершение НИР и ОКР по технологии замкнутого ядерного топливного цикла для широкомасштабной атомной энергетики: малоотходная переработка ЯТ, технологическая поддержка режима нераспространения, радиационно-эквивалентное захоронение РАО.

7. Разработка и сооружение демонстрационного блока АЭС с естественной безопасностью (быстрый реактор и опытные производства его топливного цикла).

8. Разработка малых ЯЭУ повышенной безопасности для периферийных районов и инфраструктуры их обслуживания.

9. Участие в международном проекте по разработке и сооружению АС с модульным гелиевым реактором с газовой турбиной (ГТ-МГР).

10. Участие в программе ИТЭР.

до **2030 г.**

1. Замещение выводимых из эксплуатации и утилизация энергоблоков первого и второго поколений ядерно-энергетическими установками третьего поколения.

2. Формирование технологической базы для перехода к крупномасштабной атомной энергетике:

- развитие радиохимического производства по переработке топлива;
- освоение и эксплуатация энергоблоков АЭС с быстрым реактором и опытными производствами топливного цикла с естественной безопасностью;
- разработка и сооружение до 2020 г. головного промышленного образца быстрого реактора с естественной безопасностью и его опытная эксплуатация;
- разработка и сооружение при головном блоке АЭС цехов по замыканию ядерного топливного цикла с радиационно-эквивалентным захоронением РАО и с технологической поддержкой режима нераспространения;
- разработка теплового реактора с торий-урановым циклом с естественной безопасностью;
- опытная эксплуатация прототипного блока ГТ-МГР и производство топлива для него (в рамках международного проекта);
- сооружение объектов малой энергетики, включая стационарные и плавучие энергетические и опреснительные станции.

до **2050 г.**

1. Создание инфраструктуры крупномасштабной атомной энергетики, ориентированной на покрытие возрастающих потребностей в производстве и экспорте электроэнергии и тепла.

2. Сооружение демонстрационного блока АЭС с тепловым реактором с торий-урановым циклом и его опытная эксплуатация.