

# Развитие технологий, производительность электростанций на российском рынке атомной энергии

## Technology Developments & Plant Efficiency for the Russian Nuclear Power Generation Market

Иан Хор-Лейси  
Руководитель Департамента Общественных Связей  
Всемирная Ядерная Организация

Ian Hore-Lacy  
Director of Public Communications  
World Nuclear Association



Россия продолжает выполнение программы развития атомной энергетики, несмотря на затруднения, связанные с последней рецессией, которая привела к снижению как спроса на электроэнергию, так и количества доступных денежных средств.

В настоящее время Россия строит ядерные энергетические реакторы четырех типов: хорошо зарекомендовавший себя ВВЭР-1000, его усовершенствованный вариант ВВЭР-1200, самый большой в мире реактор на быстрых нейтронах БН-800, и первую плавучую АЭС с двумя реакторами мощностью 40 МВтэ, переоборудованными из судовых.

В стране в эксплуатации атомные электростанции, насчитывающие 31 реактор общей мощностью 21 743 МВтэ, включая:

- » шесть водо-водяных энергетических реакторов ВВЭР-440 первого и второго поколений,
- » девять водо-водяных энергетических реакторов ВВЭР-1000 третьего поколения, целиком размещенных в защитной оболочке, в основном типа В-320,
- » 11 легководных графитовых реакторов РБМК,

Russia is forging ahead in respect to its nuclear power program, despite a setback due to the recent recession diminishing both power demand and available capital.

Currently it is building four different kinds of nuclear power reactors: the well-proven VVER-1000, the VVER-1200 development of this, the world's largest fast neutron reactor - BN-800, and the first floating nuclear power plant with a pair of 40MWe reactors adapted from ships.

Russia's operating nuclear plants, with 31 reactors totalling 21,743 MWe, comprise:

- » 6 first and second-generation VVER-440 pressurised water reactors,
- » 9 third generation VVER-1000 pressurised water reactors with a full containment structure, mostly V-320 types,
- » 11 RBMK light water graphite reactors now unique to Russia.
- » 4 small graphite-moderated BWR reactors in eastern Siberia, constructed in the 1970s for cogeneration.
- » One BN-600 fast-breeder reactor.

Several reactors supply district heating - a total of over 11 PJ/yr.

- которые теперь имеются только в России,
- » четыре малогабаритных кипящих реактора с графитовым замедлением в Восточной Сибири, построенных в 1970-х гг. для энерго- и теплоснабжения,
- » один реактор-размножитель на быстрых нейтронах БН-600.

Несколько реакторов обеспечивают централизованное теплоснабжение районов — в сумме свыше 11 ПДж в год.

В целом проектный срок эксплуатации для российских реакторов составляет 30 лет после первой загрузки. С 2000 года объявлено о продлении срока службы двенадцати наиболее старых реакторов, дающих в сумме одну четверть эксплуатационной мощности, при этом время продления составляет от 15 до 25 лет, для чего необходимы крупные капиталовложения с целью модернизации реакторов. Часто это подразумевает также небольшое увеличение номинальной мощности.

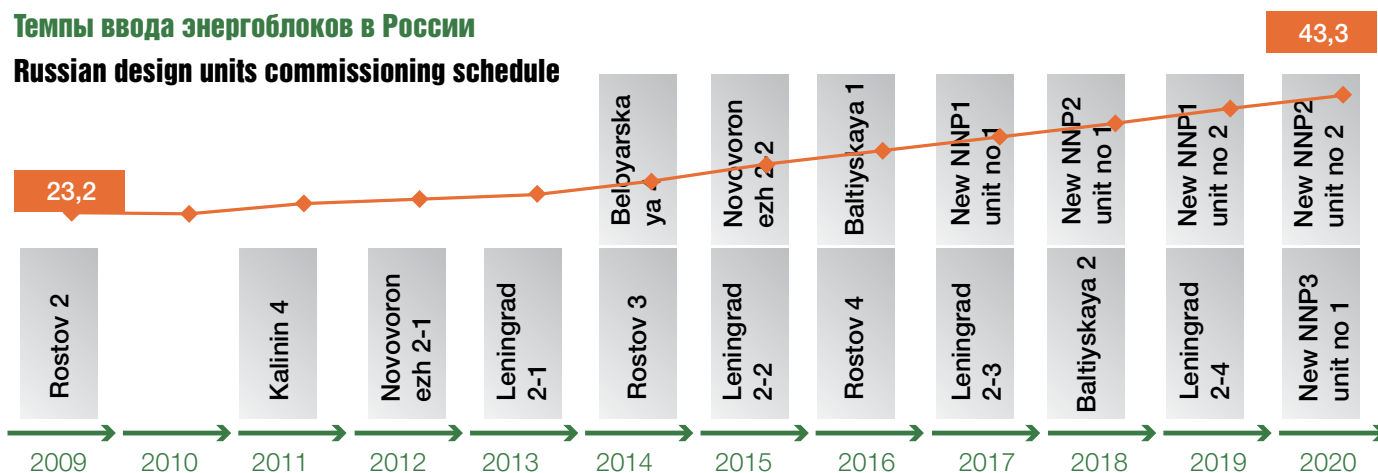
Generally, Russian reactors are licensed for 30 years from first power. Since 2000, lifetime extensions of twelve older reactors totalling one quarter of the operating capacity have been announced, with the extension period now 15 to 25 years, necessitating major investment in refurbishing them. This now often involves slight uprating of the power.

Rosatom is committed to a large expansion of nuclear capacity in order to liberate natural gas for export to Europe at prices far above those accounted domestically for power generation. Two thirds of electricity now comes from gas. The federal program envisages a 25-30% nuclear share in electricity supply by 2030, 45-50% in 2050 and 70-80% by end of the century.

In February 2010 the government announced that Rosenergoatom's investment program for 2010 amounted to RUR 163.3 billion, of which RUR 53 billion would come from the federal budget. Of the total, RUR 101.7 billion is for nuclear plant construction, almost half of this from Rosenergoatom funds. It includes the reactors depicted below to 2015 plus the Baltic plant.

### Темпы ввода энергоблоков в России

#### Russian design units commissioning schedule



«Росатом» намерен добиться существенного увеличения доли ядерной энергетики, чтобы освободить поставки природного газа для экспорта в Европу по ценам, намного превосходящим стоимость самостоятельного производства электроэнергии. Электричество в настоящий момент на две трети производится на базе ресурсов газа. Федеральной программой предусмотрено достижение 25—30 % доли атомной энергии в производстве электричества к 2030 году, 45—50 % к 2050 году и 70—80 % к концу столетия.

В феврале 2010 года правительство сообщило, что инвестиционная программа «Росэнергоатома» на данный год составила 163,3 млрд рублей, из которых 53 млрд руб. будут получены из федерального бюджета. В целом 101,7 млрд руб. предназначено для строительства АЭС, почти половина этой суммы поступит из средств «Росэнергоатома». Сюда входят

The Baltic nuclear power plant (2 x 1200 MWe VVER) in Kaliningrad is deliberately placed “essentially within the EU” and is designed to be integrated with the EU grid. Two thirds of the power would be exported to Germany, Poland and Baltic states, requiring some EUR 1 billion in transmission infrastructure. It will need some 49% European equity to proceed, though construction is scheduled to start in mid 2010, in Neman, close to the Lithuanian border. It is expected to cost some RUR 194 billion (EUR 4.45 billion, \$6.6 billion) for 2300 MWe net.

The federal program is based on VVER technology at least to about 2030. But it highlights the goal of moving to fast neutron reactors and closed fuel cycle.

#### Transition to fast reactors

The BN-800 Beloyarsk-4 fast reactor designed by OKBM Afrikanov is intended to replace the BN-600 unit 3 at Beloyarsk, though the RUR 64 billion project has been

реакторы, указанные на рисунке ниже, до 2015 года, а также Балтийская АЭС.

Балтийская АЭС (2 x ВВЭР мощностью 1200 МВтэ) в Калининграде намеренно размещена «фактически внутри ЕС» и спроектирована с учетом интеграции в энергосеть Европейского Союза. Две трети электроэнергии будет экспортированы в Германию, Польшу, балтийские государства, для чего требуется вложить около 1 млрд евро в создание передающей инфраструктуры. Для развития проекта требуется обеспечить европейское участие в акционерном капитале в размере порядка 49 %, хотя начало строительства уже запланировано на середину 2010 года в г. Неман неподалеку от литовской границы. Ожидается, что строительство обойдется в сумму порядка 194 млрд руб. (4,45 млрд евро или 6,6 млрд долларов) и обеспечит производство электрической мощности (нетто) 2300 МВт.

Федеральная программа основывается на использовании технологии ВВЭР приблизительно до 2030 года, как минимум. Тем не менее, как цель в ней обозначен переход к применению реакторов на быстрых нейтронах и замкнутого топливного цикла.

### Переход на быстрые реакторы

Быстрый реактор БН-800 (4-й энергоблок Белоярской АЭС) спроектирован ОКБМ им. И. И. Африкантова и предназначен для замены 3-й реакторной установки БН-600 в Белоярске, хотя реализация проекта стоимостью 64 млрд руб. задерживается из-за недостатка финансирования после начала строительства в 2006 году. В конце 2009 года появились сообщения о продолжении работ в соответствии с графиком, хотя датой ввода в эксплуатацию называют 2013—2014 гг. Два таких реактора с натриевым охлаждением БН-800 были проданы Китаю, начало строительства — 2012 год.

ОКБМ им. И. И. Африкантова разрабатывает реактор БН-1200 как следующий шаг к БН-1800. Научно-технический совет «Росатома» одобрил реактор БН-1200 для Белоярской АЭС, начало строительства опытной установки запланировано на 2020 год.

Двигаясь в ином направлении, а также ставя задачу уменьшения размеров реактора по сравнению с БН-800, АКМЕ-Engineering планирует построить к 2015 году в Обнинске опытную установку СВБР-100 электрической мощностью 100 МВт. Это реактор на быстрых нейтронах со свинцово-висмутовым охлаждением модульного типа, предложенный ОКБ «Гидропресс», который разработан с целью удовлетворения региональных потребностей в России и за рубежом. При строительстве группами из 10—16 установок ожидается, что он сможет конкурировать

delayed by lack of funds since construction start in 2006. At the end of 2009 it was reported as on schedule, though start-up dates range 2013-14. Two of these sodium-cooled BN-800 reactors have been sold to China, for 2012 construction start.

OKBM Afrikantov is developing a BN-1200 reactor as a next step towards BN-1800. Rosatom's Science and Technology Council has approved the BN-1200 reactor for Beloyarsk, with pilot plant construction planned to start in 2020.

Moving in the other direction, and downsizing from BN-800 etc, a pilot 100 MWe SVBR-100 unit is to be built at Obninsk, by AKME-Engineering by 2015. This is a modular lead-bismuth cooled fast neutron reactor concept from OKB Gidropress, and is designed to meet regional needs in Russia and abroad. If built in clusters of 10 to 16 units it is claimed to be competitive with VVER types. (AKME-Engineering was set up in 2009 by Rosatom and the En+ Group, a subsidiary of Basic Element Group, as a 50-50 joint venture.)

The option selected for moving to fast reactors involves development of three different technologies: the existing sodium-cooled fast reactor of about 800 MWe, the lead-bismuth-cooled SVBR fast reactor of 100 MWe, and finally the lead-cooled BREST fast reactor of 300 MWe. In addition, a 150 MWt multi-purpose fast research reactor (MBIR) is to be built by 2020. The total fast reactor budget to 2020 is about RUR 60 billion, largely from the federal budget. The program is intended to result in a 70% growth in exports of high technology equipment, works and services rendered by the Russian nuclear industry by 2020.

The BREST lead-cooled fast reactor to be built over 2016-20 will be a new-generation fast reactor which dispenses with the fertile blanket around the core and supersedes the BN-600/800 design, to give enhanced proliferation resistance. All of the RUR 25.7 development cost will come from the federal budget.

### Aluminium and nuclear power

Since 2007 Rosatom and RUSAL, now the world's largest aluminium and alumina producer, have been undertaking a feasibility study on a nuclear power generation and aluminium smelter at Primorye in Russia's far east. This proposal is taking shape as a US\$ 10 billion project involving four 1000 MWe reactors and a 600,000 t/yr smelter with Atomstroyexport having a controlling share in the nuclear side. The smelter will require about one third of the output from 4 GWe, and electricity exports to China and North and South Korea are envisaged.

In October 2007 a \$7 billion project was announced for the world's biggest aluminium smelter in the Saratov region, complete with two new nuclear reactors to power it. The 1.05 million tonne per year aluminium smelter is to be





## КРИТИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАЧА ТЕПЛА ТРЕБУЕТ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ И КВАЛИФИКАЦИИ

Правильный обмен тепла между различными объектами является первостепенной предпосылкой зарождения и развития жизни. Это подтолкнуло природу к созданию большого разнообразия решений передачи тепла с течением времени.

По сравнению с масштабами природы, эволюция развития теплообменников HögforsSahala прошла довольно короткий период, хотя и насчитывает 50 лет богатейшего опыта. За этот период мы усовершенствовали и довели до оптимального стандарта тщательно проанализированные свойства теплообмена. В дополнение к обеспечению полного контроля над процессом теплопередачи, они сводят до минимума потери в различных производственных ситуациях.

Выполнив тысячи поставок теплообменников за эти годы, мы приняли участие в строительстве и разработке установок эффективной выработки энергии на атомных электростанциях, станциях биологического топлива и тепловых электростанциях на ископаемом топливе по всему миру.

Чтобы получить более подробную информацию о нас и решении вопросов передачи тепла, приглашаем Вас на наш портал [www.hogfors.com](http://www.hogfors.com)

Приглашаем Вас посетить нас  
на Power-Gen Europe: **стенд B70**



A COOL WAY TO MANAGE HEAT AND PRESSURE • HögforsSahala

с типами ВВЭР. (Компания АКМЕ-Engineering была учреждена в 2009 году «Росатомом» и En+ Group, филиалом Basic Element Group, как совместное предприятие с равным участием сторон.)

Выбранный вариант с переходом на быстрые реакторы подразумевает развитие трех разных технологий: существующих типов быстрого реактора с натриевым охлаждением электрической мощностью порядка 800 МВт, быстрого реактора СВБР со свинцово-висмутовым охлаждением электрической мощностью 100 МВт, и, наконец, быстрого реактора БРЕСТ со свинцовым охлаждением с электрической мощностью 300 МВт. Помимо этого, к концу 2020 года предполагается построить многоцелевой исследовательский реактор на быстрых нейтронах (МБИР) мощностью 150 МВт. Общий бюджет строительства быстрых реакторов до 2020 года составляет порядка 60 млрд руб., в основном из средств федеральных средств. Целью программы является 70 % рост экспорта высокотехнологичного оборудования, работ и услуг, предоставляемых российской атомной отраслью, к 2020 году.

Реактор БРЕСТ со свинцовым охлаждением, который планируется построить в 2016—2020 гг., будет представлять собой реактор на быстрых нейтронах нового поколения, где зона воспроизводства располагается вокруг активной зоны. Он придет на смену проекту БН-600/800 и обеспечит повышенную защиту от распространения продуктов деления во внешнюю среду. Все финансирование в размере 25,7 млрд руб. осуществляется за счет федерального бюджета.

### Алюминий и ядерная энергетика

Начиная с 2007 года «Росатом» и «РУСАЛ», крупнейший мировой производитель алюминия и глинозема, готовят технико-экономическое обоснование по производству атомной энергии на алюминиевом комбинате в Приморском крае на российском Дальнем Востоке. Данное предложение обретает форму в виде проекта стоимостью 10 млрд долл. США, подразумевающего строительство четырех реакторов электрической мощностью 1000 МВт и комбината с производительностью 600 000 тонн в год, в котором «Атомстройэкспорт» имеет контрольный пакет в атомной составляющей. Комбинатом будет востребована одна треть вырабатываемой электрической мощности в 4 ГВт, также предусматривается экспорт электроэнергии в Китай, в Северную и Южную Корею.

В октябре 2007 года было объявлено о начале проекта стоимостью в 7 млрд долл. на крупнейшем в мире алюминиевом комбинате в Саратовской области, для энергоснабжения которого предусмотрено



built by RUSAL at Balakovo, and would require about 15 billion kWh/yr. The initial plan was for the existing Balakovo nuclear power plant of four 950 MWe reactors to be expanded with two more - the smelter would require a little over one third of the output of the expanded power plant. However, in February 2010 it was reported that RUSAL proposed to build its own 2000 MWe nuclear power station, with construction to start in 2011.

### Nuclear icebreakers and merchant ship

Nuclear propulsion has proven technically and economically essential in the Russian Arctic where operating conditions are beyond the capability of conventional icebreakers. The power levels required for breaking ice up to 3 metres thick, coupled with refuelling difficulties for other types of vessels, are significant factors. The nuclear fleet has increased Arctic navigation from 2 to 10 months per year, and in the Western Arctic, to year-round. Greater use of the icebreaker fleet is expected with developments on the Yamal Peninsula and further east.

The core capacity here is a fleet of large icebreakers, six 23,500 dwt Arktika-class, launched from 1975. These powerful vessels have two 171 MWt OK-900 reactors delivering 54 MW at the propellers and are used in deep Arctic waters. The seventh and largest Arktika class icebreaker - 50 Years of Victory (50 Let Pobedy) entered service in 2007. Two shallow-draught Taymyr-class icebreakers of 18,260 dwt with one reactor delivering 35 MW were built in Finland for use in shallow waters such as estuaries and rivers.

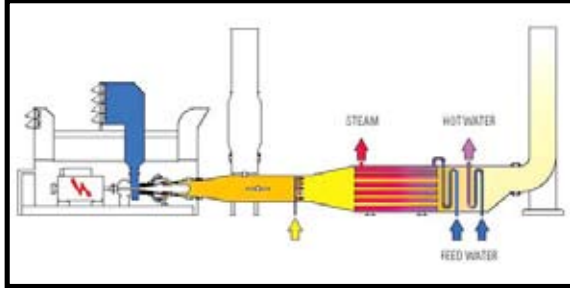


## Turbomach S.A.

Turbomach, a 30+ years old company based in Switzerland, is a leader in the power generation market and has become the brand for Solar Turbines in this sector.

Solar Turbines is the leading manufacturer of 1 to 22 MWe industrial gas turbines with over 60 years of experience and 13'000 units operating around the world.

Both Turbomach and Solar Turbines are wholly owned subsidiaries of Caterpillar Inc., a global technology leader and the world's leading manufacturer of construction and mining equipment, diesel and natural gas engines.



Turbomach has extensive experience in engineering, packaging, installation and commissioning of gas turbine power generator sets with over 1'000 units installed in more than 90 countries. It has also developed strong know-how and references in complete EPC power plant solutions.

Customers are served by Turbomach's 19 maintenance field offices and Solar Turbines' worldwide network, taking advantage of the combined infrastructure and experience of Solar Turbines and Turbomach.

Turbomach is a complete solutions provider for Industrial & Commercial Cogeneration applications and for Power Plants up to 100 MW, ensuring continuous Customer support from project definition to plant operation.

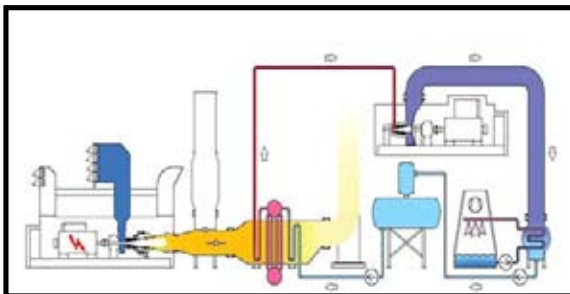


## Turbomach S.A.

Компания Turbomach, бренд Компании Solar Turbines, основана более 30 лет назад в Швейцарии и является лидером в сегменте промышленного производства электроэнергии.

Solar Turbines - ведущий изготовитель промышленных газовых турбин единичной мощностью от 1 до 22 МВт с более чем 60-летним опытом и 13000 установок, работающих во всем мире.

Обе компании: Turbomach и Solar Turbines входят в состав Корпорации Caterpillar Inc. - глобального технологического лидера и ведущего мирового производителя строительного и добывающего оборудования, дизельных и газопоршневых двигателей.



Компания Turbomach имеет обширный опыт в разработке, создании, установке и вводе в эксплуатацию более 1000 турбогенераторных установок для промышленности, энергетики и ЖКХ, установленных в более чем 90 странах. Этот накопленный богатый опыт сделал нашу Компанию настоящим экспертом с большим количеством положительных отзывов от наших Клиентов в комплексных решениях для различных конфигураций при строительстве электростанций.

19 Сервисных Центров Turbomach работают совместно с международной сетью Solar Turbines, обслуживая установленное по всему миру оборудование, предлагая клиентам объединенную инфраструктуру и опыт Turbomach и Solar Turbines.



## Energy in all we do

For more information on how Turbomach can support your business' profitability, please contact:

Turbomach SA, Marketing & Sales Department  
Via Campagna 15  
6595 Riazzino – Switzerland  
Tel: +41 91 851 15 11  
Email: [contact@turbomach.com](mailto:contact@turbomach.com)  
[www.turbomach.com](http://www.turbomach.com)

Для более полной информации и по всем интересующим вопросам Вы можете обращаться в компанию Turbomach по следующему адресу:

Turbomach SA, Отдел Продаж и Маркетинга  
Via Campagna 15  
6595 Riazzino – Switzerland  
Tel: +41 91 851 15 11  
Email: [contact@turbomach.com](mailto:contact@turbomach.com)  
[www.turbomach.com](http://www.turbomach.com)

Caterpillar is a trademark of Caterpillar Inc.  
Solar Turbines is a trademark of Solar Turbines Incorporated  
Turbomach is a trademark of Turbomach SA

© 2010 Turbomach SA. All rights reserved.

**Turbomach**  
A Caterpillar Company

строительство двух ядерных реакторов. Алюминиевый комбинат с производительностью 1,05 млн тонн в год будет построен компанией «РУСАЛ» в г. Балаково и потребует порядка 15 млрд кВт-ч/год. Первоначальный план предназначался для наращивания мощностей действующей Балаковской АЭС, имеющей четыре реактора электрической мощностью 950 МВт, при помощи строительства еще двух блоков — комбинату потребуется чуть более одной трети вырабатываемой реконструированной АЭС. Однако в феврале 2010 года появились сообщения о том, что «РУСАЛ» предложил построить собственную АЭС мощностью 2000 МВт, строительство которой планируется начать в 2011 году.

### Атомные ледоколы и торговые суда

Ядерные силовые установки доказали свою важность с технической и экономической точки зрения в российской Арктике, где условия не позволяют эксплуатировать обычные ледоколы. Существенными факторами являются энергоемкость, которая необходима для взламывания льда толщиной до трех метров, а также трудности с дозаправкой других типов судов. Благодаря атомному флоту продолжительность арктической навигации увеличилась с двух до десяти месяцев в году, а в западных районах Арктики она стала круглогодичной. Ожидается, что использование ледокольного флота возрастет с освоением полуострова Ямал и районов дальше к востоку.

Основой является флот крупных ледоколов класса «Арктика» водоизмещением 23 500 тонн, спущенных на воду после 1975 года. Эти мощные суда оснащены реакторами ОК-900 тепловой мощностью 171 МВт, дающими 54 МВт на гребные винты, и используются в глубоких арктических водах. Седьмой и самый крупный ледокол класса «Арктика» — «50 лет Победы» — вошел в строй в 2007 году. Два ледокола с небольшой осадкой класса «Таймыр» водоизмещением 18 260 т с одним реактором мощностью 35 МВт были построены в Финляндии для использования на мелководье, например в устьях рек и на речных фарватерах.

В 1988 году в России был принят в эксплуатацию «НС Севморпуть», в основном для обслуживания северных сибирских портов. Он представляет собой 260-метровый лихтеровоз грузоподъемностью 61 900 т (для доставки лихтеров в порты по мелководью) и контейнеровоз с ледокольным носом. Силовая установка представляет собой тот же реактор КЛТ-40, что и на более крупных ледоколах, обеспечивающий мощность на гребных винтах 32,5 МВт от реактора с мощностью 135 МВт, и до 2003 года ему потребовалась лишь одна перегрузка топлива.

In 1988 the NS Sevmorput was commissioned in Russia, mainly to serve northern Siberian ports. It is a 61,900 tonne 260 m long lash-carrier (taking lighters to ports with shallow water) and container ship with ice-breaking bow. It is powered by the same KLT-40 reactor as used in larger icebreakers, delivering 32.5 propeller MW from the 135 MWt reactor and it needed refuelling only once to 2003.

Russian experience with nuclear powered Arctic ships totals about 300 reactor-years in 2009.

### Floating nuclear power plants (FNPP)

Rosatom is planning to construct seven or eight floating nuclear power plants by 2015. The first of them is under construction at the Baltic shipyard at St Petersburg, designated for Vilyuchinsk, Kamchatka. The second is planned for Pevek on the Chukotka peninsula in the far northeast, near Bilibino. Each has two 35 MWe KLT-40S nuclear reactors mounted on a 21,500 tonne barge 144 metres long, 30 m wide. Three 12-year operating cycles are envisaged, with maintenance between them.

Russia is developing a new icebreaker reactor – RITM-200 – to replace the current KLT 40 reactors. This is an integral 210 MWt, 55 MWe PWR with inherent safety features. For floating nuclear power plants a single RITM-200 would replace twin KLT-40S (but yield less power).

### Heating

In addition, 5 GW of thermal power plants (mostly AST-500 integral PWR type) for district and industrial heat will be constructed at Arkhangelsk (4 VK-300 units commissioned to 2016), Voronezh (2 units 2012-18), Saratov, Dimitrovgrad and (small-scale, KLT-40 type PWR) at Chukoyka and Severodvinsk. Russian nuclear plants provided 11.4 PJ of district heating in 2005, and this is expected to increase to 30.8 PJ by about 2010. (A 1000 MWe reactor produces about 95 PJ per year internally to generate the electricity.)

### Heavy engineering and turbine generators

The main reactor component supplier is OMZ's Komplekt-Atom-Izhora facility which is doubling the production of large forgings so as to be able to manufacture three or four pressure vessels per year from 2011. OMZ is expected to produce the forgings for all new domestic AES-2006 model VVER-1200 nuclear reactors (four per year from 2016) plus exports. Forgings include reactor pressure vessels, steam generators, and heavy piping. The company has been reconstructing its 12,000 tonne hydraulic press, and a second stage of work will increase that capacity to 15,000 tonnes.

Turbine generators for the new plants are mainly from Power Machines subsidiary LMZ, which supplies high-speed (3000 rpm) turbines and plans also to offer 1200 MWe low-speed (1500 rpm) turbines from 2014. Alstom Atomenergomash will produce low-speed turbine

Российский опыт эксплуатации арктических судов с атомной силовой установкой на 2009 год в целом составил порядка 300 реактор/лет.

### Плавающие атомные электростанции (ПАЭС)

«Росатом» планирует построить к 2015 году семь или восемь плавающих АЭС. Первая из них, предназначенная для пос. Вилючинск на Камчатке, уже строится на ОАО «Балтийский завод» в Санкт-Петербурге. Вторая запланирована для г. Певек, Чукотский полуостров, на крайнем северо-востоке вблизи Билибино. Каждая ПАЭС оснащена двумя атомными реакторами КЛТ-40С мощностью 35 МВтэ, устанавливаемыми на барже водоизмещением 21 500 т, длиной 144 м, шириной 30 м. Предусмотрено три 12-летних рабочих цикла с обслуживанием в промежутках между ними.

Россия разрабатывает новый реактор для ледоколов — РИТМ-200 — с целью замены действующих реакторов КЛТ-40. Это интегральная водо-водяная реакторная установка тепловой мощностью 210 МВт, электрической мощностью 55 МВт с повышенной степенью защиты. Для плавающих АЭС одна установка РИТМ-200 заменит пару КЛТ-40С (с производством меньшей мощности).

### Теплоснабжение

Помимо этого, предполагается построить тепловые электростанции общей мощностью 5 ГВт (в основном АСТ-500, водо-водяного интегрального типа) для районного и промышленного теплоснабжения в Архангельске (четыре блока ВК-300 с вводом в строй до 2016 года), в Воронеже (два блока 2012 – 18 гг.), в Саратове, Дмитровграде и (малогабаритные КЛТ-40 водо-водяного типа) на Чукотке и в Северодвинске. На российских АЭС в 2005 году обеспечивалось 11,4 ПДж для районного теплоснабжения; ожидается, что эта цифра увеличится до 30,8 ПДж примерно к 2010 году. (Реактор мощностью 1000 МВтэ вырабатывает собственно около 95 ПДж в год для производства электричества.)

### Тяжелое машиностроение и турбогенераторы

Основным поставщиком компонентов реакторов является входящая в состав корпорации ОМЗ компания «Комплект-Атом-Ижора», которая вдвое увеличивает производство крупных штампованных изделий, чтобы иметь возможность изготавливать три-четыре реакторных корпуса высокого давления в год, начиная с 2011 года. Предполагается, что ОМЗ будет производить штампованные изделия для всех новых отечественных ядерных реакторов проекта АЭС-2006 модели ВВЭР-1200 (по четыре в год, начиная с 2016 года), а также на экспорт. Штампованные изделия включают реакторные корпуса высокого давления, парогенераторы и утолщенные трубы. Компания



generators based on Alstom’s Arabelle design, sized from 1200 to 1700 MWe. Silovy Mashiny plans to invest RUB 6 billion in a factory near St Petersburg to produce half-speed steam turbine generators of 1200 MWe from 2013. It is 25% owned by Siemens.

### Reactor technology

In September 2006 the technology future for Russia was focused on four elements:

- » Serial construction of AES-2006 units, with increased service life to 60 years,
- » Fast breeder BN-800,
- » Small and medium reactors - KLT-40 and VBER-300,
- » HTR.

### VVER-1000, AES-92

The main reactor design being deployed until now has been the V-320 version of the VVER-1000 pressurised water reactor, with 950-1000 MWe net output, as the heart of what became the AES-92 power plant. It is from OKB Hidropress, has 30-year basic design life and dates from the 1980s. Advanced versions of this with western instrument and control systems have been built at Tianwan in China and are being built at Kudankulam in India, with 40-year design life.

### VVER-1200, AES-2006

Development of a third-generation standardised VVER-1200 reactor of 1170 MWe net followed, as the basis of the AES-2006 power plant. This is an evolutionary development of the well-proven VVER-1000/V-320 and then the Generation III V-392 in the AES-92 plant, with longer life (50 years and aiming for 60), greater power, and greater



проводит реконструкцию своего гидравлического пресса с усилием 12 тыс. т, и после завершения второго этапа работ его мощность вырастет до 15 тыс. т.

Турбогенераторы для новых станций в основном поступают от ЛМЗ, филиала компании «Силовые машины», который поставляет быстроходные (3000 об./мин) турбины и планирует предложить тихоходные (1500 об./мин) турбины электрической мощностью 1200 МВт начиная с 2014 года. «Альстом Атомэнергомаш» будет производить тихоходные турбогенераторы на основе технологии «Арабель» компании «Альстом» с электрической мощностью от 1200 до 1700 МВт. «Силовые машины» планируют инвестировать 6 млрд руб. в строительство завода рядом с Санкт-Петербургом для производства тихоходных паровых турбин и генераторов электрической мощностью 1200 МВт начиная с 2013 года. 25 % акций завода принадлежат компании «Сименс».

### Реакторные технологии

В сентябре 2006 года технологии будущего в России были сосредоточены вокруг четырех элементов:

- » серийное производство блоков проекта АЭС-2006, с увеличенным до 60 лет сроком службы,
- » реактор-размножитель на быстрых нейтронах БН-800,
- » средне- и малогабаритные реакторы КЛТ-40 и ВБЭР-300,
- » высокотемпературные реакторы.

### ВВЭР-1000, АЭС-92

Базовой конструкцией реактора, который вводился в эксплуатацию до сегодняшнего дня, была версия В-320 водо-водяного реактора ВВЭР-1000 с нетто мощностью 950-1000 МВтэ, которая легла в основу электростанций проекта АЭС-92. Она предложена ОКБ «Гидропресс», имеет срок службы 30 лет для основной конструкции и используется с 1980-х гг. Ее модернизированные варианты с применением западных измерительных приборов и систем управления созданы на Тяньваньской АЭС в Китае и строятся в Куданкуламе в Индии, при этом срок службы составляет 40 лет.

### ВВЭР-1200, АЭС-2006

В дальнейшем началась разработка стандартизованного реактора ВВЭР-1200 третьего поколения нетто мощностью 1170 МВтэ как основы электростанции проекта АЭС-2006. Это закономерная эволюция хорошо зарекомендовавшего себя ВВЭР-1000/В-320 и последующего В-392 третьего поколения в установке проекта АЭС-92 с большим сроком службы (50 лет с перспективой увеличения до 60 лет), увеличенной мощностью и возросшим тепловым КПД (36,56 % вместо 31,6 %). Установки со свинцовым

thermal efficiency (36.56% instead of 31.6%). The lead units are being built at Novovoronezh II, to start operation in 2012-13, and at Leningrad II for 2013-14.

A typical AES-2006 plant will be a twin set-up with two of these OKB Hidropress reactor units expected to run for 50 years with capacity factor of 90%. Construction time is quoted as 54 months. They have enhanced safety including that related to earthquakes and aircraft impact with some passive safety features, double containment and lower core damage frequency. In Europe the basic technology is being called the Europe-tailored reactor design, MIR-1200 (Modernized International Reactor), and bid for Temelin 3 & 4, Turkey and Finland.

A Generation IV Hidropress project is the supercritical VVER (VVER-SKD or VVER-SCWR) with higher thermodynamic efficiency (45%) and higher breeding ratio (0.95) and oriented towards the closed fuel cycle.

### VBER-300

OKBM Afrikantov's VBER-300 PWR is a 295 MWe unit developed from naval power plants and was originally envisaged in pairs as a floating nuclear power plant. As a cogeneration plant it is rated at 200 MWe and 1900 GJ/hr for heat or desalination. The reactor is designed for 60 year life and 90% capacity factor. It was planned to develop it as a land-based unit with Kazatomprom, with a view to exports, but this agreement has stalled. There is support for two demonstration units at Zheleznogorsk for the Mining & Chemical Combine (MMC).

### VK-300 BWR

The VK-300 boiling water reactor is being developed by the Research & Development Institute of Power Engineering (NIKIET) for both power (250 MWe) and desalination (150 MWe plus 1675 GJ/hr). It has evolved from the VK-50 experimental BWR at Dimitrovgrad, but uses standard components wherever possible, eg the reactor vessel of the VVER-1000. A feasibility study on building 4 cogeneration VK-300 units at Archangelsk was favourable, delivering 250 MWe power and 31.5 TJ/yr heat.

### RBMK / MKER

A development of the RBMK was the MKER-800, with much improved safety systems and containment, but this has been shelved. Like the RBMK itself, it was designed by VNIPIET (All-Russia Science Research and Design Institute of Power Engineering Technology) at St Petersburg.

### HTRs

In the 1970-80s OKBM undertook substantial research on high temperature gas-cooled reactors (HTRs). In the 1990s it took a lead role in the international GT-MHR (Gas Turbine-Modular Helium Reactor) project based on a General Atomics (US) design. Preliminary design was completed in 2001 and the prototype was to be constructed at Seversk

теплоносителем строятся на втором энергоблоке Нововоронежской АЭС, с началом эксплуатации в 2012—2013 гг., и на Ленинградской АЭС-2, с вводом в строй в 2013—2014 гг.

Типовая электростанция проекта АЭС-2006 имеет парную комплектацию из двух реакторных установок, разработанных ОКБ «Гидропресс», с расчетным сроком службы 50 лет и коэффициентом использования мощности 90 %. Заявленное время строительства составляет 54 месяца. Повышена безопасность, в том числе защита от подземных толчков и самолетных атак, благодаря применению некоторых мер пассивной защиты, использованию двойной защитной оболочки и снижению частоты повреждений активной зоны. В Европе такая базовая технология называется европейской адаптацией конструкции реактора, МИР-1200 (модернизированный интернациональный реактор), и участвует в конкурсе на строительство блоков 3 и 4 АЭС «Темелин», проектов в Турции и Финляндии.

«Гидропресс» предложил проект четвертого поколения ВВЭР с водой сверхкритического давления (ВВЭР-СКД или ВВЭР-SCWR) с улучшенным термодинамическим КПД (45 %) и повышенным коэффициентом воспроизводства (0,95), которые также ориентированы на замкнутый топливный цикл.

### ВВЭР-300

Разработанный ОКБМ им. И. И. Африкантова водородяной реактор ВВЭР-300 мощностью 295 МВтэ создавался для судовых силовых установок и с самого начала рассматривался для эксплуатации парами в виде плавучих АЭС. При комбинированном производстве тепла и электроэнергии его мощность составляет 200 МВтэ и 1900 ГДж/ч для выработки тепла или опреснения воды. Реактор разработан для эксплуатации со сроком службы 60 лет и коэффициентом использования мощности 90 %. Планировалось доработать его с целью использования на земле для «Казатомпрома», с экспортными перспективами, однако соглашение пока не достигнуто. Большой интерес привлекают две демонстрационные установки для «Горно-химического комбината» в Железногорске.

### Кипящий реактор ВК-300

Кипящий реактор ВК-300 разрабатывается Научно-исследовательским и конструкторским институтом энерготехники (НИКИЭТ) как для производства электроэнергии (электрическая мощность 250 МВт), так и для опреснения воды (электрическая мощность 150 МВт плюс 1675 ГДж/ч). Он является эволюционным развитием экспериментального кипящего реактора ВК-50 в Димитровграде, но по мере возможности использует стандартные

(Tomsk-7, Siberian Chemical Combine) by 2010, with construction of the first 4-module power plant (4x285 MWe) by 2015. Initially it will be used to burn pure ex-weapons plutonium, and replace production reactors which still supply electricity there. But in the longer-term perspective HTRs are seen as important for burning actinides, and later for hydrogen production.

### Improving reactor performance

A major recent emphasis has been the improvement in operation of present reactors with better fuels and greater efficiency in their use, closing much of the gap between Western and Russian performance. Fuel developments include the use of burnable poisons - gadolinium and erbium, as well as structural changes to the fuel assemblies.

With uranium-gadolinium fuel and structural changes, VVER-1000 fuel has been pushed out to 4-year endurance, and VVER-440 fuel even longer. For VVER-1000, five years is envisaged by 2010, with enrichment levels increasing nearly by one third (from 3.77% to 4.87%) in that time, average burn-up going up by 40% (to 57.7 GWd/t) and operating costs dropping by 5%. With a 3 x 18 month operating cycle, burn-up would be lower (51.3 GWd/t) but load factor could increase to 87%. Comparable improvements were envisaged for later-model VVER-440 units.

For RBMK reactors the most important development has been the introduction of uranium-erbium fuel at all units, though structural changes have helped. As enrichment and erbium content are increased (eg from 2.4 or 2.6% to 2.8% enrichment and 0.6% erbium) increased burn-up is possible and the fuel can stay in the reactor six years. Also from 2009 the enrichment is profiled along the fuel elements, with 3.2% in the central section and 2.5% in the upper and lower parts. This better utilises uranium resources and further extends fuel life in the core.

For the BN-600 fast reactor, improved fuel means up to 560 days between refuelling.

Beyond these initiatives, the basic requirements for fuel have been set as: fuel operational lifetime extended to 6 years, improved burn-up of 70 GWd/tU, and improved fuel reliability. In addition, many nuclear plants will need to be used in load-following mode, and fuel which performs well under variable load conditions will be required.

All RBMK reactors now use recycled uranium from VVER reactors and some has also been used experimentally at Kalinin-2 and Kola-2 VVERs. It is intended to extend this. A related project has been to utilise surplus weapons-grade plutonium in mixed oxide (MOX) fuel for up to seven VVER-1000 reactors from 2008, and the one fast reactor (Belayarsk-3) from 2007.

компоненты, например реакторный корпус от ВВЭР-1000. Было сделано положительное технико-экономическое заключение для строительства четырех блоков ВК-300 для комбинированного производства тепла и электроэнергии в Архангельске, вырабатывающих 250 МВт электрической мощности и 31,5 ТДж/год.

### РБМК/МКЭР

Более совершенным продолжением технологии РБМК стала установка МКЭР-800 с улучшенными системами безопасности и защитной оболочкой, хотя ее разработка пока отложена. Как и РБМК, она была спроектирована ВНИПИЭТ (Всероссийским научно-исследовательским и проектным институтом комплексной энергетической технологии) в Санкт-Петербурге.

### Высокотемпературные реакторы

В 1970—80 гг. ОКБМ основательно занималось разработкой высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов. В 1990-х гг. оно играло лидирующую роль в международном проекте GT-MHR (Газовая турбина — модульный гелиевый реактор), в основу которого легла технология General Atomics (США). Предварительное проектирование было завершено в 2001 году, а опытный образец был построен в Северске (Томск-7, Сибирский химический комбинат) к 2010 году; строительство первой станции из четырех модулей (4x285 МВт электрической мощности) запланировано на 2015 год. Первоначально она будет использоваться для сжигания чистого оружейного плутония и для замещения промышленных реакторов, которые по-прежнему обеспечивают энергоснабжение. Однако считается, что в более отдаленной перспективе высокотемпературные реакторы будут иметь большое значение для сжигания актинидов, а в дальнейшем для производства водорода.

### Улучшение характеристик реакторов

До недавнего времени основное внимание уделялось совершенствованию эксплуатационных характеристик существующих реакторов благодаря улучшению качества топлива и повышению КПД, в результате чего разрыв в параметрах западных и российских технологий существенно сократился. Работы по улучшению характеристик топлива включают использование выгораемого поглотителя — гадолиния и эрбия, а также конструкционные изменения тепловыделяющих сборок.

Благодаря применению уран-гадолиниевое топлива и конструкционным изменениям продолжительность топливного цикла в ВВЭР-1000 возросла до четырех лет, а в ВВЭР-440 — даже больше. Для ВВЭР-1000 предусмотрен срок пять лет к 2010 году, при этом уровень обогащения к этому времени увеличится

почти на треть (с 3,77 % до 4,87 %), средняя глубина выгорания топлива возрастет на 40 % (до 57,7 ГВт.д/т), а эксплуатационные расходы снизятся на 5 %. При рабочем цикле 3 x 18 месяцев глубина выгорания будет меньше (51,3 ГВт.д/т), однако коэффициент загрузки может возрасти до 87 %. Сравнимые улучшения были предусмотрены и для более поздних моделей установок ВВЭР-440.

В реакторах РБМК наиболее важным усовершенствованием стало внедрение уран-эрибиевого топлива для применения на всех установках, хотя этому помогли сделанные конструкционные изменения. Благодаря повышению степени обогащения топлива и содержания эрбия (например, с 2,4 или 2,6 % до 2,8 % для обогащения и 0,6 % для эрбия) появилась возможность увеличить глубину выгорания и сохранять топливо в реакторе в течение шести лет. Также, начиная с 2009 года, участки обогащения профилируются вдоль тепловыделяющих элементов, при этом в центральной части обеспечивается обогащение 3,2 %, а в верхней и нижней частях — 2,5 %. Это позволяет более эффективно использовать запасы урана и еще более увеличивает срок эксплуатации топлива в активной зоне.

Для быстрых реакторов БН-600 улучшенные характеристики топлива позволяют обеспечить промежуток между перегрузками длительностью до 560 дней.

Помимо описанных нововведений установлены следующие базовые требования к топливу: эксплуатационный ресурс топлива увеличен до шести лет, улучшенная глубина выгорания до 70 ГВт.д/тU, и повышенная безопасность топлива. Кроме того, многие АЭС будет необходимо эксплуатировать в режиме следования за нагрузкой, и понадобится топливо, которое обеспечивает нужные параметры при изменяющихся условиях нагрузки.

Во всех реакторах РБМК используется вторичный уран, получаемый из реакторов ВВЭР, опытная эксплуатация проводилась на установках ВВЭР Калинин-2 и Кола-2. Предполагается расширить такое использование. В соответствующем проекте намечалось использовать излишки оружейного плутония в смешанном оксидном топливе в семи реакторах ВВЭР-1000 с 2008 года, и в одном реакторе на быстрых нейтронах (Белоярск-3) с 2007 года.