

РОСАТОМ ИСТОРИЯ УСПЕХА



ИНГАРД ШУЛЫГА
РОСАТОМ. ИСТОРИЯ УСПЕХА



РОСАТОМ ИСТОРИЯ УСПЕХА

Ингард Шульга

Москва, 2017

Шульга Ингард Игоревич

Росатом. история успеха / И. И. Шульга, — М. Изд-во Б.С.Г.-Пресс, 2017. 228 с.

Подготовка к печати: Сергей Ухов

Издательство: ООО «Б.С.Г.-Пресс». Москва, Варшавское шоссе, 3, тел. +7 (499) 207-53-62

Подписано в печать 28.02.2017. Формат 60x90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Акциденц Гротеск. Печать офсетная. Объем 14 усл.печ.л. Тираж 310 экз. Заказ №163

ISBN 978-5-9338140-4-7

ВВЕДЕНИЕ

На фоне экономических неурядиц, постигших Россию к середине нынешнего десятилетия, атомная индустрия осталась островом не просто стабильности, а процветания: рост объемов производства и мощностей, технологическое перевооружение, наращивание экспорта и рекордного портфеля заказов — вот лишь неполный перечень показателей, выделяющих ядерный сектор из числа многих других отраслей отечественной экономики. Еще удивительнее, что такие результаты достигнуты не в сферах продажи сырья или материалов, и не в отраслях, отгороженных от внешней конкуренции протекционистскими мерами, контрсанкциями. Все обстоит как раз наоборот: речь о самой что ни на есть высокотехнологичной отрасли, которая значительную и растущую часть своей выручки зарабатывает на внешних рынках в обстановке жесточайшей конкуренции.

Один из секретов подобного успеха заключается именно в области технологий. После того как в предыдущие десятилетия многие секторы отечественной обрабатывающей промышленности пришли в упадок и были заменены импортом, Россия в ряде сфер оказалась в роли догоняющего и, чего греха таить, стала «провинцией» некоторых мировых высоких технологий. Некоторых, да не всех: атомный комплекс сумел сберечь накопленный прежде потенциал и перезапустить часовой механизм их развития, так что в последние годы этот потенциал

«выстрелил». В итоге сегодня наша страна в атомной сфере не то что не технологическая провинция, а ровно наоборот — одна из признанных мировых столиц. В наше время, когда Россия у многих ассоциируется с экспортом сырья, атомный комплекс — один из немногих секторов, продающих на мировых рынках несырьевую продукцию с высочайшей добавленной стоимостью.

4

Больше того: ядерный сектор не ограничился профильной, сугубо атомной специализацией, а двинулся в другие сферы, став инициатором и первоисточником внедрения в России целого ряда «неатомных» высоких технологий: суперкомпьютеров, композитов и уникальных материалов, аддитивной техники, лазеров и т. д. Тем самым повышается технологическая независимость страны, осуществляется пресловутое импортозамещение в сферах, где заместить что-либо несколько сложнее, чем найти альтернативу мраморной говядине или пармезану.

Однако так было не всегда: в 1990-е годы атомная индустрия оказалась на грани выживания. Еще немного, и она разделила бы судьбу отечественного гражданского авиастроения, электроники, производства средств производства и многого другого. Но ядерный комплекс выстоял, а в последние лет десять совершил настоящий рывок вперед, превратившись в один из локомотивов отечественных технологий.

И все же, почивать на лаврах не приходится. Это правда, что сегодня в атомном секторе нам догонять некого. Но ведь нас догнать могут...

ОТРАСЛЬ: ПЕРЕЗАГРУЗКА

5

К середине 1980-х гг. атомная отрасль была одним из ярчайших бриллиантов в короне советской индустрии. Наряду с грандиозным ядерно-оружейным комплексом, обеспечившим военный паритет с США, Советский Союз обладал второй по масштабам мирной атомной энергетикой (тогда еще не уступавшей ни французам, ни японцам), опережал всех по объемам добычи и обогащения урана, числу внедренных транспортных реакторов, характеристикам исследовательских ядерных установок и многим другим показателям.

Расхождение оценки сильного технологического отставания СССР от передовых стран касались атомного комплекса в наименьшей степени, а отчасти не касались вовсе: некоторые отечественные атомные технологии находились на самых передовых глобальных рубежах. В частности, Советский Союз дальше остальных государств продвинулся в промышленном внедрении наиболее эффективных центрифужных технологий разделения изотопов, построил единственный на планете гражданский атомный флот, достиг самых передовых позиций в развитии реакторов на быстрых нейтронах и в целом ряде других областей.

При этом атомная отрасль СССР к упомянутому времени набирала обороты: в стране и за рубежом строилось порядка четырех десятков энергоблоков атомных станций. Ежегодно вводилось по 6 и более блоков. По-

сле распада страны почти все эти проекты были приостановлены; три четверти из них так и остались незаконченными; практически все остальные завершались с большим опозданием, как правило, спустя десятилетия (см. Таблицу №1).

Таблица №1

Судьба проектов строительства атомных станций советской конструкции, реализуемых на момент распада СССР

АЭС	Начало реализации	Судьба энергоблока	Тип реактора	Мощность, МВт(э) нетто
Балаковская, 5 (Россия)	Апрель 1987	Не завершен	ВВЭР-1000	950
Балаковская, 6 (Россия)	Май 1988	Не завершен	ВВЭР-1000	950
Южно-Уральская, 1 (Россия)	Январь 1986	Не завершен	БН-800	750
Южно-Уральская, 2 (Россия)	Январь 1986	Не завершен	БН-800	750
Воронежская АТЭЦ, 1 (Россия)	Сентябрь 1983	Не завершен	АСТ	
Воронежская АТЭЦ, 2 (Россия)	Май 1985	Не завершен	АСТ	-
Башкирская, 1 (Россия)	Январь 1983	Не завершен	ВВЭР-1000	950
Башкирская, 2 (Россия)	Декабрь 1983	Не завершен	ВВЭР-1000	950
Горьковская АТЭЦ (Россия)	Январь 1982	Не завершен	АСТ	-
Калининская, 3 (Россия)	Октябрь 1985	Введен в эксплуатацию в ноябре 2005 г.	ВВЭР-1000	950
Калининская, 4 (Россия)	Август 1986	Введен в эксплуатацию в декабре 2012 г.	ВВЭР-1000	950
Курская, 5 (Россия)	Декабрь 1985	Не завершен	РБМК-1000	915

Курская, 6 (Россия)	Август 1986	Не завершен	РБМК-1000	925
Ростовская, 2 (Россия)	Май 1983	Введен в эксплуатацию в декабре 2010 г.	ВВЭР-1000	950
Ростовская, 1 (Россия)	Сентябрь 1981	Введен в эксплуатацию в декабре 2001 г.	ВВЭР-1000	950
Смоленская, 4 (Россия)	Октябрь 1984	Не завершен	РБМК-1000	925
Татарская, 1 (Россия)	Апрель 1987	Не завершен	ВВЭР-1000	950
Татарская, 2 (Россия)	Май 1988	Не завершен	ВВЭР-1000	950
Козлодуй, 6 (Болгария)	Апрель 1982	Введен в эксплуатацию в декабре 1993 г.	ВВЭР-1000	953
Грайфсвальд, 6 (Германия)	Декабрь 1976	Не завершен	ВВЭР-440	408
Грайфсвальд, 7 (Германия)	Декабрь 1978	Не завершен	ВВЭР-440	408
Грайфсвальд, 8 (Германия)	Декабрь 1978	Не завершен	ВВЭР-440	408
Штендаль, 1 (Германия)	Декабрь 1982	Не завершен	ВВЭР-1000	900
Штендаль, 2 (Германия)	Декабрь 1984	Не завершен	ВВЭР-1000	900
Ровенская, 4 (Украина)	Август 1986	Введен в эксплуатацию в апреле 2006 г.	ВВЭР-1000	950
Хмельницкая, 3 (Украина)	Март 1986	Не завершен	ВВЭР-1000	950
Хмельницкая, 4 (Украина)	Февраль 1987	Не завершен	ВВЭР-1000	950
Хмельницкая, 2 (Украина)	Февраль 1985	Введен в эксплуатацию в декабре 2005 г.	ВВЭР-1000	950
Чернобыльская, 5 (Украина)	Январь 1981	Не завершен	РБМК-1000	950
Чернобыльская, 6 (Украина)	Январь 1983	Не завершен	РБМК-1000	950
Южно-Украинская, 4 (Украина)	Январь 1987	Не завершен	ВВЭР-1000	950

Белене, 1 (Болгария)	Январь 1987	Не завершен	ВВЭР-1000	950
Белене, 2 (Болгария)	Март 1987	Не завершен	ВВЭР-1000	950
Темелин, 3 (Чехия)	Январь 1985	Не завершен	ВВЭР-1000	892
Темелин, 4 (Чехия)	Январь 1985	Не завершен	ВВЭР-1000	892
Жарновец, 1 (Польша)	Март 1984	Не завершен	ВВЭР-440	427
Жарновец, 2 (Польша)	Март 1984	Не завершен	ВВЭР-440	427
Хурагуа, 1 (Куба)	Октябрь 1983	Не завершен	ВВЭР-440	417
Хурагуа, 2 (Куба)	Февраль 1985	Не завершен	ВВЭР-440	417
Игналинская, 3 (Литва)	Июнь 1985	Не завершен	РБМК-1500	1380
Моховце, 1 (Словакия)*	Октябрь 1983	Введен в эксплуатацию в октябре 1998 г.	ВВЭР-440	436
Моховце, 2 (Словакия)*	Октябрь 1983	Введен в эксплуатацию в апреле 2000 г.	ВВЭР-440	436
Темелин, 1 (Чехия)*	Февраль 1987	Введен в эксплуатацию в июне 2002 г.	ВВЭР-1000	1023
Темелин, 2 (Чехия)*	Февраль 1987	Введен в эксплуатацию в апреле 2003 г.	ВВЭР-1000	1003

* Проект осуществлялся не советскими организациями.

И все же атомная промышленность Советского Союза состояла не только из одних достижений: ее затронули те же недуги, что подтачивали и весь организм государства, и в конце концов способствовали его гибели. Среди них — недостаточное внимание к вопросам ядерной безопасности и экологии, ставшее, в конечном итоге, следствием нечувствительности «государственной машины» к настроениям и потребностям общества.

В этих условиях сложилась система ядерного надзора, напрямую зависящая от исполнительной власти и пропускавшая то, что пропускать было нельзя ни при каких обстоятельствах. Как следствие, советская атомная индустрия, наряду с бесспорными достижениями, породила и антирекорды: наисерьезнейшие в мировой истории ядерные аварии и экологические катастрофы.

ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА

На фоне этих системных проблем в конце прошлого века советский атомный Колосс получил два мощнейших удара, едва не сбивших его с ног: первым из них стала авария на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 года, вторым — распад страны, который подспудно начался в конце 1980-х годов и увенчался окончательным разделением Советского Союза на самостоятельные государства в конце 1991 года.

Тяжелейшая за всю атомную эпоху катастрофа в Чернобыле (по выбросу радиоактивности на порядок превосходящая аварию на японской АЭС «Фукусима-1» в 2011 году) оказала огромное воздействие на советскую, постсоветскую и мировую атомную энергетику. Это событие, в частности, резко замедлило темпы атомного строительства в СССР и некоторых других странах, и привело к повсеместному ужесточению стандартов ядерной безопасности и конструктивной доработке АЭС. Причем в первую очередь это касалось именно советских/российских проектов, поскольку некоторые из них были особенно уязвимы в случае тяжелых аварий, в силу ряда конструктивных особенностей (речь идет о реакторах РБМК до их постчернобыльской модернизации, а также о ранних версиях ВВЭР-440). Хотя ревизия вопросов безопасности в конечном итоге пошла на пользу российским ядерным технологиям, в те годы Чернобыль обернулся настоящим шоком для атомной энергетики страны.

■ Евгений Адамов, Научный руководитель ОАО «НИКИЭТ» и проектного направления «Прорыв»:

«Полностью в ведении Минсредмаша были только две или три атомные станции. ...Остальные входили в систему Минэнерго. Так что нелишне заметить: Чернобыльская станция, где произошла страшная авария, сегодня ассоциируется с атомной отраслью. Но в структуру Минсредмаша она не входила».

Вторым сокрушительным ударом по отрасли стал «малоуправляемый» распад государства. В результате развала СССР взаимосвязанный атомный комплекс был разделен на части между получившими суверенитет республиками бывшего Союза. Крупнейшая его часть, включающая порядка 80% потенциала прежней отрасли, осталась на территории России и была передана под управление новообразованного Министерства Российской Федерации по атомной энергии.

После такой дезинтеграции, в 1990-е годы российская отрасль получила целый букет серьезных проблем.

Прежде всего, из-за разделения единого государства и потери стран-союзников был утрачен контроль над отдельными звеньями технологической цепи, а некоторые производственные связи оказались разорваны. За границей остался ряд важных отраслевых или смежных предприятий, таких как Ульяновский металлургический завод (производство ядерного топлива), Мангышлакский атомный комплекс (с реактором на быстрых нейтронах БН-350), Семипалатинский полигон и ряд исследовательских организаций — в Казахстане; Краматорский металлургический завод, Харьков турбинный завод и ряд важных предприятий и институтов — на Украине. Вне доступа оказались и предпри-

ятия бывших дружественных социалистических стран, некогда позволявшие расширить производственную базу советской отрасли; среди них особенно выделялись чехословацкие предприятия (прежде всего заводы Skoda), способные изготавливать практически полный комплект оборудования АЭС двух советских конструкций. За пределами нашей страны осталась приблизительно половина советской ядерной энергогенерации: восемь атомных станций в Литве, Армении, Украине, Казахстане. Еще значительно были потери в сырьевой базе: большая ее часть «уплыла» за границу (уран Казахстана, Узбекистана, Киргизии, Украины, стран Восточной Европы; цирконий Украины и т.д.).

Тяжелый экономический кризис, охвативший СССР, а затем и Россию, на границе 1980-х и 1990-х годов, еще больше подточил фундамент отрасли: на какое-то время практически прекратились инвестиции в развитие, а качество целевого освоения выделяемых денег снизилось. На атомной промышленности, как и на прочих отраслях, негативно сказался крах финансовой системы и нарушение нормальных товарно-денежных отношений: гиперинфляция, повсеместное распространение натуральных и прочих «альтернативных» форм расчетов (бартер, клиринг, «суррогатные деньги» и др.), а то и просто неплатежи, ставшие тогда распространенным и привычным делом. Вместе с финансово-экономическим кризисом нарушились и процессы внутреннего перекрестного субсидирования — частичной компенсации расходов по некоммерческим направлениям отрасли (таким как ядерно-оружейный комплекс) за счет видов деятельности, приносящих прибыль (продажа электроэнергии внутри страны, урановой продукции и ядерного топлива на мировом рынке).

■ **Олег Крюков,**
Директор ГК «Росатом» по государственной политике в области РАО, ОЯТ и вывода из эксплуатации.

«В конце 1980-х — начале 1990-х все проблемы обострились до предела вследствие «шоковых» реформ и полного развала экономики страны. ...Самым ужасным, на мой взгляд, был 1991 год, когда во всей стране каждый стал никому не нужен, в том числе даже в атомной отрасли. Высококвалифицированные люди в разных отраслях и сферах оказались «незагруженными», их буквально «просили на выход». Заводские склады были забиты какими-то газовыми плитами или ящиками с гвоздями — следствие расчетов по бартеру и массовых неплатежей. Но в бывшем Минсредмаше большинство не поддавалось общей панике. Никто у нас не разбежался, как это сплошь и рядом было в других отраслях. Хотя зарплаты в ту пору были довольно низкими, перспективы — туманными. Топливо порой мы поставляли практически бесплатно, поскольку заказчикам нечем было за него платить, но и останавливать реакторы — невозможно. Все тогда думали — нет, не может быть, чтобы атомную отрасль вот так просто взяли и бросили на произвол судьбы...»

На фоне децентрализации всей системы управления экономикой и масштабной приватизации, которые происходили в 1990-е годы, постепенно ослабла и прежде сверхжесткая вертикаль управления атомной промышленностью. В СССР предприятия отрасли управлялись Министерством среднего машиностроения (Минсредмаш) и под его контролем функционировали, по существу, как цеха одного большого комбината. Теперь же не только разладилась, в какой-то мере, координация производственной деятельности, но и стали постепен-

но «уплыть» из рук государства права собственности на некоторые российские предприятия (в добавление к превратившимся в зарубежные украинским, казахским и прочим заводам). Став независимыми, такие предприятия начали определять свою производственную повестку, в которой интересам развития атомного комплекса не всегда находилось место, либо цены на продукцию для прежних собратьев по общему делу резко поползли вверх, чего нельзя сказать о ее качестве. Подобные метаморфозы происходили, к примеру, в сферах строительства атомных объектов, производства топлива, атомного машиностроения.

Началась и конкуренция между атомными предприятиями на одних и тех же зарубежных рынках. Столкновение интересов и недостаток координации в этом вопросе ослаблял внешнеэкономические позиции России. Это происходило на фоне утраты или сильного снижения политического влияния нашей страны в ряде государств Восточной Европы и бывших республик СССР. Раньше эти государства представляли гарантированный «рынок сбыта» для советских/российских ядерных технологий. Теперь же такие гарантии исчезли. Это обернулось потерей, на каких-то этапах, части рынков, на которых прежде СССР был полным монополистом (правда, прямой финансовой выгоды от этой монополии страна до 1990-х годов не получала, скорее наоборот).

В то же время ослабла производственная дисциплина на некоторых предприятиях, хотя это проявилось меньше, чем во многих других отраслях экономики. Вкупе с частичным разрушением вертикали управления, «человеческий фактор» порой приводил к снижению качества продукции, способствовал замедлению технологического развития отрасли: замораживанию научно-исследовательских и конструкторских разработок,

приостановке внедрения в производство новых технологий и материалов.

Такая обстановка не только мешала инновациям, но и способствовала снижению эффективности использования уже действующих производственных мощностей. Об этом свидетельствует падение в 1990-е годы выработки российских атомных станций примерно на четверть, что лишь отчасти объяснялось уменьшением потребления электроэнергии в результате упадка экономики, а частично явилось следствием снижения эффективности эксплуатации.

В 1990-е годы негативный эффект вызвала и деградация производственной базы некоторых смежных с атомной индустрией отраслей. Так происходило, например, в сферах электротехники, электроники, металлообработки. Это привело к ослаблению или фактическому исчезновению ряда необходимых звеньев технологической цепи, а значит и нарастанию потенциальной зависимости атомной отрасли от импорта соответствующей продукции.

■ Валерий Лимаренко,

Президент Группы компаний ASE:

«Нам пришлось пережить и кризис другого рода. Буржуазная революция 90-х годов (если применять к истории всем нам известное учение о смене общественно-экономических формаций) повернула страну с социалистического пути развития на рыночные, капиталистические рельсы. Повернула жестко, шоковыми методами. Это был колоссальный удар по экономике вообще и по атомной отрасли в частности. Силы технологического и финансово-экономического ударов наложились друг на друга — в итоге период упадка и стагнации продлился до 2006 года».

Вполне естественно, что на фоне всех перечисленных явлений развитие отрасли резко замедлилось, а большинство (поначалу практически все) атомные стройки по российским проектам в нашей стране и за рубежом остановились, и большинство из них так и не возобновились (в Таблице №1) приведены данные по проектам сооружения АЭС, которые были прекращены). Остановка строек кое-где имела не только экономические, но и политические причины: на волне изобличения всего относящегося ко времени СССР, охватившей в то время российское общество, атомные проекты стали удобной жертвой популистских политических игр. Значительной части избирателей, склонных тогда протестовать против чего угодно, было легко внушить всевозможные небылицы об опасности атомных станций, раскачав их на массовые антиядерные выступления и обеспечив изблечителям прибавку голосов на выборах. В результате под давлением накрученного общественного мнения местами приходилось отказываться от фактически построенных, готовых объектов, которые могли быть введены в эксплуатацию относительно быстро и без особых дополнительных затрат даже в той тяжелой экономической обстановке (в качестве примеров можно привести атомные станции теплоснабжения, которые были практически построены в районах Воронежа и Нижнего Новгорода).

Благодаря остаткам «железного занавеса» «дикий» рынок не смог убить атомную отраслевую культуру

Впрочем, справедливости ради необходимо отметить, что в словиях спада объемов производства и потребления, происходившего в экономике России в тот период, далеко не во всех регионах была насущная необходимость в расширении атомной энергетики в том масшта-

бе, который прежде планировал Советский Союз для своей огромной, энергоемкой индустрии. Иными словами, «сжатие» экономики смягчило последствия приостановки количественного роста атомной энергетики. Но это никак не оправдывало прекращение качественного, технологического развития отрасли.

Если бы ситуация и дальше развивалась по инерции в описанном русле, то атомный комплекс ожидал бы более серьезный кризис, вплоть до постепенной деградации и дальнейшего отмирания некоторых производств и целых секторов. Собственно, нечто подобное происходило в других стратегических отраслях, например, в электронике или гражданском авиастроении, которые едва не сошли на нет. Однако в ядерной отрасли негативная ситуация не стала необратимой.

■ **Андрей Никипелов,**

Генеральный директор ОАО «Атомэнергомаш».

«Во времена всеобщего «евроремонта» мы делали ремонт по собственным нормам и правилам, сохранив-шимся еще со времен «железного занавеса». У нас оставалась масса ненужных и дублирующих функций. Но одновременно в отрасли сохранились те знания, компетенции и умения, которые в других местах были полностью утрачены. Не разбрелись кадры, которыми гордился Советский Союз, — те самые ученые, которые из принципа не соглашались на халтуру... Сохранились передовые технологии. ...Благодаря именно таким остаткам «железного занавеса» атомную отраслевую культуру «дикий» рынок убить не смог».

По сравнению с большинством других секторов российской экономики (особенно производящих наиболее сложную продукцию так называемых высоких переделов)

атомная индустрия в наибольшей мере сохранила потенциал, накопленный в докризисный период. Это открывало возможность в исторически короткие сроки добиться ее стабилизации и перейти к развитию по ряду направлений, при условии общего оздоровления экономической ситуации в стране и значительных организационных и технологических преобразований в самой атомной отрасли.

В ПРЕДДВЕРИИ ПЕРЕМЕН

Несмотря на неблагоприятную обстановку, уже в 1990-е годы стали предприниматься первые попытки упорядочить развитие атомной отрасли, восстановить прежние связи и управляемость. Так, в 1995 году был принят закон «Об использовании атомной энергии», а в 1996 году — закон «О радиационной безопасности населения». Хотя эти и некоторые другие документы, утвержденные в то время, были еще несовершенны и впоследствии не раз корректировались, они стали важным шагом к заполнению правового вакуума, образовавшегося в атомной сфере в результате радикальной смены политико-экономических условий после распада СССР.

Тогда же были предприняты усилия с целью остановить медленное «расползание» отрасли. Ведь в ту пору приобрели популярность идеи приватизации готовых индустриальных комплексов, иногда с их разделением, что и было сделано в ряде отраслей с различным успехом и итогом. Подобный подход рассматривался и в отношении атомных предприятий, вплоть до размежевания технологических звеньев в ядерно-топливном цикле и передачи в разные руки атомных станций. В итоге, однако, уже в 1990-е годы появилось несколько крупнейших атомных компаний, существующих и поныне: «Росэнергоатом», ТВЭЛ, АРМЗ, «Техснабэкспорт». Хотя их организационно-правовая форма и сферы контроля поначалу сильно отличались от сегодняшних, они уже тогда стали

важными центрами консолидации отрасли, позволили сохранить и постепенно укрепить управляемость в ключевых ее секторах. Эти организации стали собирать вокруг себя или удерживать связанные с отраслью предприятия, профильные активы. Не обошлось и без их взаимной конкуренции, «перетягивания» сфер контроля, которые пришли к нынешнему виду намного позже. Тогда же сказывался недостаток единого центра управления, функции которого российский Минатом, по объективным и субъективным причинам, выполнял значительно менее эффективно, чем советский Минсредмаш.

На границе 1990-х и 2000-х годов были приняты стратегические, программные документы, наметившие средне- и долгосрочные перспективы развития атомной отрасли в текущем столетии (см. Справку 1). В них были поставлены задачи, многие из которых сохраняют актуальность и поныне. Однако существенная их часть в те годы осталась благими пожеланиями, которые не были реализована в намеченные сроки и запланированном объеме. Тогда для этого не хватало необходимых условий: прежде всего финансовых ресурсов и производственных возможностей (к примеру, деградировал строительный комплекс), а также коренных изменений в системе управления и организации отрасли. В результате к середине 2000-х годов объемы финансирования и темпы ввода мощностей примерно на треть отставали от запланированного уровня, хотя энергопотребление тогда стало расти достаточно высокими темпами. Вместо предусмотренной планами достройки трех советских энергоблоков АЭС мощностью примерно 3 ГВт к 2005 году было введено в эксплуатацию два блока производительностью 2 ГВт.

И все же, появление новых стратегических документов и первых сдвигов в атомном строительстве после многолетнего застоя свидетельствует о попытках покон-

чить с тактикой «латания дыр» и перейти в начале нового столетия к развитию атомной индустрии. Для этого в то время стали появляться новые, более благоприятные условия, в том числе постепенная нормализация в России экономического положения и товарно-денежных отноше-

Справка 1

Первые документы, наметившие стратегию и программу развития атомной отрасли в текущем столетии.

- Программа развития атомной энергетики Российской Федерации на 1998–2005 годы и на период до 2010 года, утвержденная постановлением Правительства РФ от 21 июля 1998 г. №815.
- Федеральная целевая программа «Ядерная и радиационная безопасность России» на 2000–2006 годы», утвержденная постановлением Правительства РФ от 22 февраля 2000 г. №149
- Стратегия развития атомной энергетики России на первую половину XXI века, одобренная Правительством РФ 25 мая 2000 г.
- Энергетическая стратегия России на период до 2020 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 28 августа 2003 г. №1234-р.
- Подпрограмма «Безопасность и развитие атомной энергетики» Федеральной целевой программы «Энергоэффективная экономика» на 2002–2005 годы и на перспективу до 2010 года, утвержденная постановлением Правительства РФ от 17 ноября 2001 г. №796.
- Подпрограмма «Топливообеспечение атомной энергетики. Развитие ядерно-энергетического топливного цикла атомных электростанций» программы «Топливо и энергия», утвержденной постановлением Правительства РФ от 23 октября 1995 г. №1030.

ний, а также первые шаги по формированию полноценного рынка электроэнергии, который оказался весьма полезен атомным станциям. В тот период получили распространение прогнозы скорого дефицита генерирующих мощностей из-за их износа. Это стало важнейшим обоснованием активно проводившейся с начала 2000-х реформы электроэнергетики, и заодно заставило государство задуматься о перспективах атомной отрасли: ведь проектный срок службы части ядерных энергоблоков тоже подходил к концу.

ПЕРЕЛОМНЫЕ ГОДЫ

Поворотным пунктом в новейшей истории российской атомной отрасли стали события середины 2000-х годов. В марте 2004 г. было создано Федеральное агентство по атомной энергии, заменившее прежнее Министерство. Первым руководителем ведомства стал Александр Румянцев, а спустя полтора года, в ноябре 2005 г., его сменил Сергей Кириенко (см. Таблицу №2).

С этого времени началась активная разработка стратегии дальнейшего развития отрасли. К процессу привлекались руководители и специалисты отраслевых предприятий, а также эксперты из других сфер. В течение нескольких месяцев они обсуждали ключевые вопросы на семинарах, проводившихся в Колонтаево Ногинского района Московской области. Основные выводы были обобщены к февралю 2006 года и содержались, в частности, в докладе о ситуации в отрасли и предложениях по ее развитию, представленных Сергеем Кириенко 8 февраля в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт». После того, как были сформулированы основные цели преобразований, в конце февраля 2006 года под эгидой Федерального агентства была создана комиссия, которая в течение весны разработала программу развития отрасли. 10 мая того же года долгосрочная цель реструктуризации атомной индустрии была объявлена в послании Президента России Владимира Путина Федеральному собранию, а спу-

Таблица №2

Руководители атомной отрасли, начиная со второй половины 1980-х годов.

Руководитель	Период руководства	Должность
Славский Ефим Павлович	июль 1957 г. – ноябрь 1986 г.	Министр среднего машиностроения СССР
Рябев Лев Дмитриевич	ноябрь 1986 г. – июнь 1989 г.	Министр среднего машиностроения СССР
Коновалов Виталий Федорович	июль 1989 г. – ноябрь 1991 г.	Министр атомной энергетики и промышленности СССР
Никипелов Борис Васильевич	ноябрь 1991 г. – март 1992 г.	И.о. министра атомной энергетики и промышленности СССР
Михайлов Виктор Никитович	март 1992 г. – март 1998 г.	Министр Российской Федерации по атомной энергии
Адамов Евгений Олегович	март 1998 г. – март 2001 г.	Министр Российской Федерации по атомной энергии
Румянцев Александр Юрьевич	март 2001 г. – март 2004 г.	Министр Российской Федерации по атомной энергии
	март 2004 г. – ноябрь 2005 г.	Руководитель Федерального агентства по атомной энергии
Кириенко Сергей Владиле- нович	ноябрь 2005 г. – декабрь 2007 г.	Руководитель Федерального агентства по атомной энергии
	декабрь 2007 г. – октябрь 2016 г.	Генеральный директор Государственной корпорации «Росатом»
Лихачев Алексей Евгеньевич	октябрь 2016 г. – наст. время	Генеральный директор Государственной корпорации «Росатом»

стя месяц после этого, 8 июня 2006 года, глава государства утвердил программу, установившую основные направления долгосрочного развития отрасли. Программа предусматривала меры по трем основным направлениям: атомная энергетика (включая ядерную генерацию, строительство АЭС и энергетическое машиностроение, технологическую цепочку от добычи урана до изготовления топлива), ядерно-оружейный комплекс, а также вывод из эксплуатации различных объектов использования атомной энергии, обращение с радиоактивными

отходами (РАО) и отработавшим в реакторах ядерным топливом (ОЯТ). Документ также затрагивал стратегию развития ядерных технологий, научно-исследовательского комплекса. Программа предполагала, в частности, значительное увеличение удельного веса АЭС в электроэнергетике России: к 2030 году планировалось нарастить долю атомных станций в общероссийской выработке электричества с ~16% до 23–28% (в зависимости от сценария). Также были очерчены необходимые структурные изменения: прежде всего, поставлена задача акционирования предприятий гражданской части атомной энергетики — превращения федеральных государственных унитарных предприятий (ФГУПов, каковыми в то время было большинство предприятий отрасли) в акционерные общества. Эти АО планировалось объединить в большую вертикально-интегрированную структуру, которая должна оставаться в федеральной государственной собственности.

Хотя некоторые положения, сформулированные в июне 2006 года, в последующем корректировались, Программа дала старт поступательному развитию отрасли после полутора десятилетий стагнации. Вскоре после этого было принято несколько документов, разработка которых началась в ведомстве Кириенко параллельно с предложениями по структурным изменениям в отрасли:

- В октябре 2006 года правительство России утвердило Федеральную целевую программу (ФЦП) «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007–2010 годы и на перспективу до 2015 года». Она касалась вопросов строительства и эксплуатации атомных станций и ряда других объектов использования атомной энергии, выпуска оборудования для них, всех стадий

производства топлива, переработки отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов, научно-исследовательской и проектно-конструкторской деятельности по ряду направлений. (подробнее о реализации этой и последующих программ — в разделах о развитии ядерной генерации и топливной базы отрасли)

- В том же 2006 году была утверждена Федеральная целевая программа «Развитие ядерного оружейного комплекса Российской Федерации на 2007–2010 годы и на период до 2015 года» — документ под грифом «Совершенно секретно».
- В июле 2007 года правительство приняло ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Программа предусматривала решение первоочередных проблем, накопившихся в сферах обращения с радиоактивными отходами и отработанным ядерным топливом (хранения, переработки, транспортировки и т. п.), вывода из эксплуатации ядерных объектов и так называемого ядерного наследия — отходов и снятых с эксплуатации объектов, оставшихся от первых десятилетий осуществления ядерно-оружейных проектов СССР (подробнее об этом рассказано в разделе о бэк-энд).

Важно, что эти программы не стали просто «бумажной фантазией», а для их реализации были выделены источники финансирования, адекватные задачам. Например, только на ФЦП развития атомного энергопромышленного комплекса предусматривалось мобилизовать почти 1,5 триллиона рублей, из которых ~46% — из федерального бюджета. В течение полутора предшествующих десятилетий отрасль не получала средства подобного масштаба на цели развития.

И все же дело не только в деньгах. Чтобы реализовать новые программы, требовались организационные и структурные преобразования в отрасли, обеспечивающие эффективность ее функционирования и действенность системы управления. В этом отношении ключевым стал 2007 год, когда удалось принять основополагающие для таких изменений документы:

- Федеральный закон от 5 февраля 2007 года №13-ФЗ «Об особенностях управления и распоряжения имуществом и акциями организаций, осуществляющих деятельность в области использования атомной энергии, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
- Указ Президента РФ «О реструктуризации атомного энергопромышленного комплекса Российской Федерации» №556 от 27 апреля 2007 года.
- Федеральный закон от 1 Декабря 2007 года №317-ФЗ «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

Первый закон регулировал порядок структурных изменений в отрасли. Прежде всего, он предоставил возможность преобразования государственных предприятий гражданской части атомной отрасли в акционерные общества. Такое акционирование не предполагало отказа от преимущественного федерального контроля над основными новообразованными компаниями (см. Справку №2), но в то же время открывало дорогу для привлечения в некоторые проекты негосударственных инвестиций и расширяло возможности для работы российских организаций на зарубежных рынках. При этом Закон сохранял управляемость отрасли, предполагая объединение и централизацию новообразован-

Справка №2

«Атомная» приватизация

- Российское законодательство предписывает безраздельный государственный контроль над значительной частью активов атомной отрасли, прежде всего в отношении предприятий, отнесенных к ядерно-оружейному комплексу. В то же время в официальных документах, регулирующих преобразования в атомной отрасли, широко употребляется слово «приватизация». Следует учитывать, что в российских законодательных и нормативных актах, регулирующих отношения собственности, под приватизацией понимается не только разгосударствление (то есть продажа государственного имущества в частные руки), но и процесс преобразования государственных предприятий в акционерные общества (прежде всего самый распространенный вариант – акционирование ФГУП), нередко с последующей передачей акций новообразованных компаний госкорпорациям или холдингам, находящимся в преимущественной или исключительной государственной собственности. Подобные приватизационные сделки составляют значительную часть российских программ приватизации госимущества.
- В случае предприятий атомной отрасли преобладали именно подобные процессы, а не передача реального контроля над госсобственностью в частные руки. Не случайно в итоге десятилетия такой приватизации государственный контроль над атомными активами фактически усилился: некоторые ранее «отбившиеся от рук» Минатома и Федерального агентства предприятия вернулись в контур управления отраслью – под начало дочерних структур ГК «Росатом».

ных компаний под контролем единого государственного холдинга.

Принятый спустя два с половиной месяца Указ президента стал развитием положений первого закона, развернувшим их и кое в чем дополнившим. Документ конкретизировал условия преобразования атомных госпредприятий в компании и создания государственного атомного холдинга — акционерного общества, названного «Атомный энергопромышленный комплекс» (впоследствии известного как «Атомэнергопром»). При этом указ налагал ряд ограничений на деятельность новообразованных АО, предусматривая для них обязательные поставки некоторых видов продукции, важных с точки зрения государственной и энергетической безопасности; ограничение цен на продукцию оборонного назначения; сохранение

профиля и технологических связей ключевых атомных предприятий и т.д. Это позволяло избежать повторения проблем, возникших в 1990-е годы, когда атомный комплекс растерял некоторые свои элементы.

■ **Андрей Никипелов,**

Генеральный директор ОАО «Атомэнергомаш»

«ФГУПы стали акционерными обществами. Иногда нет понимания, почему это было так важно и насколько ФГУП с точки зрения управленческой логики принятия решений отличается от сегодняшних предприятий. Разница огромна. Начиная с того, что ФГУПам совершенно необязательно биться за прибыль (деньги на инвестиции «страна даст»), они не понимают, что такое чистые активы, зачем надо распоряжаться собственным имуществом в рамках собственных полномочий и так далее. В этом смысле переход на акционирование стал одним из ключевых моментов входа госкорпорации в рыночную экономику».

Второй упомянутый закон (№317 от 1 Декабря 2007 года) означал следующий принципиальный шаг в реструктуризации отрасли. Он предусматривал объединение компаний и предприятий, относящихся к гражданской и военной частям отрасли, под контролем общей структуры — государственной корпорации, названной «Росатом».

Это решение на стадии обсуждения вызвало немало разногласий. Во многих отношениях гражданская часть и ядерно-оружейный комплекс требовали полярно противоположных подходов (например, максимальной прозрачности для акционерных обществ и полной секретности для предприятий ЯОК), но при этом были связаны технологическими, финансовыми и управленческими узлами. Во властных структурах спорили, в частности, о том, как

быть в случаях, когда граница между оборонными и гражданскими ядерными программами проходит не между компаниями и предприятиями, а «внутри» них: то есть они осуществляют и те, и другие проекты, что в атомной отрасли не редкость (к примеру, конструкторские бюро «ОКБМ им. Африкантова» и «НИКИЭТ им. Долежаля» заняты в проектах создания гражданских энергетических и военных судовых, а также космических реакторов; «Машиностроительный завод» в Электростали производит топливо для атомных станций и военно-морского флота; Производственное объединение «Маяк» относится к сфере ЯОК, но участвует в проектах переработки «гражданских» ОЯТ и РАО атомных станций и т.д.).

Выход был найден в создании новой организационно-правовой формы — так называемой государственной корпорации. Она стала уникальной структурой, полностью заменившей прежнее Федеральное агентство, и получившей одновременно возможности хозяйствующего субъекта и полномочия госоргана. Более того, с созданием ГК «Росатом» степень централизации управления отраслью возросла. Ведь раньше Федеральное агентство обладало не всеми полномочиями управления: некоторые из них были распределены среди других ведомств. В частности, правами собственника ряда атомных активов пользовалось «Роскомимущество». Также «размазаны» по ведомствам (далеким от атомного профиля) были полномочия по назначению и смене руководства стратегических предприятий, представления интересов государства в управляющих органах предприятий и акционерных обществ и т.д. То есть, номинально руководя отраслью, Федеральное агентство было лишено важных рычагов влияния на ситуацию. Созданная теперь Госкорпорация собрала все эти рычаги в одних руках.

■ Александр Локшин

Первый заместитель генерального директора ГК «Росатом» по операционному управлению

«Несомненно верным было решение о создании госкорпорации в ее нынешнем виде... Я считаю, что сама ее форма получилась очень удачной... В итоге нам удается совмещать, казалось бы, несовместимое: с одной стороны, «Росатом» вроде бы бизнес-структура, с другой — мы обладаем полномочиями федерального органа исполнительной власти... Такая многоликость дает нам возможность принимать и реализовывать решения, недоступные для других структур, — как министерств, так и бизнеса. Мы сочетаем в себе то и другое, что обеспечивает нам очень сильные позиции за рубежом: переговоры с нами практически эквивалентны переговорам с российским государством; все понимают, что в нашем случае оно выступает гарантом всех обязательств. Но одновременно с нами можно вести бизнес по всем рыночным правилам».

Стоит отметить, что такое название — «госкорпорация» — употреблялось и до этого, но имело иной смысл. Большинство госкорпораций нового типа, подобных «Росатому» и объединяющих значительное число акционерных обществ и ФГУПов, были созданы в том же 2007 году. Формирование таких структур потребовало многочисленных поправок в законодательство и принятия «персональных» законов, регулирующих деятельность каждой из них. В случае «Росатома» такой закон приняли в декабре 2007 года, спустя пару дней указом президента было упразднено Федеральное агентство по атомной энергии и его полномочия переданы ГК «Росатом», а к весне 2008 года Госкорпорация была наполнена кадрами и ресурсами, и полноценно заработала.

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ

«Росатом» стал активно воплощать в реальность упомянутые базовые программы, проекты которых разрабатывались прежним Федеральным агентством (которое, кстати, неформально называли тоже Росатомом, но по правилам русского языка писали без кавычек). Глава агентства Сергей Кириенко отныне стал генеральным директором Госкорпорации, обеспечив, тем самым, полную преемственность стратегии перезагрузки атомной отрасли.

В последующие несколько лет правовая база преобразований была «доукомплектована» еще несколькими важнейшими документами:

- 20 Сентября 2008 года Правительство России постановлением №705 утвердило «Программу деятельности ГК «Росатом» на долгосрочный период (2009–2015 годы)». Документ представлял собой комплексную программу развития атомного сектора, в которой положения упомянутых ФЦП и ряда закрытых документов конкретизировались и дополнялись с учетом существенных изменений, произошедших в отрасли.
- 3 февраля 2010 года Правительство приняло постановлением №50 Федеральную целевую программу «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 года». Ее цель — разработка

технологий ядерных энергетических комплексов промышленного масштаба, включающих реакторы на быстрых нейтронах новых конструкций и замкнутый топливный цикл, обеспечивающий воспроизводство ядерного топлива и резкое сокращение объема радиоактивных отходов (подробнее — в разделе о перспективных технологиях).

- 11 июля 2011 года был принят федеральный закон №190 «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Тем самым был сделан поистине революционный шаг в деле наведения порядка на основательно запущенном «заднем дворе» атомной энергетики — в сфере обращения с радиоактивными отходами. Вместе с принятыми во исполнение закона постановлениями, это позволило в последние годы удвоить эффективность мер, предпринятых в рамках упомянутой ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (подробнее — в разделе о фронт-энде).

Эти документы закладывают основу развития на очень отдаленную перспективу — многие десятилетия вперед. Учитывая, что в прошедшие годы они не остались на бумаге (как ряд предшествующих им документов), а активно воплощались в реальность, можно утверждать, что на границе нынешнего десятилетия атомная отрасль перестала довольствоваться решением текущих задач и сохранением созданного ранее потенциала, и перешла к стратегии перспективного развития.

С образованием «Росатома» продолжились и структурные перемены в отрасли, которые теперь стали «внутрикорпоративным» делом, осуществляемым под ко-

ординацией одного центра управления и по единым планам. Кроме того, Госкорпорация начала внедрять ряд организационных и производственно-экономических нововведений, тоже унифицированных для разных компаний и предприятий отрасли.

■ Юрий Оленин

Президент ОАО «ТВЭЛ»

«Единая отраслевая структура позволяет оптимизировать издержки по всему технологическому комплексу и производственному циклу — от добычи урана до вывода энергоблоков из эксплуатации. Причем формат корпорации дает возможность обеспечивать не только достижение валовых показателей, но и повышать экономическую эффективность, осуществлять бизнес-планирование и достигать измеримых результатов. Благодаря сочетанию государственно-корпоративного устройства с акционерной стоимостью активов и деятельностью большинства компаний в условиях рыночной конъюнктуры, отрасль в последние десятилетия изменилась до неузнаваемости как в научно-концептуальном, технологическом, так и финансово-экономическом отношении. Ну где еще в России найти субъект экономики с таким огромным, в 300 млрд. долларов, портфелем заказов?!»

Структурирование начиналось с выделения самостоятельных направлений деятельности. Ядерно-оружейный комплекс в составе Госкорпорации был обособлен в отдельное направление, а большинство предприятий вне его — акционированы и формально включены в состав АО «Атомэнергопром» или превратились в иные структуры «Росатома». Роль «Атомэнергопрома» свелась по сути к функции номинального держателя акций «гражданских»

компаний, за которым стоит реальный распорядитель этих активов — Госкорпорация «Росатом».

Большинство компаний «гражданского» сектора были сгруппированы в дивизионы или функциональные блоки. Дивизионы формировались преимущественно по принципу специализации на тесно взаимосвязанных видах деятельности, образующих, как правило, смежные стадии каких-либо технологических цепей. Отдельные предприятия и компании, входящие в каждый дивизион, обычно территориально разобщены. Дивизион нередко отвечает не только за производственную деятельность, но и за развитие технологий в своей сфере, иногда включая научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) и выпуск средств производства — основного оборудования.

В каждом дивизионе была создана собственная жесткая вертикаль управления входящими в него компаниями и предприятиями: управляющая структура дивизиона (компания или предприятие) контролирует и координирует их деятельность, вплоть до оперативных вопросов. Таким образом, в Госкорпорации была выстроена, образно говоря, трехэтажная система управления: верхний этаж — стратегическое руководство «Росатома»; второй этаж — дивизионы и функциональные блоки; первый этаж и фундамент — отдельные предприятия (в форме компаний или ФГУП).

■ Александр Локшин

Первый заместитель генерального директора ГК «Росатом» по операционному управлению

«Свой рывок вперед «Росатом» сделал благодаря тому, что все его дивизионы так или иначе реформировались и стали работать по новым правилам. В некоторых из них начинать приходилось буквально «с нуля».

Например, в атомном машиностроении или в строительном комплексе, который за постсоветские годы оказался полностью утрачен».

Формирование дивизионов происходило, как правило, постепенно. При этом в них включались не только уже готовые активы и виды деятельности — некоторые из них возникали в процессе преобразований. В иных случаях «Росатом» брал за основу уже созданные до него предприятия или группы предприятий, внося изменения в их функционал, состав и организационно-правовую форму (чаще всего госпредприятия преобразовывались в акционерные общества).

К дивизионам, сформированным до настоящего времени, фактически относятся следующие:

- Горнорудный дивизион, включающий уранодобывающие активы на территории России и некоторые отраслевые предприятия и институты. Его основой стал Урановый холдинг «АРМЗ» (ОАО «Атомредметзолото»).
- Международный горнорудный дивизион Госкорпорации «Росатом» — Uranium One, владеющий и управляющий урановыми активами Госкорпорации за рубежом через посредство, в конечном итоге, дочерней структуры «Росатома» — канадской компании Uranium One Inc.
- Топливный дивизион, ядром которого стало АО «ТВЭЛ». Включает предприятия, осуществляющие конверсию и изотопное обогащение урана и ряда других веществ, полный цикл производства ядерного топлива, разработку и выпуск оборудования для изотопного обогащения, а также ряд организаций НИОКР.
- Электроэнергетический дивизион, ядром ко-

торого стало АО «Концерн Росэнергоатом». Он эксплуатирует все действующие российские атомные станции, осуществляет их техническое обслуживание, ремонт и модернизацию, является заказчиком строительства новых энергоблоков АЭС на территории нашей страны и крупнейшим субъектом и участником оптового рынка электроэнергии России.

- Инжиниринговый дивизион, включающий компании, осуществляющие проектирование и строительство атомных объектов. Основой этого дивизиона является группа компаний ASE.
- Машиностроительный дивизион во главе с АО «Атомэнергомаш», в который входят предприятия по выпуску оборудования для атомной и тепловой энергетики, нефтяной и газовой промышленности, металлических изделий и заготовок из высококачественных сталей.
- Дивизион заключительной стадии жизненного цикла объектов использования атомной энергии (ЗСЖЦ), управляющей компанией которого стало ОАО «Федеральный центр ядерной и радиационной безопасности» (ФЦ ЯРБ). Включает компании и предприятия, занимающиеся обращением с ОЯТ и РАО (сбор, транспортировка, переработка, хранение), выводом из эксплуатации ядерных и радиационно-опасных объектов, реабилитацией территорий расположения действующих и снятых с эксплуатации объектов.
- Атомный ледокольный флот, управляемый дочерней структурой «Росатома» — ФГУП «Атомфлот». Занимается эксплуатацией и техобслуживанием ледоколов, ряда других судов и береговых баз, предоставляет коммерческие услуги по проводке

судов российских и зарубежных компаний по ледовым маршрутам, а также услуги по транспортировке ряда грузов.

- «Сбыт и трейдинг», основой которого является АО «Техснабэкспорт». Последний исторически является ведущим экспортером урановой продукции, некоторых ядерных материалов и иных видов сырья, а также поставщиком связанных с ними услуг за пределы России. С недавних пор (с 2015–16 годов) в обязанности «Техснабэкспорт» входит продвижение на внешних рынках услуг по обращению с ОЯТ и РАО и выводу из эксплуатации, а также отчасти функции сбыта электроэнергии.
- Научный дивизион, находящийся под управлением АО «Наука и инновации». Состоит из 14-ти организаций, созданных на базе отраслевых научно-исследовательских институтов. Они осуществляют НИОКР в разных областях и участвуют в проектах совместно с другими дивизионами «Росатома».

Наряду с дивизионами, были созданы управленческие конструкции иного рода — так называемые блоки или функциональные вертикали управления в структуре Госкорпорации. В отличие от дивизионов, каждый из которых специализируется на отдельных, взаимосвязанных фрагментах атомного комплекса, блоки курируют универсальные функции, необходимые разным дивизионам и компаниям «Росатома», независимо от их специализации: финансово-экономическое управление, внешнеэкономическая деятельность, внутренний аудит, обеспечение безопасности, инновационные проекты общепромышленного значения и т.п. Основой таких блоков управления в некоторых случаях стали отдель-

ные дивизионы. Например, Научный дивизион превратился в ядро блока управления инновациями, а дивизион «Сбыт и трейдинг» выполняет значительную долю функций блока управления международной деятельностью.

Наряду с административными вертикалями управления, применяется проектный принцип, при котором разные структуры «Росатома» объединяются в части решения некоторых общих задач, составляющих основу проекта или нескольких взаимосвязанных проектов. Примером служит проектное направление «Прорыв», о котором рассказано в разделе о развитии технологий.

Еще одним аспектом реструктуризации отрасли в нынешнем столетии стало избавление от непрофильных активов и в то же время, наоборот, восстановление контроля над важнейшими профильными предприятиями, который был растерян или ослабел после дезинтеграции СССР. Первым примером подобного рода служит компания ТВЭЛ. Она была создана в сентябре 1996 года как государственный холдинг, которому указом Президента России передавались акции восьми предприятий, три из которых сегодня относятся к числу ключевых в топливном дивизионе: «Машиностроительного завода» (МСЗ) в Электростали, «Новосибирского завода химконцентратов» (НЗХК), «Чепецкого механического завода» (ЧМЗ). Однако из этих трех предприятий холдингу, на момент его образования, принадлежал контрольный пакет акций лишь в ЧМЗ. Между тем, «ТВЭЛ» в полной мере не контролировал предприятия, производящие основную конечную продукцию — ядерное топливо (МСЗ и НЗХК). То есть в момент создания топливного холдинга он получил в реальное управление лишь небольшую часть стадий производства топлива, в то время как им не контролировались такие важнейшие переделы как добыча и аффинаж урана, конверсия, обогащение, произ-

водство топливных таблеток, рабочих органов системы управления и защиты реактора и т. д. До начала 2000-х годов степень контроля над такими активами не только не усилилась, но в ряде отношений ослабла. В нынешнем столетии компания «собрала» активы в сфере конверсии, обогащения, разработки, проектирования и производства газовых центрифуг, а также добычи урана (позже переданные АРМЗ). Преимущественный контроль над ними (свыше 75%) постепенно перешел к «ТВЭЛ».

Другим похожим примером является машиностроительный дивизион «Росатома». Контроль над его ключевыми активами был установлен постепенно и в разных юридических формах спустя много лет после образования управляющей компании «Атомэнергомаш», возникшей в 2006 году еще до создания «Росатома». Это относится, в частности, к предприятиям «ЗИО-Подольск», «Петрозаводскмаш», «Энергомашспецсталь», «Атоммаш». В итоге дивизион со временем объединил три десятка машиностроительных компаний в России, Украине, Венгрии, Словакии, Чехии, составляющих по сути самодостаточную технологическую цепочку разработки и изготовления основного и вспомогательного оборудования АЭС.

Похожее собиранье активов «под крыло» «Росатома» происходило и в некоторых других секторах отрасли: строительном комплексе, сфере внешнеэкономической деятельности (о чем будет рассказано в последующих разделах).

В общем, новая структура отрасли обрела нынешние очертания при «Росатоме» относительно недавно: последние важнейшие ее элементы (например, Научный дивизион или Дивизион ЗСЖЦ) стали формироваться лишь в начале текущего десятилетия. Тем не менее, дивизионы успели превратиться в своеобразные «несущие конструкции» системы управления отраслью. Возникно-

вление крупных специализированных холдингов, в которых разные стадии производства развиваются скоординировано, по единой стратегии и под централизованным руководством, помогло осуществлению тех изменений, которых потребовали новые законы и программные документы, стратегия развития отрасли.

И все же, было бы ошибкой утверждать, что внутреннее структурирование «Росатома» завершилось, достигнув совершенства. Создание сильных и самодостаточных вертикально-интегрированных дивизионов помогло собрать отрасль воедино, но принесло и ряд побочных эффектов. Среди них — внутренняя конкуренция, не всегда идущая на пользу общему делу; или другая сторона той же медали — забота дивизионов о собственной прибыли: вообще это естественно для любой бизнес-структуры, но иногда идет в ущерб оптимальным финансовым результатам всей Госкорпорации.

Поэтому со временем для «Росатома» становится все более актуальным не дальнейшее усиление дивизионов (что было безусловно необходимо на этапе собирания активов и повышения их управляемости), а оптимизация взаимодействия между ними, устранение искусственных «внутренних» границ» для прохождения проектов. И при этом, конечно, необходимо дальнейшее согласование, гармонизация программ развития компаний и дивизионов, которые должны быть в полной мере подчинены общей стратегии Госкорпорации.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Между тем, чтобы окончательно вытянуть отрасль из кризиса, мало было лишь укрепить «властную вертикаль». Возникла необходимость перевести максимально возможную долю атомного комплекса на коммерческие рельсы. А это требовало повышения экономической эффективности многих видов деятельности, в которых ранее было не слишком принято подсчитывать соотношение доходов и расходов. Другой, прежде нерешенной, задачей стал поиск или создание новых рыночных ниш.

Первая проблема, с которой пришлось столкнуться на этом пути, — менталитет управленческих кадров. На закате советской эпохи атомными предприятиями и всей отраслью руководили, бесспорно, высокопрофессиональные люди. Однако практически все они были «технарями», привыкшими работать в иной системе приоритетов и ценностей. Было бы упрощением утверждать, что в Минсредмаше совсем не считались с затратами, однако конструктивная оптимизация и достижение конечной технической цели обычно шли впереди экономических показателей проекта и отдельно взятого «изделия». К тому же, трудно отрицать, что большая часть советской отрасли никогда не работала в конкурентной среде и не соприкасалась с настоящими зарубежными рынками (за единичными исключениями, такими как экспорт услуг обогащения

с 1960-х годов). Почти все атомные станции советских проектов, строившиеся за рубежом до конца прошлого столетия, сооружались там фактически на безальтернативной основе (кроме, быть может, АЭС «Ловииса» в Финляндии).

Вот почему эффективный перевод отрасли на рыночные рельсы неизбежно требовал разбавления в руководстве атомных «генералов», вышедших из Минсредмаша, управленческими кадрами рыночной формации. При условии, конечно, создания системы сдержек, предотвращающей полную «коммерциализацию» атомного комплекса.

О необходимости некоего рыночного поворота и реструктуризации в отрасли задумывались и предшественники Кириенко еще в первое постсоветское десятилетие. В качестве примеров стоит вспомнить предложение о создании атомного холдинга наподобие «Газпрома» на базе гражданских атомных активов, впервые высказанное последним Министром атомной энергетики и промышленности СССР Виктором Конаваловым; или попытки реализовать похожий проект и привести в отрасль рыночных управленцев, которые предпринимал на границе нынешнего столетия бывший Министр РФ по атомной энергии Евгений Адамов.

Однако в полной мере эти идеи были реализованы именно при Кириенко. Неудивительно, что в созданной при нем Госкорпорации возникли и самые острые разногласия вокруг этого вопроса. Разбавление технарей профессиональными менеджерами вызывало критику в среде первых и в ряде случаев действительно не обошлось без «перегибов на местах». Противоречия усиливались различиями поколений (технари, как правило, были заметно старше менеджеров).

■ Александр Локшин

Первый заместитель генерального директора ГК «Росатом» по операционному управлению

«Ни для кого не секрет, что притирка людей из новой команды Кириенко и так называемых «ветеранов отрасли» шла трудно, порой очень болезненно. Люди прошли школу Средмаша, а теперь им надо было подчиняться тем, кто ничего не понимает в строении атома? ... У многих «старых кадров» настроение тогда было крайне подавленным. Казалось, что все пропало и сейчас отрасль развалит окончательно».

У обеих сторон была своя правда, однако все рассудил результат: прогнозы скорого отраслевого Апокалипсиса, частенько звучавшие в первое время после прихода Кириенко в Федеральное агентство, за одиннадцать лет его управления сбылись с точностью до наоборот. Новому руководству удалось получить достаточно удачный сплав «экономики» и «техники» и, будучи соединен с государственными финансовыми вливаниями, он принес видимые успехи и в продвижении на зарубежных рынках, и в оживлении атомного хозяйства в России, и в технологическом развитии (подробнее об этих аспектах — в тематических разделах). Учитывая все это, можно утверждать, что обновление управленческого звена отрасли, которое было проведено при основателе «Росатома», по большому счету оказалось результативным.

Среди первых организационных проблем, с которыми столкнулась Госкорпорация, было преодоление разнобоя, возникшего между атомными предприятиями, компаниями и даже их подразделениями из-за децентрализации управления в отрасли. «Росатом» первым делом начал унификацию и внедрение общих стандартов в различные процессы. В частности, потребовалась навести порядок в си-

стеме закупок. Наряду с участвовавшими в «лихие годы» откровенными злоупотреблениями (для борьбы с которыми в Госкорпорации были выстроены централизованные системы экономической безопасности, внутреннего контроля и аудита), трудность заключалась в недостатке унификации закупочной деятельности: даже цены одной и той же продукции на разных предприятиях отрасли отличались кратно. Вскоре после формирования «Росатома» был введен новый единый отраслевой стандарт закупок, который в дальнейшем пришлось долго «настраивать», адаптируя к реалиям и учитывая появление все новых схем обхода. Хотя система закупок остается одной из наиболее конфликтных, и до сих пор вызывает много недовольства прямо противоположных сторон (о чем мы еще вспомним ниже в контексте конкретных примеров), все же с начала 2000-х годов порядка в ней стало заметно больше.

К другим «наследственным» проблемам, которые пришлось решать в процессе адаптации отрасли к новой рыночной действительности, стали раздутая штатная численность многих звеньев атомного хозяйства (особенно непроизводственных); существенная доля занятых в непрофильных видах деятельности; хаотичная система оплаты труда и т. д. Среди мер, принятых после образования «Росатома», следует вспомнить унификацию системы оплаты в разных компаниях и подразделениях — установление стандартных уровней вознаграждения, привязанных к набору ясных критериев: уровню квалификации, должности, региональным особенностям и т.п.

■ **Сергей Новиков**
Экс-руководитель департамента коммуникаций
ГК «Росатом»

«Оплата труда в самой госкорпорации и в дивизионах по своему уровню была необъяснимо разной. Твори-

лось что-то странное: в управляющей компании сотрудники могли иметь более высокий заработок, чем в самой Госкорпорации, которой формально подчинялись. С заводскими зарплатами такие ставки и вовсе не шли ни в какое сравнение. Почему-то на топливном заводе люди получали больше, чем в научном институте, на «АЭС Икс» в ведомостях фигурировали совершенно другие суммы, чем на «АЭС Игрек». Ставки и оклады пришлось систематизировать. Кто-то при этом проиграл, а кто-то выиграл».

Для снижения издержек, не относящихся к основной деятельности, «Росатом» стал постепенно продавать непрофильное имущество, включая целые подразделения и предприятия. Этот процесс продолжается до сих пор: дивизионы ежегодно продают непрофильных активов на миллиарды рублей. В ряде случаев, когда продажа «непрофильей» в неизменном виде оказывалась невозможной, приходилось идти на сокращение персонала.

■ **Андрей Никипелов**

Генеральный директор ОАО «Атомэнергомаш»

«По традиции, у каждого комбината была масса так называемых непрофильных активов. Если город строился для завода — логично, что завод его полностью обеспечивал. И если взять, например, ГХК двадцатилетней давности, то это была просто катастрофа: 20 тысяч сотрудников на предприятии, при этом на балансе 20 детсадов, пожарные части, дворцы культуры, животноводческие комплексы в статусе «цехов». В Электростали Машзаводу принадлежали 2700 га земли, а по бухгалтерской отчетности среди основных средств числился ...конт. Побочные бизнесы и социальные обременения становились чем дальше, тем

в большей степени оковами и балластом для современного производства. Но избавляться от них было не только организационно, но и психологически трудно: за каждой коровой или дворцом культуры стояли местные администрации, региональные министры, сотни и тысячи людей... А люди сопротивлялись подобным сокращениям и оптимизациям еще и потому, что многим это наносило удар по самолюбию. Человек, работавший на ферме при комбинате, или уборщица, или дворник искренне считали себя «атомщиками» и при каждом удобном случае это высказывали («Я, как ветеран атомной отрасли...»). Их можно было понять, но все-таки пора было разделять тех, кто реально занят в промышленности и производстве, и персонал сервисных служб; поддерживать самое важное и сокращать излишне раздутые вспомогательные штаты. Тяжело это давалось».

Проблема высвобождения сотрудников особенно остро стояла в закрытых административно-территориальных образованиях (ЗАТО; их в атомной отрасли десять, см. **Таблицу №3**) и других городах, где роль атомных предприятий была исключительной. В таких местах, в случае сокращения производства и увольнений, работникам отрасли подчас просто некуда деваться. Для решения этой проблемы применялись специальные государственные и международные программы обеспечения занятости, в особенности касающиеся устройства квалифицированных кадров в гражданских проектах.

Однако более перспективным средством создания рабочих мест в атомградах должны стать проекты формирования кластеров высоких технологий и территорий опережающего развития, которые стали осуществляться при участии «Росатома».

Таблица №3

Закрытые административно-территориальные образования атомной отрасли.

ЗАТО	Основные предприятия атомной отрасли	Площадь,* км ²	Численность населения,* тыс. чел.
Северск (Томской обл.)	ОАО «Сибирский химический комбинат» (СХК)	485,6	116
Саров (Нижегородской обл.)	РФЯЦ ВНИИЭФ	235,3	93
Железногорск (Красноярского кр.)	ФГУП «Горно-химический комбинат» (ГХК)	456,7	93
Новоуральск (Свердловской обл.)	ОАО «Уральский электрохимический комбинат» (УЭХК)	422,0	92
Озерск (Челябинской обл.)	ФГУП «ПО «Маяк»	80,6	92
Зеленогорск (Красноярского кр.)	АО «ПО «Электрохимический завод»	162,0	65
Заречный (Пензенской обл.)	ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В.Проценко», ФГУП СНПО «Элерон»	27,6	64
Лесной (Свердловской обл.)	ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор»	359,4	52
Снежинск (Свердловская, Челябинская обл.)	РФЯЦ-ВНИИТФ	374	49
Трехгорный (Челябинской обл.)	ФГУП «Приборостроительный завод»	162,5	34

* Источник: Объединенный портал закрытых административно-территориальных образований РФ <http://zato.tv/>

Идея формирования кластеров предполагает развитие на каждой из нескольких предложенных Госкорпорацией территорий определенных высоких технологий, для внедрения которых при данном научно-производственном комплексе имеются наиболее подходящие условия. Речь идет о специализации на взаимосвязанном наборе как ядерных, так и некоторых других технологий. «Росатом» предложил сформировать четыре таких кластера, которые в 2012 году были включены в общероссийский правительственный план создания инновационных кластеров, формируемых при поддержке государства:

- Кластер высоких технологий в Сарове (сферы специализации — суперкомпьютерные, лазерные, фотонные и прочие технологии)
- Кластер ядерной медицины, энергетических и исследовательских реакторных технологий в Димитровграде.
- Кластер медицины, фармацевтики и радиационных технологий в Ленинградской области.
- Кластер высоких технологий в Железногорске (сферы специализации — технологии заключительной стадии жизненного цикла; космическая техника).

Эти кластеры ориентированы на российский и глобальный рынок (включая создаваемые при закрытых городах), то есть являются коммерческими проектами, а не только стратегическими инициативами для развития определенных технологий в России и создания рабочих мест в регионах присутствия «Росатома».

Другим способом развития ЗАТО, который Госкорпорация реализует совместно с местными и региональными властями, является формирование в них территорий опережающего социально-экономического развития (ТОР). Таким территориям государство готово предоставить особые льготы, стимулирующие предпринимательскую деятельность и способствующие привлечению инвестиций. В частности, компаниям-резидентам ТОР может быть обеспечен режим свободной таможенной зоны и льготное налогообложение на десять лет. Это стало возможным благодаря поправкам в федеральное законодательство, принятым в 2014 году и допускающим формирование подобных зон на территории ЗАТО. В 2015 году все атомные ЗАТО разработали предложения по ТОР на своих территориях, затем ряд ЗАТО подали соответствующие заявки в правительство России.

В 2017 году процесс формирования ТОР может войти в практическую фазу, если правительство согласует и примет уже подготовленные проекты постановлений по ТОР в некоторых ЗАТО.

Другой важной проблемой, за решение которой активно взялась Госкорпорация после своего возникновения, стала производительность труда. Сергей Кириенко поставил задачу ее увеличения в 4 раза к 2020 году. В 1990-е годы производительность труда заметно снизилась, несмотря на то, что новые конкурентные условия требовали обратного. Яркая иллюстрация — так называемый штатный коэффициент для атомных станций, отражающий число занятых на единицу электрической мощности энергоблоков (чем он меньше — тем лучше). К концу 1990-х средний по отрасли показатель увеличился до 1,6 человека/МВт, тогда как в СССР он составлял 1,0–1,2 чел/МВт, а в современных развитых странах — нередко находится в диапазоне 0,3–0,6 чел/МВт.

Одним из ключевых средств повышения эффективности и оптимизации производственных и бизнес-процессов стала научная организация труда, которая начала целенаправленно внедряться в форме Производственной системы «Росатома» (ПСР) в разные сферы деятельности Госкорпорации. Эта система основана на наиболее передовом советском и зарубежном опыте: «Научной организации труда, производства и управления» (НОТ-ПиУ), применявшейся избирательно на предприятиях Минсредмаша, а также на учете (не обязательно полном заимствовании) схожих систем, использовавшихся японскими Toyota и Toshiba, российскими ГАЗ и КАМАЗ, американской Boeing и другими успешными компаниями.

Суть этой системы состоит в выявлении и устранении так называемых потерь (времени, ресурсов, денег и т. д.) в производственных и бизнес-процессах. На прак-

тике внедрение ПСР заключается в оптимизации работы и взаимодействия технологических звеньев и логистики (транспортировка, складирование и пр.), сокращении сроков, производственных площадей, излишних запасов, непродуктивных производственных и торговых операций, управленческого аппарата и т. п. Другой стороной ПСР является максимально возможная унификация, стандартизация подходов к организации разных, а особенно сходных видов деятельности. Все это вместе в идеале позволяет сократить затраты, повысить качество планирования и, в конечном итоге, добиться существенного повышения производительности труда и рентабельности. В то же время оптимизация должна внедряться таким образом, чтобы ее жертвой не стало качество: один из декларируемых принципов ПСР — повышенное внимание к вопросам качества и нуждам потребителей конечной и промежуточной продукции.

■ Сергей Обозов

Директор по развитию ПСР ГК «Росатом»

«Что такое производство? Производство — это война в мирное время. Цех, где все летает, крутятся станки, бегают люди, шуршат краны, где грохот и запах масла — полный аналог ведения боя. С той же системой неопределенности: кто победит, когда, какими усилиями? А противник у нас — это потери, те самые семь классических видов потерь: перепроизводство, лишние движения, ненужная транспортировка, излишние запасы, избыточная обработка, ожидание и переделка/брак. Им мы объявили войну и с ними боремся. Что, кстати, очень непросто. Противники достойные, поскольку «окопались» они в головах у людей. В этом смысле, когда ты бьешься за устранение потерь, ты на самом деле воюешь за изменение сознания, и это самое тяжелое».

В ПСР также заложена идея развития внутреннего соревнования и стимулирования наиболее передовых предприятий и подразделений «Росатома». В частности, установлена их градация по степени успешности и охвату производственной системы: различают «Лидеров ПСР», «Кандидатов» и «Резерв ПСР». В 2016 году в «Лидеры» вышли дочерние структуры Топливного дивизиона («Машиностроительный завод» в Электростали, «Ковровский механический завод», «Уральский электрохимический комбинат»), Электроэнергетического дивизиона (Балаковская АЭС, Смоленская АЭС), Машиностроительного дивизиона («ОКБМ Африкантова») и Ядерно-оружейного комплекса (ПО «Старт»).

Использование ПСР в отдельных проектах и предприятиях началось с 2008 года. Среди первых успехов этой системы — ее использование при сооружении 4-го энергоблока Калининской АЭС, которое позволило преодолеть хроническое отставание в строительстве станции и вовремя провести физпуск, а затем подключение к сети (в ноябре 2011 г.). Внедрение ПСР в масштабах Госкорпорации стало приобретать системный характер с 2011 года и к настоящему времени эта система охватывает значительную часть отрасли.

■ Юрий Оленин

Президент ОАО «ТВЭЛ»

«Госкорпорация — это особая структура, имеющая широкие возможности и полномочия. Ее работа немаловажна без создания особой корпоративной культуры. Для «Росатома» это понятие подразумевает прежде всего те традиции, которые заложены основателями атомного проекта, впоследствии развитые знаменитым Минсредмашем, чтимые и сегодня. В современности они определены как Ценности Росатома: «На шаг впереди», «От-

ветственность» за результат, «Эффективность», «Единая команда», «Уважение» и «Безопасность». Ценности не появились недавно, они были всегда и передавались из поколения в поколения атомщиков, они у нас в крови, это наш генетический код. Наверное, во многом именно эти базовые ценности и отличают «Росатом» от других корпораций. Так, если бы мы не основывались в своей каждодневной работе на ценности «Ответственность», нам никогда не удалось бы прийти к тем достижениям, которые есть сейчас у атомной отрасли».

Одной из перспективных задач, которые пришлось решать «Росатому», стало преодоление кризисных тенденций в кадровой сфере. В отличие от других проблем отрасли, пик которых пришелся примерно на 1990-е годы, с дефицитом квалифицированных кадров было несколько иначе: он не успел стать значимой головной болью для тогдашних руководителей отрасли. В то десятилетие в целом хватало хорошо подготовленных советских специалистов среднего возраста — того самого кадрового пласта, от мощности которого во многом зависят стабильные перспективы развития высокотехнологичной отрасли. Отток кадров в 1990-е годы усилился, но по сравнению с другими секторами обрабатывающей промышленности был относительно невелик. Резкое же снижение в тот период интереса молодежи, поступающей в ВУЗы, к техническим дисциплинам, не привело к моментальным кадровым проблемам в атомной отрасли. Это «аукнулось» спустя одно-два десятилетия, когда средний возраст ключевых специалистов и носителей уникальных знаний заметно повысился, а их воспроизводства в прежнем объеме не происходило. В нынешнем столетии процесс постепенной потери зрелых специалистов привел к проблемам в обеспечении отраслевых предприятий и проектов высококвалифицированными кадрами.

Ко времени образования «Росатома» эта проблема, в отличие от некоторых других, только усилилась.

■ **Александр Локшин**
Первый заместитель генерального директора
ГК «Росатом» по операционному управлению

«Атомные станции сооружались в основном в период с 1975 по 1990-е годы, персонал туда набирался молодой, и за доперестроечное время опыт эти люди приобрели, а состариться еще не успели. Массовых уходов, что называется, «в челноки» здесь тоже не произошло, поскольку работа на АЭС все-таки давала некие гарантии стабильности. Другое дело, что именно тогда мы получили скрытую проблему, плоды которой пожинаем сейчас, — в начале и середине 2000-х молодые ребята, которые могли бы после школьной скамьи пойти в атомную отрасль, выбрали себе другой путь, стали юристами, финансистами, экономистами и т.д.»

В ответ на это Госкорпорация активизировала участие в подготовке кадров, начиная со студенческой скамьи, в обеспечении их практикой, а также в трудоустройстве лучших специалистов и последующем повышении их квалификации. «Росатом» стал одним из родоначальников системы ресурсной поддержки профильного ВУЗовского образования со стороны крупнейших российских корпораций, активного формирования интереса молодежи к техническим дисциплинам. Такая политика «шефства» в нынешнем десятилетии стала приносить плоды, чему способствовал и некоторый рост интереса поступающих в ВУЗы к техническим специальностям, точным и естественным наукам. Так что в отношении перспектив восполнения квалифицированных технических кадров появился, наконец, «свет в конце тоннеля».

АЭС: ГЕНЕРАЦИЯ УСПЕХА

Атомные электростанции играют исключительно важную роль в обеспечении энергетической безопасности России, сдерживании цен на базовую электроэнергию¹ и поддержании конкурентоспособности экономики. Десять российских АЭС с 35-ю действующими энергоблоками совокупной мощностью ~26,9 ГВт вырабатывают около 200 млрд. кВт-ч электроэнергии² или 18–19% ее производства в стране. Однако роль атомных станций еще больше, чем следует из этих формальных цифр, что объясняется несколькими причинами.

Прежде всего, для многих регионов Европейской России АЭС гораздо важнее, чем для страны в целом (причины см. в [Справке №3](#)). И именно в таких регионах сосредоточена значительная доля населения и индустриального потенциала России.

Более того, значение атомной генерации не ограничивается только ее ролью для рынка электроэнергии; оно не сводится и к немалой выручке, которую «Росатом» получает от продажи электричества (свыше 250 млрд.

¹ Базовая выработка электроэнергии примерно соответствует минимальным, стабильным потребностям в электричестве, которые не меняются при колебаниях его потребления в данной энергосистеме. АЭС, наряду с некоторыми другими станциями, специализируются главным образом (но не только) на покрытии этих базовых потребностей.

² По фактическому объему выработки электроэнергии Россия в последние годы уступает только США и Франции, по суммарной мощности атомных станций – еще и Японии, которая, однако, после аварии в Фукусиме мало использует свои АЭС. В то же время Китай к середине нынешнего десятилетия практически сравнялся с Россией по масштабам ядерной генерации, и учитывая высочайшие темпы роста его атомного сектора, к началу следующего десятилетия войдет в тройку мировых лидеров.

рублей в год). Успешное функционирование АЭС в России является важным показателем для потенциальных покупателей российских ядерных технологий, свидетельствует о надежности и эффективности этих технологий, служит важным условием их продвижения за рубежом. Некоторые страны вообще отказываются внедрять у себя энергоблоки, существующие только «на бумаге» (в проекте) и не проработавшие успешно в течение ряда лет — как правило, на родине этой технологии. Для «Росатома», зарабатывающего половину выручки за границей и имеющего крупнейший в мире портфель зарубежных заказов, эти соображения весьма важны.

Справка №3

Причины особой роли АЭС во многих регионах России

- Атомные станции вырабатывают свыше 40% электроэнергии в объединенной энергосистеме Центра (ОЭС Центра – включая Москву и Московскую область, Смоленскую, Тверскую, Костромскую, Ярославскую, Ивановскую, Тамбовскую, Воронежскую, Курскую и ряд других областей); более 35% – в ОЭС Северо-Запада (включая, в частности, Санкт-Петербург и Ленинградскую область, Новгородскую, Псковскую, Мурманскую, Архангельскую области, Карелию); свыше 30% – в ОЭС Средней Волги (в том числе Татарстан, Нижегородская, Ульяновская, Самарская, Саратовская области). Учитывая характерные для России огромные расстояния и недостаточную пропускную способность некоторых межсистемных сетевых соединений, возможности переброски энергии из других регионов подчас ограничены.
- Атомная энергетика имеет большое значение для сдерживания оптовых цен на электричество в Европейской России. Рынок устроен так, что цены базовой электроэнергии подтягиваются к показателям дорогих энергоисточников, которыми являются наименее эффективные, устаревшие тепловые энергоблоки (так называемые паросиловые), составляющие большинство в этой части страны. Рост цен сдерживается дешевыми источниками энергии. В этих областях России именно АЭС обеспечивают в наибольшем объеме дешевую (по текущей себестоимости) базовую генерацию, остальные энергоисточники либо дороже (тепловые станции), либо, в силу технических причин, играют менее существенную роль в производстве базового электричества в большинстве названных районов (гидроэлектростанции).
- Развитие атомной энергетики позволяет очень сильно экономить природный газ, который служит главным топливом электроэнергетики России: в топках тепловых электростанций сжигается наибольшее (по сравнению с другими статьями внутреннего потребления) количество этого ценного сырья химической промышленности и важного экспортного продукта.

■ Александр Локшин

Первый заместитель генерального директора ГК «Росатом» по операционному управлению

«Запущенная в 2006 году программа сооружения новых атомных блоков в Российской Федерации имела для нас особую ценность еще и потому, то мы получили референтность для наших новых проектов, и это дает нам теперь возможность заключать многочисленные контракты за рубежом».

Ядерная генерация стала одной из сфер российской атомной отрасли, где ее оживление проявилось раньше и достигло значимых результатов быстрее, чем во многих других секторах. После застоя в 1990-е годы, этот сектор отрасли снова воспрял в нынешнем столетии. Причем его развитие происходило одновременно в нескольких важнейших направлениях:

- активное участие в рынке электроэнергии, в его постепенном становлении;
- создание новых ядерных генерирующих мощностей — строительство или достройка атомных станций;
- развитие действующего ядерного парка.

ВМЕСТЕ С РЫНКОМ

Один из первых атомных холдингов, объединивших предприятия смежного профиля, был создан в секторе ядерной генерации: в 1992 году возник государственный концерн «Росэнергоатом». В 2001 году его преобразовали в федеральное государственное унитарное предприятие Концерн «Росэнергоатом». В 2008 году было осуществлено акционирование ФГУП, в результате которого возникло Открытое акционерное общество «Концерн Росэнергоатом». В отличие от других крупнейших атомных компаний, созданных в первые полтора десятилетия после распада советской отрасли, он полностью контролировал свои основные активы (атомные станции могли находиться только в 100% государственной собственности).

«Росэнергоатом» стал (и до сих пор остается) второй в мире, после французской EDF, энергетической компанией по масштабу ядерной генерации. После разделения на части российского энергетического холдинга РАО «ЕЭС России», некогда контролировавшего львиную долю тепловой и гидроэнергетики, «Росэнергоатом» занял еще и лидирующие позиции на российском рынке по объему производства электроэнергии в сравнении с другими поставщиками.

«Росэнергоатом» развивался вместе с рынком электроэнергии и сам влиял на становление этого рынка. За эти годы рынок прошел несколько основных стадий развития.

Ранняя модель оптовой торговли электричеством и мощностью³ появилась в середине 1990-х годов. Это был так называемый Федеральный (общероссийский) оптовый рынок электроэнергии (мощности), или ФОРЭМ, лишь отдаленно похожий на настоящий рынок: он полностью регулировался государством, свободное ценообразование начисто отсутствовало. К тому же на нем доминировал, и по факту пользовался особыми правами, один игрок — Российское акционерное общество (РАО) «ЕЭС России», которое контролировало большую часть тепловой и гидроэнергетики. На ФОРЭМ было всего несколько независимых от РАО поставщиков, крупнейшим из которых являлся как раз «Росэнергоатом».

Помимо значительной части генерации, РАО «ЕЭС России», контролировало еще и почти всю сетевую инфраструктуру, выполняло функции системного оператора («дирижера» Единой энергосистемы России), а также сбыта электричества конечным потребителям (то есть большинство розничных рынков). Этот холдинг активно использовал свое монопольное положение, а «Росэнергоатом», как и несколько других поставщиков поменьше, оказались в ущемленном положении. Например, атомный концерн был вынужден продавать основную долю своей энергии фактически посредникам — региональным энергокомпаниям, большинство из которых были дочерними организациями того же РАО «ЕЭС России». Многие из них покупали электроэнергию на оптовом рынке у «Росэнергоатома» и затем перепродавали ее. При этом проблема заключалась не только в наценке, но и в том,

³ В России, как и в ряде других стран или региональных рынков, электричество и мощность рассматриваются как отдельные товары, торговля которыми имеет разную специфику. Покупка мощности потребителем дает гарантии получения в заданный период определенного объема электроэнергии в единицу времени. То есть потребитель резервирует определенную долю «производственной мощности» генератора. В некоторых странах или региональных рынках цена мощности включена в состав цены на электроэнергию. Далее в тексте под рынком электроэнергии понимается и торговля мощностью, если иное не оговорено.

что большая часть, как тогда говорили, «живых денег» доставалась именно РАО «ЕЭС России» (выше отмечалось, что в то время были распространены неплатежи и неденежные формы расчетов, невыгодные добросовестным продавцам).

Неудивительно, что «Росэнергоатом» был в числе тех, кто поддержал идею реформирования энергорынка. Справедливости ради надо сказать, что во главе этого процесса стояло РАО «ЕЭС России»: монопольные привилегии достались этому холдингу «по наследству» от прежней централизованной электроэнергетики, но по мере развития рынка РАО постепенно утрачивало свое исключительное положение. Помимо прочего, этот холдинг возглавил борьбу с неплатежами, добившись, в конце концов, улучшений в этой области, которые были благоприятны и для «Росэнергоатома»

В такой обстановке в начале нынешнего столетия начались реальные шаги по либерализации рынка и реструктуризации электроэнергетики. В 2003 году на смену ФОРЭМ пришла рыночная модель, которая включала так называемый конкурентный сектор торговли, предполагающий покупку и продажу электроэнергии по нерегулируемым ценам. Объем этого сектора составлял 5–15% всего рынка (поэтому такую модель окрестили «рынок 5–15»). Тем не менее, значительная часть электроэнергии и практически вся мощность продолжали продаваться по тарифам.

Важные перемены наступили во второй половине 2000-х годов, когда РАО «ЕЭС России» было разделено на части, а на основе его электростанций (сгруппированных по некоторым критериям) возникли самостоятельные энергетические компании, часть которых перешла в частные руки. В результате этого возникли новые, независимые друг от друга участники рынка, причем не кон-

тролировавшие магистральные (наиболее мощные) сети и функции системного оператора, что снижало возможности монопольных злоупотреблений. Иными словами, возникли предпосылки для создания «более реального» рынка электроэнергии, на котором участники смогут конкурировать друг с другом.

В 2006 году была установлена «Новая модель оптового рынка электроэнергии (мощности)» (НОРЭМ). Не углубляясь в детали его «конструкции», можно отметить, что на этом рынке заметная часть электроэнергии и поначалу небольшая часть мощности стали продаваться по нерегулируемым ценам. Постепенно доля свободной, конкурентной продажи этих товаров в рамках НОРЭМ расширялась, пока к началу нынешнего десятилетия не достигла 100% в отношении электроэнергии. Впрочем, различные пункты в правилах этого рынка все же давали возможность ставить свободное ценообразование в некие рамки. К тому же «зарегулированным» оставался розничный рынок, где электроэнергия продавалась основной массе небольших конечных потребителей. В то же время крупные потребители получили возможность выхода на оптовый рынок.

Либерализация рынка благоприятно отразилась на бизнесе «Росэнергоатома» (который вскоре после создания НОРЭМ вошел в состав новообразованной Госкорпорации). Так, атомная энергокомпания получила выход на значительное число оптовых потребителей и к тому же, обзаведясь собственными сбытовыми активами, она стала участвовать в некоторых региональных розничных рынках. После очередных этапов либерализации рынка, подавляющая часть электричества и значительная часть мощности АЭС стали продаваться по формально нерегулируемым ценам. В довершение всего, учитывая специфику ядерной генерации, «Росэнер-

гоатом» получил некоторые дополнительные преимущества и гарантии по сравнению с «рядовыми» участниками рынка. Эти преимущества призваны лишь компенсировать более значительные, чем, например, у тепловых генераторов, расходы на безопасность, строительство атомных станций и их амортизацию, обращение с отработавшим топливом и радиоактивными отходами, вывод из эксплуатации и т.п. Похожими привилегиями пользуются и некоторые другие субъекты рынка, например, компании, осуществляющие гидрогенерацию.

В нынешнем столетии Госкорпорация в лице своего генерирующего дивизиона существенно укрепила позиции в секторе продажи электроэнергии, увеличив свою долю на оптовом рынке на 3–4% и в разы нарастив присутствие на розничном рынке. Учитывая рост реальных (с поправкой на инфляционные процессы) цен на основные товары этого рынка, а также увеличение с конца 1990-х годов выработки атомных станций примерно на 90%, «Росатом» за названный период кратно нарастил выручку от торговли электроэнергией и мощностью. Правда, это объясняется не только рыночными успехами, но и строительством новых ядерных энергоблоков, модернизацией действующих мощностей и повышением эффективности эксплуатации. Как раз об этом речь пойдет дальше.

СТРОИТЕЛЬСТВО АЭС

Все планы долгосрочного развития энергетики России, которые принимались начиная с 1990-х годов, предполагали опережающее развитие атомной генерации, то есть увеличение ее роли в электроэнергетике. Такая стратегия подкреплялась несколькими соображениями:

- прогнозами роста экономики и, соответственно, потребления электричества⁴;
- износом существенной части оборудования электростанций и сетей, предсказаниями об их ускоренной деградации и, соответственно, массовом выводе из эксплуатации;
- предполагаемым истощением разрабатываемых газовых месторождений, сокращением добычи газа и ростом цен (а газ, как отмечалось, — важнейшее топливо российской электроэнергетики);
- надеждой на сдерживание цен на электроэнергию за счет увеличения доли дешевого электричества АЭС в энергобалансе;
- расчетами на экономию при достройке уже отчасти возведенных ядерных энергоблоков или использования подготовленных площадок.

Со стартом активной реформы электроэнергетики в начале 2000-х годов на передний план выдвинулись

⁴ Принятая в 2003 году Энергетическая стратегия России до 2020 года предполагала рост экономики (валового внутреннего продукта) к 2020 году по сравнению с уровнем 2000 года в 2,3–3,3 раза, в зависимости от сценария. С учетом повышения спроса и энергоэффективности, планировалось увеличить производство электроэнергии в этот период на 38–55%.

опасения скорого дефицита генерирующих мощностей. Такие прогнозы, выглядевшие вполне правдоподобно на фоне приличного экономического роста в тот период и плачевного состояния многих объектов электроэнергетики, активно поддерживались РАО «ЕЭС России» в качестве обоснования необходимости ускоренной реформы в электроэнергетике. Сторонники подобных мрачных сценариев представляли графики, на которых кривая стремительно растущего потребления электроэнергии пересекалась с драматично снижающейся кривой мощностей электроэнергетики. Это пересечение графиков получило название «крест Чубайса» — по имени тогдашнего руководителя РАО «ЕЭС России» Анатолия Чубайса, бывшего главным идеологом преобразований в электроэнергетике.

Однако экономические кризисы, начавшиеся в 2008 году, а затем в 2014 году (которые вряд ли кто-то мог достоверно предсказать за много лет до этого) внесли значительные коррективы в динамику спроса на электроэнергию. По мере того, как становилось ясно, что прежние прогнозы оказались преувеличенными, долгосрочные планы развития атомной энергетики корректировались. Например, планы, которые принимались правительством в начале столетия, предусматривали, что к 2020 году мощность российских атомных станций превысит 40 ГВт. В конце 2000-х годов планировали к тому же сроку преодолеть рубеж в 35 ГВт, а стратегические документы последних лет уже не предполагают превышения уровня в 30 ГВт. Не так быстро, как ожидалось раньше, растет и роль АЭС в энергосистеме (зависящая не только от прироста ядерных мощностей, но и от динамики тепловой и гидроэнергетики): в начале 2000-х гг. правительство планировало увеличить к 2020 году удельный вес атомных станций в вы-

работке электричества до 23%, позже в некоторых документах фигурировали цифры в 25%; согласно сегодняшним прогнозам доля АЭС не превысит 21% даже к 2035 году.

■ Кирилл Комаров

Первый заместитель генерального директора ГК «Росатом»

«Изначально мы рассчитывали, что будем строить в год по три-четыре блока в стране и один будет вводиться за рубежом — как своего рода «вишенка на торте». А получилось наоборот: нам надо строить три-четыре блока в год за границей и, возможно, по одному сможем ежегодно вводить в строй у себя. Поэтому для нас выход на мировой рынок — не прихоть, а условие выживания. В этом смысле за постфукусимский период мы добились просто сумасшедших результатов».

Несмотря на все это, строительство ядерных генерирующих мощностей в России все-таки существенно оживилось. Так, за все 1990-е годы был введен в строй только один ядерный энергоблок — четвертый блок Балаковской АЭС. В 2000-х годах ввели два блока (№3 Калининской АЭС и №1 Ростовской АЭС), а только за первые шесть лет текущего десятилетия — уже пять блоков (№2 и №3 Ростовской, №4 Калининской, №1 Нововоронежской АЭС-II и №4 Белоярской атомных станций). В этот же период продолжали строиться один блок на Ростовской АЭС, три блока на Нововоронежской АЭС-II и Ленинградской АЭС-II, а плавучая атомная электростанция с двумя реакторами малой мощности КЛТ-40 была достроена к концу 2016 года и готовилась к испытаниям. Все эти объекты предполагается ввести в строй до начала 2020-х годов.

Произошло и качественное изменение проектов: если раньше речь шла исключительно о достройке незавершенных советских блоков с реакторами ВВЭР-1000, то при «Росатоме» к «незавершенке» добавилось (и постепенно стало преобладать) сооружение энергоблоков и станций «с нуля», причем новых проектов (АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ). Дальнейший ввод новых генерирующих мощностей планируется осуществлять исключительно за счет этих и других новых конструкций (подробнее о них — в разделе о развитии технологий). Согласно планам правительства, утвержденным в 2016 году, до 2030 года предполагается возможность строительства и ввода в строй, помимо уже строящихся, еще тринадцати энергоблоков мощностью около 14 ГВт. Часть этих блоков планируются в качестве замещающих — для замены выводимым из эксплуатации энергоблокам на действующих АЭС. В то же время другая часть — это новые станции, планируемые в Костромской, Нижегородской, Челябинской и Томской областях, Республике Татарстан.

Если добавить к этому, что значительная часть энергоблоков российской конструкции сегодня строится за рубежом (см. раздел о внешних рынках), то становится совершенно очевидно, что после периода застоя, в нынешнем столетии российская атомная энергетика встала на путь активного количественного и качественного роста, вопреки не слишком благоприятной экономической ситуации.

РАЗВИТИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ГЕНЕРАЦИИ

Нередко самый дешевый и эффективный способ поддержания и увеличения ядерных генерирующих мощностей — это развитие действующей генерации: повышение эффективности ее эксплуатации, продление срока службы, модернизация, и за счет нее — увеличение мощности. Все эти факторы могут обеспечить прирост производства энергии (либо предотвращают его потерю и необходимость создания замещающих мощностей) гораздо дешевле, чем обходится сооружение новых блоков. Конечно, такая практика заменяет новое строительство лишь в ограниченной степени, потому что все имеет свой предел, превышение которого невозможно или чревато снижением безопасности, абсолютно неприемлемым для атомной энергетики. Тем не менее, в масштабе отрасли такие ограниченные меры могут обеспечить прирост или сохранение ядерной генерации, эквивалентные десяткам процентов первоначальной установленной мощности АЭС. А значит, для стран с наиболее мощной ядерной энергетикой подобная практика заменяет необходимость постройки нескольких ядерных энергоблоков или пары новых атомных станций.

Вот почему максимально возможное сохранение существующего ядерного парка и повышение отдачи от него стало одной из главных забот «Росэнергоатома». При этом генерирующий дивизион Госкорпорации решает две основные задачи:

- увеличение объема производства (выработки) электроэнергии АЭС;
- продление лицензионных сроков эксплуатации действующих блоков.

Увеличение выработки достигается за счет повышения мощности и КПД энергоблоков в ходе их модернизации, а также повышения эффективности эксплуатации. Системная работа в этих направлениях активизировалась во второй половине 2000-х годов. В 2007 году была принята первая программа увеличения выработки, рассчитанные до 2015 года, а в 2011 году она была скорректирована.

Главным фактором увеличения выработки стало повышение эффективности эксплуатации. Важнейшим ее мериллом в российской и международной практике принято считать коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) или некоторые производные от него, либо близкие показатели.⁵ Любые ядерные энергоблоки периодически останавливаются, как минимум, на плановый ремонт и профилактику, а некоторые конструкции (наиболее распространенные в мире, так называемые корпусные реакторы, к которым относятся и российские ВВЭР) требуют обязательной остановки для замены топлива в среднем один раз в год-полтора. Для повышения КИУМ энергокомпания обычно совмещают ремонт с перегрузкой топлива, стараются сократить сроки всех операций и продлить интервалы между остановками. Эти и другие меры принимал и «Росатом»; как показала практика — весьма эффективно, что иллюстрируют следующие цифры.

В СССР в дочернобыльские 1980-е годы годовой КИУМ находился в диапазоне 70–75%. Ко времени распада страны этот показатель для российских АЭС со-

⁵ Для отдельного энергоблока КИУМ рассчитывается как отношение фактической выработки к максимально достижимой выработке на номинальной мощности. То есть этот показатель определяет, в какой степени были использованы возможности энергоблока.

ставлял порядка 65–70%, однако в 1990-е годы он сильно снизился (вплоть до 52–55%), что отражало кризис отрасли. В конце 1990-х концерн «Росэнергоатом» начал бороться за повышение этого индикатора. К концу 2000-х годов КИУМ достиг уровня примерно ~80%, а в нынешнем десятилетии он изменялся в диапазоне ~78–86%. По мировым меркам это приличный результат, не уступающий, например, ядерной энергетике Франции или превосходящий показатели Великобритании или Японии до Фукусимы. Однако следующим ориентиром для «Росатома» становится уровень стран-рекордсменов по эффективности эксплуатации (таких как Финляндия, Южная Корея, США), где средний КИУМ стабильно превышает 90%. Новые энергоблоки поколения III+, которые «Росатом» строит и уже вводит в эксплуатацию, конструктивно обеспечивают более высокий средний КИУМ. Так что увеличение доли таких блоков станет дополнительным фактором повышения эффективности российской атомной энергетике.

Еще одним средством наращивания выработки стало повышение тепловой мощности (производительности) энергоблоков за счет некоторых технических усовершенствований, замены оборудования на более современное, применения более совершенного топлива и т.п. Для большинства блоков с ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 мощность увеличили до уровня 104%, для некоторых — до 107% от номинальной. Производительность блока с реактором на быстрых нейтронах БН-600 на Белоярской также нарастили до 104%. Эта работа была проведена, в основном, в 2008–2014 годы. Следующий этап повышения мощности предполагает ее наращивание на ряде блоков с ВВЭР-1000 до уровня 110%.

Также проводились работы, повышающие экономичность энергоблоков, снижающие собственное потре-

бление ими энергии, что в конечном итоге позволяет поставлять больше электричества в сеть, то есть повышает так называемый электрический коэффициент полезного действия (КПД) блоков.

Еще одной тенденцией развития российской ядерной генерации стало продление лицензионных сроков эксплуатации действующих энергоблоков. Продолжительность «трудовой деятельности» блока определяется ресурсом незаменимых частей реакторной установки, прежде всего самого реактора. «Росатом» предполагает продлить срок эксплуатации большинства реакторов ВВЭР до 60 лет. Для этого после 25–30 лет работы блока Госкорпорация должна каждые 5–10 лет получать от надзорного органа (Ростехнадзора)⁶ продление разрешения на эксплуатацию. Условием продления лицензии является, прежде всего, всестороннее обоснование безопасности его дальнейшего использования. Для этого по итогам углубленных обследований блока осуществляется необходимый ремонт, модернизация и замена некоторых компонентов, операции по продлению ресурса конструкционных материалов, из которых изготовлены элементы реакторной установки (например, так называемый отжиг корпуса реактора, повышающий стойкость его стали к негативным воздействиям и изменениям в процессе работы) т.д.

Большинство российских блоков ВВЭР-1000 не достигли 30-летнего срока эксплуатации. У значительной части блоков ВВЭР-440, наоборот, этот срок превысил 40 лет. Это относится и к блоку №3 Нововоронежской АЭС, который был навсегда остановлен в декабре

⁶ Хотя «Росатом», как отмечалось, обладает рядом полномочий министерства, он не может принимать любые решения в отрасли: в соответствии с передовой мировой практикой и рекомендациями МАГАТЭ, в России разделены функции управления отраслью (атомными проектами и объектами) и функции ядерного надзора. Это означает, в первую очередь, что решения, затрагивающие ядерную безопасность, должны обязательно получить независимую оценку и одобрение надзорного органа – Ростехнадзора. Помимо разрешительных процедур, в его функции входит и постоянный контроль ядерно и радиационно опасных объектов на территории России.

Справка №4

Некоторые отличия реакторов АЭС

- Подавляющее большинство реакторов АЭС в мире, включая Россию, используют в качестве ключевого элемента так называемый замедлитель нейтронов – элементарных частиц, провоцирующих ядерную реакцию. Замедлитель служит для снижения скорости (и энергии) нейтронов, что необходимо для поддержания устойчивой цепной ядерной реакции («горения» ядерного топлива) в конструкциях этого, наиболее распространенного типа. Нейтроны с относительно «небольшой» энергией называют тепловыми, а использующие их установки – реакторами на тепловых нейтронах, или «тепловыми» реакторами (отраслевой сленг – не следует путать с тепловыми энергоблоками/электростанциями). В качестве замедлителя применяется несколько веществ: обычная (химически очищенная) вода, тяжелая вода (содержащая тяжелый изотоп водорода – дейтерий), углерод (обычно в виде особо чистого графита) и крайне редко – бериллий. В российских энергетических реакторах ВВЭР замедлителем служит обычная вода, а в реакторах РБМК – графит.
- В отличие от тепловых реакторов, реакторы на быстрых нейтронах («быстрые реакторы») обходятся без замедлителя. Быстрые реакторы – сложная, передовая и редко используемая технология. По состоянию на начало 2017 года крупные быстрые реакторы, сравнимые по мощности с коммерческими тепловыми, функционируют только в России (БН-600 и БН-800 на Белоярской АЭС).

2016 года на 45-м году коммерческого использования. Это стало возможным благодаря вводу в строй на той же площадке нового энергоблока с ВВЭР-1200, который втрое мощнее окончательно остановленного ВВЭР-440, что позволяет легко заменить его в энергосистеме.

Особая ситуация сложилась с энергоблоками на базе реакторов РБМК, составляющих около 40% мощности российской атомной энергетики (11 блоков на трех АЭС – Ленинградской, Курской, Смоленской). Она обусловлена своеобразной конструкцией этих установок, которые совершенно не похожи на ВВЭР. Одной из их особенностей является использование большой массы графита (~1,8 тысяч тонн), выполняющего функции замедлителя (см. Справку №4). Графит применяется в виде кладки, в которой содержится большое число каналов (РБМК расшифровывается как Реактор Большой Мощ-

ности Канальный). В ходе многолетней эксплуатации графит подвергается воздействию радиации, и каналы несколько искривляются, графитовые блоки трескаются. Это и стало проблемой для некоторых российских атомных станций, с которой, впрочем, столкнулись и другие страны, имеющие графитовые реакторы⁷. Хотя эта проблема была известна давно, поддается контролю и при условии его проведения не представляет опасности, в начале нынешнего десятилетия выяснилось, что процесс деформации может развиваться быстрее, чем предполагалось прежде. Для решения проблемы были рассмотрены разные варианты, вплоть до досрочного закрытия блоков РБМК, либо перерывов или ограничений их работы. Однако в конце концов нашли более рациональное решение: использование технологии «выпрямления» каналов,⁸ которая была разработана и внедрена под контролем «Научно-исследовательского и конструкторского института энергетической техники имени Н.А. Доллежала» (НИКИЭТ) – создателя реакторов РБМК.

Эта технология стала применяться с 2013 года поочередно для разных блоков с РБМК, начиная с Ленинградской и Курской станций. Она требует повторения с периодичностью примерно раз в три года. Хотя по мере применения технологии «Росатом» добился существенного снижения первоначальной стоимости (до 2,5 млрд. рублей) и сроков простоя блока (более 130 суток), эта процедура остается весьма накладной (к расходам собственно на работы добавляется недопоставка электроэнергии), что стало одной из причин решения Госкорпорации ограничить срок эксплуатации реакторов

⁷ Канальные реакторы с графитовым замедлителем в массовом масштабе применялись, помимо России, в Великобритании, США, Франции, в единичных экземплярах – в ряде других государств. Широкое использование таких реакторов в атомной энергетике сохранилось в России и Великобритании. Об особых проблемах при выводе из эксплуатации графитовых реакторов рассказано в разделе о бэк-энд.

⁸ Так называемая технология «восстановления ресурсных характеристик графитовой кладки» или ВРХ

РБМК 45-ю годами. Кроме того, «Росатом» отказался и от прежних планов повышения их мощности.

Атомные станции с этими реакторами служат опорными узлами российской энергосистемы в регионах их расположения, поэтому выбытие мощностей РБМК без адекватной замены угрожает энергетической безопасности. В связи с этим должны в обязательном порядке строиться замещающие мощности, сроки ввода которых в эксплуатацию будут синхронизированы с окончательной остановкой графитовых реакторов. Некоторые энергоблоки с РБМК (первые пары на Ленинградской и Курской АЭС) эксплуатируются с 1970-х годов и, таким образом, скоро подойдут к заветному возрастному пределу в 45 лет. Строительство замещающих мощностей на Ленинградской АЭС (двух блоков проекта АЭС-2006 с реакторами ВВЭР-1200) уже находится в завершающей фазе. Сооружение Курской АЭС-II не случайно стало приоритетной новой стройкой: в 2016 году здесь начались активные подготовительные работы для возведения с 2018 года двух замещающих блоков с новейшими реакторами ВВЭР-ТОИ мощностью 1255 МВт каждый.⁹

Большинство перечисленных направлений развития действующих ядерных мощностей в России относятся к передовой мировой практике, которая проверена опытом ряда стран с развитой ядерной энергетикой.

Например, во многих государствах энергокомпании, подобно «Росатому», добиваются повышения эффективности эксплуатации своих атомных станций, квинтэссенцией которой считается КИУМ. Не случайно этот показатель существенно вырос в последние десятилетия: если к началу 1980-х годов он в целом по миру не достигал 70%, то в первое десятилетие нынешнего века прибли-

⁹ Подробнее о проектах АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ см. раздел о развитии технологий.

зился к 85%. Еще более впечатляющим был рост в отдельных государствах, например, в США в начале 1980-х годов средний КИУМ составлял 55–60%, а в последнее десятилетие он стабильно превышает 90%. В то же время в текущем столетии, омраченном тяжелой аварией в Японии, которая негативно отразилась на ядерной энергетике во многих других странах, «Росатом» оказался в числе лидеров по темпам повышения эффективности эксплуатации.

Наращивание мощности действующих энергоблоков также является хорошо апробированной практикой. К примеру, в США абсолютное большинство действующих атомных энергоблоков на подходе к 40 годам службы получали разрешение продолжить эксплуатацию, причем сразу до 60 лет, что важно для энергетических компаний с точки зрения предсказуемости условий ведения бизнеса. Более того, Министерство энергетики США инициировало научные исследования о возможности продления до 80 лет. Практика продлений используется и в других государствах (Японии, Франции, Великобритании и т.д.). В большинстве случаев законодательство и надзорные органы ориентируются на пролонгацию (обычно пошаговую) до примерно 60 лет, как и в России для реакторов ВВЭР. Исключение составляют британские графитовые реакторы, которые, подобно РБМК, эксплуатируются приблизительно до 45 лет.

Не является «российской экзотикой» и повышение мощности и КПД ядерных блоков: аналогичная практика известна во Франции, США, Швеции, Финляндии, Чехии, Венгрии, Словакии и других странах как способ приращения производительности, на порядок более дешевый, чем строительство новых АЭС. За счет этого некоторые государства получают неплохую прибавку к своему ядерному парку: например, в США она уже эк-

вивалентна постройке 6-ти новых блоков равных по производительности ВВЭР-1000, в Швеции — полутора таким блокам. Особенно показателен опыт наращивания мощности в таких странах как Чехия, Финляндия и Венгрия, поскольку он относится именно к реакторам российской конструкции.

Не кажется излишне смелой и величина приращения мощности российских ВВЭР (4–10%). В США или Финляндии прибавка для отдельно взятых блоков достигает 20% и более, в Швеции — почти 40%. Прибавка тепловой мощности на блоках российской конструкции в Финляндии достигает 11%, в Венгрии — 8%, что более радикально, чем для аналогичных блоков ВВЭР-440 в России.

Как видно, «Росатом» проводил достаточно рациональную с экономической точки зрения и весьма взвешенную с позиций безопасности политику развития ядерной генерации.

ФРОНТ-ЭНД: НА ПЕРЕДНЕМ КРАЕ

В сфере фронт-энда¹⁰ Россия занимает одну из лидирующих позиций на глобальном уровне: на долю «Росатома» приходится 16–17% мирового рынка фабрикации ядерного топлива и более 30% объема осуществляемого изотопного разделения (первое место в мире). По масштабам фабрикации российская атомная монополия входит в тройку лидеров, в сфере добычи урана занимает четвертое место в мире, по возможностям обогатительного комплекса превосходит других крупнейших игроков рынка (свыше 40% мощностей разделения изотопов урана).

Сегодня Госкорпорация полностью контролирует «нижние этажи» российского ядерно-топливного цикла (ЯТЦ): добычу и аффинаж урана, конверсию, обогащение, фабрикации топлива. Однако так было не всегда, эти прочные позиции не достались даром — «Росатому» пришлось их отвоевывать. После распада СССР начальная стадия ЯТЦ оказалась разделена на части между новообразованными странами — бывшими советскими республиками, причем российская часть стала терять единый центр управления и координации. Однако в текущем столетии происходило восстановление централизованного контроля над ключевыми звеньями российского фронт-энда и наращивание его активов.

¹⁰ Под «фронт-эндом» (от английского front-end) принято понимать начальную стадию ядерно-топливного цикла (или дореакторный ядерно-топливный цикл) — от добычи урана до готового топлива, загружаемого в реактор. Будем использовать этот термин для краткости.

Справка №5

Ключевые понятия и стадии фронт-энда

- Для производства ядерного топлива добытый уран в результате химических преобразований трансформируется, в ходе так называемой конверсии, в газообразное соединение фтора — гексафторид урана (UF₆). Это единственно пригодное вещество для использования в процессе изотопного обогащения, суть которого состоит в увеличении доли изотопа уран-235. Эта доля повышается с ~0,7% (таково содержание этого изотопа в природном уране во всех районах Земли, за исключением одного) до необходимого уровня. На выходе процесса обогащения получается UF₆, содержащий повышенную массовую долю урана-235 (для ядерного топлива АЭС — обычно менее 5%). На следующей стадии газ UF₆ преобразуется в оксидную форму (в большинстве случаев получают порошок диоксида UO₂), пригодную для хранения или производства топлива. Порошок, как правило, служит основой для производства топливных таблеток (действительно напоминающих таблетки, но нередко с центральным отверстием). Для изготовления наиболее распространенного топлива атомных станций такие таблетки помещают в трубки из циркониевого сплава — тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ), которые заполняются инертным газом и запаиваются. ТВЭЛы собирают в особый каркас — тепловыделяющую сборку (ТВС), иногда имеющую оболочку (кожух) и включающую другие элементы, предназначенные для регулирования ядерной реакции, потока теплоносителя и т.п. В одной сборке содержится несколько сотен ТВЭЛов. Такая ТВС и является готовым ядерным топливом. Процесс производства этого топлива принято называть фабрикацией.
- Одна ТВС мощного энергетического реактора содержит несколько сотен килограммов урана. В реактор ВВЭР-1000 помещается 163 сборки, образующих объемный «частокол». Он составляет основную часть активной зоны — того самого «пекла», где происходит ядерная реакция с выделением огромного количества тепла.

Возникшая в этот период Госкорпорация завершила консолидацию этих звеньев, структурировала, создала между ними эффективное разделение труда, провела в секторе фронт-энда технологическую модернизацию и стала отвоевывать позиции на глобальном рынке, едва не утраченные в кризисные годы.

РЕСТРУКТУРИЗАЦИЯ

Минсредмаш в свое время располагал крупнейшим «хозяйством» в сфере фронт-энда: этот комплекс не знал себе равных по масштабам сырьевой базы, мощности обогащательных комбинатов (раньше всех в мире перешедших на высокопроизводительное обогащение урана с помощью центрифуг); был в числе лидеров по размаху и разнообразию фабрикаций ядерного топлива и переработки отработанного топлива (включая оборонный комплекс).

После распада СССР это хозяйство не досталось в полной мере никому: разные его части «разошлись» по нескольким республикам, причем в каждой осталась своя «жемчужина». Так, Казахстан получил гигантскую сырьевую базу урана, благодаря которой сегодня вырос в первую уранодобывающую страну мира; другим ценным приобретением для Астаны стал Ульбинский металлургический завод в Усть-Каменогорске, способный обеспечить топливными таблетками едва ли не полмира. Украина осталась со стратегическими ресурсами циркония и прочими ценными видами сырья, а также внушительным уранодобывающим комплексом. Узбекистан, Таджикистан и Киргизия исторически участвовали в добыче и первичной переработке урана; из их числа Узбекистан к сегодняшнему дню занял заметное место на мировом рынке этого металла.¹¹

¹¹ Помимо собственного урана в советских республиках, Минсредмаш получал это сырье из других социалистических стран, таких как ГДР, Чехословакия, Венгрия.

Россия осталась с второстепенным (на фоне Казахстана) уранодобывающим комплексом, поначалу лишилась основного производства порошка и таблеток, без которых невозможна фабрикация основных видов ядерного топлива. В то же время на ее территории осталось изготовление тепловыделяющих сборок и комплектующих к ним, все производственные мощности конверсии, обогащения урана, переработки ОЯТ.

В 1990-х годах функции в сфере фронт-энда выполняли три основные организации, собранные из осколков Минсредмаша: «Техснабэкспорт», «Атомредметзолото» (АРМЗ) и «ТВЭЛ». Однако разделение обязанностей между ними, активы и сферы контроля каждой из них сложились не сразу.

Выше в качестве примера приводился процесс формирования АО «ТВЭЛ». Как было показано, в момент создания топливной компании она в полной мере не контролировала ни один топливный передел: ни добычу, ни конверсию, ни обогащение, ни фабрикацию. В 2000-е годы начался процесс собирания активов, установления контроля над профильными производствами. Правда понимание профильных для компании видов деятельности на протяжении того десятилетия существенно менялось. Поначалу «ТВЭЛ» стала заниматься добычей урана и тратить значительную часть своих ресурсов на эту сферу. Однако в конце 2000-х годов приоритеты изменились. Компания «ТВЭЛ» вошла в состав образованного тогда «Росатома» и ее активы добычи — крупнейшее уранодобывающее предприятие России «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (ППГХО) и компании «Далур» и «Хиагда» — отошли АРМЗ, тоже ставшей дочерней структурой Госкорпорации. Компания АРМЗ, приобретая ряд других активов, в т.ч. в сфере профильных НИОКР, выросла в крупный холдинг, обе-

спечивающий всю добычу урана в России. Ранее АРМЗ также приобрела некоторые зарубежные активы уранодобычи, прежде всего в Казахстане. В 2010 году был куплен контрольный пакет (а позднее все акции) канадской компании Uranium One Inc. Впоследствии «Росатом» сформировал Международный горнорудный дивизион Госкорпорации «Росатом», в который вошла в том числе Uranium One Inc., владеющая и управляющая урановыми активами Госкорпорации за рубежом: в Казахстане, Танзании, США. Под управлением АРМЗ был оставлен российский уранодобывающий комплекс.

В то же время под контролем «ТВЭЛ» оказался «полный комплект» производственных активов остальных этажей фронт-энда и ряда связанных с ним сфер:

- конверсии и обогащения («Уральский электрохимический комбинат» — УЭХК, «Сибирский химический комбинат» — СХК, «Ангарский электролизный химический комбинат» — АЭХК, «Электрохимический завод» — ЭХЗ в Красноярском крае);
- производства материалов и комплектующих («Чепецкий механический завод — ЧМЗ; «Московский завод полиметаллов» — МЗП, производство которого было переведено в 2015 году на МСЗ);
- фабрикации топлива («Машиностроительный завод» — МСЗ в подмосковной Электростали, «Новосибирский завод химконцентратов» — НЗХК);
- а также производства оборудования для обогащения урана и профильных НИОКР («Ковровский механический завод», «Уральский завод газовых центрифуг», «Точмаш», «Новоуральский приборный завод», ОКБ «Нижний Новгород», «Центротех-Санкт-Петербург», «Новоуральский научно-конструкторский центр»).

Помимо трех перечисленных производственных холдингов, важную роль в этом секторе отрасли играет еще одна «дочка» «Росатома» — «Техснабэкспорт». Она не управляет производством продукции ЯТЦ, но является одним из ведущих и наиболее опытных (действует на зарубежных рынках с 1960-х годов) мировых поставщиков урановой продукции и связанных с ней услуг. Компания поставляет прежде всего обогащенный урановый продукт (ОУП), услуги по обогащению и конверсии¹² и сопряженные с ними услуги (организация транспортировки и т.п.). В ряде случаев «Техснабэкспорт» поставляет другие материалы (уран, прежде всего в составе ОУП, редкоземельные элементы и т.д.). В последние годы «Росатом» стал расширять функции «Техснабэкспорта», включив в зону его ответственности, например, часть сбыта электроэнергии и продвижение российских услуг в сфере вывода из эксплуатации ядерных объектов и обращения с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами. Однако до сих пор традиционная специализация «Техснабэкспорта» остается основной: ежегодный экспорт урановой продукции находится, как правило, в диапазоне 2–3 млрд. долл. США. «Техснабэкспорт» имеет различные дочерние структуры, специализированные на региональных или продуктовых рынках.

Таким образом, в нынешнем столетии «Росатом» восстановил полный централизованный контроль над российскими предприятиями фронт-энда, расширил их за счет приобретения зарубежных активов, провел ре-

¹² На мировом рынке разные дореакторные стадии ядерно-топливного цикла (см. о них Справку...) рассматриваются как отдельный товар. Покупатель (допустим, энергокомпания) может приобрести готовое топливо (ТВС) со всеми включенными в него материалами и услугами, а может купить уран у австралийской уранодобывающей компании, услуги по конверсии и обогащению – у российской компании, изготовление топлива – у французской компании; возможны и другие комбинации. Обогащенный уран поставляется не в форме чистого металла, а в виде химического соединения. Не вдаваясь в «химию», его называют обогащенным урановым продуктом или ОУП. Если ОУП получается обогащением сырья покупателя, то «обогатившая» компания продает не ОУП в целом, а в данном случае только услуги по обогащению.

структуризацию и тех и других, распределив все сферы ответственности между четырьмя дочерними группами: «ТВЭЛ», АРМЗ, Uranium One и «Техснабэкспорт». В итоге Госкорпорация стала одной из двух мировых холдинговых структур (наряду с французской Areva¹³), способных предложить на международных рынках продукцию и услуги любых стадий фронт-энда или всех в комплексе (в виде готового топлива), и обеспечив их поставку полностью за счет собственных производственных и логистических возможностей, то есть от «А» до «Я».

¹³ Однако все основные уранодобывающие предприятия Areva находятся за пределами Франции. «Росатом» является единственной в мире атомной организацией, способной произвести любую продукцию ядерно-топливного цикла на собственных производственных мощностях и отечественном сырье – «не выходя из дома».

ПРОИЗВОДСТВО

82

Наряду со структурными изменениями, происходили значительные сдвиги в производственной сфере фронт-энда. Развитие «матчасти» включало несколько аспектов:

- модернизация технологий и оборудования, совершенствование системы организации производства;
- создание или достраивание звеньев, необходимых для восстановления независимости российской отрасли от других поставщиков ключевых компонентов;
- развитие самих продуктов фронт-энда: расширение их номенклатуры, улучшение качества и потребительских свойств.

Эти три аспекта проявились, так или иначе, во всех звеньях начальной стадии ядерно-топливного цикла.

Одним из примеров обеспечения независимости от других поставщиков ключевой продукции является добыча урана. Сегодня компании «Росатома» добывает около 8 тыс. тонн этого сырья (4-е место в мире) при годовых реакторных потребностях порядка 4 тыс. тонн. Добыча урана на территории России снизилась с уровня ~3,5 тыс. тонн во второй половине 2000-х годов до ~3 тыс. тонн в последние годы.¹⁴ В 2016 году АРМЗ и Uranium One добыли 7,9 тыс. тонн, из них за рубе-

¹⁴ Извлекаемые ресурсы урана в России составляют ~9% мировых (3–4 место в мире). Однако на территории страны добывается ~5% мирового объема добычи.

жом — более 60%. Такая пропорция оправдана тем, что зарубежные уранодобывающие активы «Росатома» обеспечивают существенно менее дорогой уран, главным образом в силу природных особенностей месторождений. Экономический фактор особенно важен, учитывая снижения рентабельности уранодобычи из-за значительного спада на рынке в последние годы. Тем не менее, по обеспеченности ядерной энергетики ураном отечественной добычи Россия занимает второе место среди стран с крупнейшей атомной индустрией: из таких государств полностью обеспечивает себя этим сырьем лишь Канада.

Примером восстановления в нынешнем столетии недостающих технологических звеньев ядерно-топливного цикла служит ситуация с обеспечением отрасли порошком и таблетками диоксида урана. После дезинтеграции отрасли в 1991 году российские топливные предприятия зависели от поставок этой продукции от Ульяновского металлургического завода в Казахстане, некогда снабжавшего всю советскую отрасль. Однако в 2000 году было возобновлено производство порошка на Красноярском химико-металлургическом заводе (ХМЗ¹⁵), в течение того же десятилетия развернуто новое производство порошка и таблеток диоксида урана на МСЗ и НЗХК, что дало возможность в 2008 году прекратить производство на ХМЗ. Сегодня российские топливные заводы начинают тепловыделяющие сборки собственными таблетками, изготовленными на основе своего порошка.

Наряду с развитием прежде слабых звеньев ЯТЦ, происходила модернизация и в тех сферах, где не наблюдалось такого отставания. Это относится, напри-

¹⁵ Красноярский химико-металлургический завод (ХМЗ) вошел в состав ТВЭЛ при его образовании. Однако с конца 2000-х годов предприятие изменило профиль и перестало работать с ядерными материалами.

83

мер, к обогащению комплексу, в котором проходил интенсивный процесс смены поколений центрифужных технологий. В рамках этого процесса прежде других заменялись центрифуги 5-го поколения, установленные с конца 1960-х по 1980-е годы. До начала текущего столетия их меняли на машины 6-го и 7-го поколений, которые (центрифуги 6-го поколения) поставлялись и на экспорт (только в Китай, что связано с международными нормами о нераспространении ядерного оружия). С первой половины 2000-х годов происходило внедрение центрифуг 8-го поколения и разработка центрифуг 9-го поколения. В 2012 году был освоен выпуск таких машин, и с декабря началось их внедрение в России. К 2016–2017 году производители центрифуг (Уральский завод газовых центрифуг, Ковровский механический завод) освоили серийный выпуск модернизированных машин поколения 9+ (для эффективного обогащения выстраиваются каскады из огромного числа центрифуг, поэтому их массовое производство и надежность важны как ни в какой другой сфере). Параллельно осуществлялись НИОКР по центрифугам 10-го поколения. Последние поколения российских центрифуг качественно отличаются по производительности от предшественников, будучи надкритическими машинами большего размера¹⁶.

Развитие крупнейших в мире мощностей обогащения дает «Росатому» возможность сохранить сильнейшие по-

¹⁶ Производительность центрифуги в теории прямо пропорциональна длине ротора (вращающейся части) и линейной скорости вращения, возведенной в четвертую степень. Кроме того, рост температуры снижает эффективность обогащения. Поэтому разработчики центрифуг стараются добиться сочетания взаимоисключающих условий: побыстрее раскрутить ротор, сделать его длиннее и избежать нагрева. Между тем, при возрастании скорости ротор подходит к определенным резонансным частотам, при которых начинаются разрушительные осевые колебания. При определенном удлинении ротора проблема усиливается. Центрифуги, которые способны пройти такие колебания и выйти на качественно новые скоростные ступени, называют надкритическими. Такие машины должны обладать высочайшей надежностью – работать без остановок годами.

зиции на мировом рынке при существующей конкуренции с центрифужными технологиями европейской компании Urenco (которыми пользуется и французская Areva), а в перспективе и с другими игроками, пока только планируемыми выйти на рынок — компаниями Японии, Китая, США.

Подобное же повышение конкурентоспособности происходило в производстве конечного продукта фронт-энда — тепловыделяющих сборок. Кризис 1990-х годов ощутимо затронул эту сферу. В этот период стало накапливаться отставание от некоторых прогрессивных мировых тенденций в технологиях ядерного топлива. Появились и проблемы с качеством, что со временем могло негативно отразиться на репутации российского поставщика и привести к потере рынков сбыта.

■ Олег Крюков

Директор ГК «Росатом» по государственной политике в области РАО, ОЯТ и вывода из эксплуатации

«[Машиностроительному заводу в Электростали] повезло больше других — мы стали по заказу фирмы Siemens производить ядерное топливо,¹⁷ это позволило нам выжить в самое тяжелое время. Но в начале 2000-х нам именно поэтому пришлось понять, что мы на мировом рынке (в отличие от рынка советского) имеем вполне серьезных конкурентов. Westinghouse и французы вполне ощутимо наступали нам на пятки... Пришлось вырабатывать у себя «экономический», «рыночный» подход к тому, что мы делали. Это было очень непривычно и вызывало серьезную «ломку». Раньше от нас требовалось обеспечить Родине «щит», и с затратами на это никто не считался. Теперь нужно было

¹⁷ Речь идет о сборке ТВС западных конструкций из комплектов деталей, которые поставлялись Siemens, а позже Areva. Собранные ТВС поставлялись клиентам этих компаний в европейских странах.

обеспечить прибыль. по ряду позиций себестоимость производства у нас раз в двенадцать выше, чем у конкурентов. У них, допустим, зарплата одного человека намного больше, чем у нас — но зато людей на таком же участке занято в десять раз меньше! Мы вдруг осознали, что по многим позициям отстаем. Не только по себестоимости, но и с оборудованием, с проектированием технологического процесса... Сыграло свою роль то, что отрасль всегда была «закрытой» и мы не видели того, что происходит у конкурентов. К счастью, атомная отрасль чем сильна — так это способностью быстро адаптироваться, у нее всегда был очень высокий интеллектуальный потенциал. Когда мы начали сотрудничать, когда увидели зарубежные производства, когда стали считать возможную прибыль и убытки — поменялся сам подход к тому, что и как мы делали».

Однако с конца 1990-х годов, и особенно в нынешнем столетии, возобновилась последовательная модернизация топлива. Среди изменений, которые происходят в этой сфере, можно выделить следующие:

- Были заменены материалы, играющие особую роль в ядерной технике: прежде всего, вместо некоторых стальных элементов тепловыделяющих сборок, начали использоваться детали из циркониевых сплавов,¹⁸ а впоследствии и сами эти сплавы были усовершенствованы.
- Конструкции тепловыделяющих сборок были усилены с целью предотвращения деформаций и повышения стойкости к вибрациям, что стало необходимым при ужесточении условий их экс-

¹⁸ Цирконий – один из наиболее широко применяемых материалов в ответственных деталях ядерной энергетики, поскольку он обладает оптимальным сочетанием прочности, стойкости к температурным и другим воздействиям наряду с высокой «прозрачностью» для нейтронов. Часть ТВС и раньше делалась из сплавов циркония, но теперь их применение расширилось.

плуатации в реакторах (выше рассказывалось, например, о повсеместных практиках повышения тепловой мощности реакторов ВВЭР и интенсивности их эксплуатации).

- Возросла ремонтпригодность топлива, в частности, ТВС сделали отчасти разборными: если раньше из-за дефекта одного из сотен твэлов вся сборка (стоимостью в сотни тысяч долларов США) могла отправляться на выброс, то теперь появилась принципиальная возможность замены отдельных твэлов.
- Конструкторы добились различными способами увеличения массы урана, загружаемого в ТВС без изменения основных геометрических размеров сборки. Кроме того, постепенно возросло среднее обогащение урана, вплотную подойдя в некоторых видах топлива к пяти процентам. Все это увеличивает «энергозапас» топливной сборки, позволяет использовать ее дольше и эффективнее.¹⁹
- Начали внедряться так называемые антидебрисные фильтры, предотвращающие повреждение твэлов мелкими твердыми частицами, иногда попадающими в поток теплоносителя.
- В конструкции ТВС появились элементы (так называемые перемешивающие решетки), обеспечивающие более равномерный отвод тепла от топлива.

Разумеется, это лишь наиболее «очевидная» часть тех изменений, которые были внесены в конструкцию и со-

¹⁹ Это стало возможным благодаря некоторым другим нововведениям. Среди них – применение разного уровня обогащения урана в различных частях ТВС (профилирование обогащения), а так же включение так называемых выгорающих поглотителей нейтронов в состав топлива (соединений гадолиния для реакторов ВВЭР и эрбия – для РБМК). Эти и другие меры позволяют оптимизировать нейтронные характеристики, увеличить продолжительность работы топлива в реакторе и т.д.

став топлива для повышения его эффективности и надежности. Подобные усовершенствования в различных комбинациях или в совокупности нашли применение в новых моделях российских тепловыделяющих сборок: появились модернизированные ТВС 1-го поколения, а затем и конструкции топлива 2-го и 3-го поколений.

В частности, два конструкторских бюро — «Гидропресс» и «ОКБМ им. Африкантова», в сотрудничестве с другими структурами отрасли, предложили свои, альтернативные варианты сборок для реакторов ВВЭР-1000, которые в последующем породили целые линейки модификаций ТВС.

«ОКБМ им. Африкантова» создало сборку ТВСА, внедрение которой началось в 1998 году. Впоследствии появились другие представители этой линейки: ТВСА-Т, ТВСА-Альфа, ТВСА-12, ТВСА-У, ТВСА-Plus.

ОКБ «Гидропресс», в сотрудничестве с ТВЭЛ, вначале разработали усовершенствованную тепловыделяющую сборку (УТВС), которую внедряли с 1998 года на ряде новых зарубежных АЭС («Бушер» в Иране и «Тяньвань» в Китае). Позже «Гидропресс» предложил конструкцию ТВС-2, которая стала использоваться с 2003 года. В результате дальнейших усовершенствований в рамках этих двух конструкторских «школ» появились две модели топлива реакторов ВВЭР-1000 — ТВС-2М и ТВСА-Plus, которые стали внедряться в наиболее массовом порядке (соответственно с 2006 года и с 2010 года) на АЭС российских конструкций, вытесняя прежние виды топлива, в том числе за рубежом (в частности, Китай купил права на производство ТВС-2М).

Модернизация затронула топливо и других основных российских реакторов: ВВЭР-440 и РБМК. Эти новшества в принципе позволяют экономить десятки процентов урана в расчете на единицу произведенной энергии

и повысить тепловую мощность реактора. Растет энергетическая отдача от топлива: количество энергии, произведенное каждым килограммом урана за время его нахождения в реакторе. Новые модели ТВС могут продлить время работы топлива (отдельно взятой сборки) в реакторе, например, для ВВЭР-440 — с трех-четырёх лет до пяти и даже шести лет. Возрастает и интервал между перегрузками: для реакторов ВВЭР-1000 он уже достигает примерно 18 месяцев.²⁰ Подобные показатели вносят свой вклад в рост эффективности эксплуатации российских АЭС, о которой говорилось в разделе о генерации.

Перечисленные и другие усовершенствования, произведенные «Росатомом», отвечают мировым тенденциям в развитии топлива реакторов на тепловых нейтронах и позволяют Госкорпорации наверстать определенное отставание в этой области, возникшее было в 1990-е годы. Благодаря этому «Росатом» смог удержать прочные позиции на рынках топлива российских реакторов, а кое-где их расширить: как показывают заключенные долговременные контракты на обеспечение топливом новых АЭС российских конструкций за рубежом, современное топливо успешно завоевывает и рынки, на которых Россия (СССР) прежде не присутствовала.

В дальнейшем «Росатом» планирует развивать взятый курс. Перечисленные и другие новшества нашли свое воплощение в топливе наиболее современных российских легководных реакторов, внедрение которых в составе энергоблоков АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ только на-

²⁰ Корпусные легководные энергетические реакторы, к которым относятся все ВВЭР, периодически (обычно один раз в ~1,0–1,5 года) останавливаются для замены части топлива (от 20% до 50%), отработавшего в реакторе, как правило, несколько лет. Так называемые канальные реакторы, включая российские РБМК, могут перегружаться «малыми порциями» без их остановки – в процессе работы. Судовые реакторы (тоже корпусные) работают без перегрузки, обычно гораздо дольше реакторов АЭС, в ряде случаев десятилетиями. Топливо в них заменяется не частично, а полностью – в объеме всей активной зоны.

чинается. В дальнейшем «Росатом» планирует более радикальные изменения в топливе, в т.ч. этих реакторов. Они позволят еще больше повысить энергоотдачу, экономя при этом уран, дадут принципиальную возможность удлинить интервал между перегрузками топлива до 24 месяцев, повысят безотказность топлива и т.д. Отдельные направления технического прогресса в данной сфере (такие как вовлечение плутония в ядерно-топливный цикл, создание новых видов топлива для реакторов на быстрых нейтронах и замыкание ЯТЦ) специально рассмотрены в разделе о развитии технологий.

КОНКУРЕНЦИЯ

«Росатом» обладает полной монополией на российском рынке ядерного топлива: по существу в этом случае следует говорить не о рынке, а о самообеспечении и внутренних расчетах между дочерними организациями одной холдинговой структуры. Подобное положение необычно: в большинстве других стран сложилась та или иная конкуренция на рынке топлива, включая и государства с развитой, диверсифицированной ядерной энергетикой, технически способные самостоятельно обеспечить себя топливом, такие как США, Япония, Канада, Франция и другие.

Между тем, в отношении поставок топлива реакторов российских конструкций «Росатом» доминирует и за пределами страны: Госкорпорация покрывает 100% текущих потребностей всех зарубежных реакторов ВВЭР-440 и свыше 85% — для реакторов ВВЭР-1000. Топливо экспортируется по долгосрочным, многолетним контрактам, заключенным «ТВЭЛ» с энергокомпаниями каждой страны.

Российское топливо ВВЭР-1000 поставлялось для 22 таких блоков в шести странах: Чехии (АЭС «Темелин»), Украине (Запорожская, Южно-Украинская, Хмельницкая, Ровенская станции), Китае (АЭС «Тяньвань»), Болгарии (АЭС «Козлодуй»), Иране (АЭС «Бушер»), Индии (АЭС «Куданкулам»). В Китае построен собственный завод, выпускающий сертифицирован-

ное топливо для первых двух блоков АЭС «Тяньвань», которые первоначально обеспечивались тепловыделяющими сборками российского производства. В то же время «Росатом» экспортирует топливо своей фабрики для первой загрузки и нескольких перегрузок двух ныне строящихся реакторов на этой станции.

Топливо ВВЭР-440 поставляется для 17-ти блоков в шести странах: Венгрии (АЭС «Пакш»), Словакии (АЭС «Моховце» и АЭС «Бугунице»), Украине (Ровенская АЭС), Армении (Мецаморская АЭС), Чехии (АЭС «Дукованы»), Финляндии (АЭС «Ловииса»). В прошлом ТВС для реакторов этой конструкции поставлялось еще и в Болгарию и Германию, а также для некоторых ныне закрытых блоков в Словакии. В то же время в Словакии достраивается два блока АЭС «Моховце», поставки топлива для которых законтрактованы с «ТВЭЛ».

География и номенклатура экспорта топлива расширяется по мере строительства ныне сооружаемых или планируемых блоков российских проектов в Белоруссии, Финляндии, Венгрии, Иране, Индии, Китае, Турции, Бангладеш, Египте, Иордании. В большинство этих стран будет поступать топливо следующих поколений для энергоблоков новейших проектов АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ. Такие ТВС только-только начали внедряться в России. К тому же, переговоры о строительстве АЭС, тендеры с участием «Росатома» проходят и в других государствах (см. раздел о внешних рынках). На мировом атомном рынке «хорошим тоном» стало заключение с поставщиком реакторной технологии контрактов на поставку топлива для первой загрузки и нескольких первых перегрузок строящегося реактора. Такие контракты заключаются в том числе с поставщиками, не имеющими некоторых собственных топливных

переделов.²¹ Россия же, как отмечалось, обладает исключительными возможностями предоставления всех или любых продуктов и услуг на рынке ЯТЦ, что обеспечивает продавцу ценовую гибкость, а покупателю — возможность приобрести сразу все в комплексе, и таким образом снять с себя в дальнейшем какие-либо заботы о топливе, включая его утилизацию (ведь «Росатом» готов предоставить и услуги бэк-энд — см. раздел об этой сфере). Поэтому в ряде случаев Госкорпорации удастся заключить контракты не на многолетнее, а на пожизненное обеспечение топливом строящихся энергоблоков российской конструкции (например, в отношении АЭС «Куданкулам»).

В общем, «Росатому удалось со времени распада советской отрасли сохранить монополию, или близкую к ней олигополию, на большинстве прежних рынков ядерного топлива, да к тому же приобрести новые. И все же почивать на лаврах неуместно: конкуренты уже предпринимали попытки потеснить российского гиганта в его исконной вотчине, а в будущем российскую монополию, очевидно, ждут еще большие испытания.

Первый временный успех конкурентов российских производителей топлива случился в 1990-е годы, когда российская атомная отрасль находилась на спаде и «Росатома» (а поначалу и «ТВЭЛ») еще не существовало, что и облегчало задачу наступления на российские рынки. В это время американская компания Westinghouse разработала топливо ВВЭР-1000, а британская BNFL — создала свою версию ТВС для ВВЭР-440.

В середине 1990-х годов BNFL заключила соглашение с финской и венгерской компаниями, в соответствии

²¹ Например, южнокорейская KEPSCO, заключившая подобный контракт для первоначального обеспечения топливом сооружаемых ею энергоблоков АЭС «Барака» в Объединенных Арабских Эмиратах, в состоянии фабриковать ТВС, но не располагает собственными мощностями конверсии и обогащения. В обеспечении этих переделов для ОАЭ участвует и Россия.

с которыми британцы поставляли несколько тестовых сборок для одного из блоков финской АЭС «Ловииса», и при условии успешного прохождения испытаний, могли рассчитывать на коммерческий контракт в дальнейшем. Кроме того, соглашение с венграми предполагало, что при удачном исходе испытаний в Финляндии возможны коммерческие поставки британских ТВС для АЭС «Пакш» в Венгрии.

В те же 1990-е годы компания Westinghouse выиграла конкурс на обеспечение американским топливом первой загрузки и нескольких последовательных перегрузок двух строившихся в то время энергоблоков АЭС «Темелин» в Чехии. Блоки были введены в строй в 2002–2003 годах и стали первыми ядерными установками российской конструкции,²² которые «с рождения» обеспечивались не российским топливом.

Топливо конкурентов содержало некоторые новшества, подобные которым, как было представлено выше, начали внедряться в России несколько позже. Например, в сборках Westinghouse, разработанных в начале 1990-х, шире применялись конструктивные элементы из циркониевых сплавов, использовалась разборная конструкция, было осуществлено профилирование обогащения и т.д. В то же время в процессе использования этого топлива отмечались случаи появления дефектов.

К отличительным особенностям топлива BNFL относились широкое применение циркониевых деталей, разборная конструкция, повышенная ураноемкость (которая обеспечивалась не так, как в современных российских сборках, а за счет большей плотности урана в таблетках),

²² Чехия – единственная страна, в которой были созданы возможности для проектирования и строительства в основном объеме атомных станций российской разработки. Поэтому «Темелин», как и другие АЭС в Чехии и Словакии, сооружались главным образом местными предприятиями при некотором инженерном содействии и ограниченных поставках оборудования из России. К тому же Чехия имела разрабатываемые ресурсы урана, что позволяло ей экономить на начальных топливных переделах.

а также измененные расстояния между твэлами. Изменение геометрии решетки применяется в последнем поколении российского топлива для реакторов ВВЭР-440.

В 1999 году BNFL установила контроль над Westinghouse и передала ей производство и поставку своего топлива. Таким образом, американская компания некоторое время поставляла ТВС для реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Такое топливо на финской станции использовалось в период с 2001 по 2007 годы, но часть загрузки реактора по-прежнему обеспечивал российский поставщик.²³ Реакторы чешской АЭС «Темелин» загружались американским топливом в полном объеме в течение с 2002 по 2010 годы.

Между тем, 2006 год, богатый на события для российской атомной отрасли, оказался поворотным и для экспорта топлива. В феврале британская компания продала японской корпорации Toshiba акции Westinghouse. Последняя вскоре проиграла в борьбе с ТВЭЛ за право поставлять с 2010 года топливо для двух реакторов чешской атомной станции. В конце 2006 года ТВЭЛ получил контракт на снабжение топливом финской АЭС в полном объеме с 2008 по 2030 годы. Оба контракта предусматривали поставки новейших для того времени модификаций ТВС: топлива второго поколения для ВВЭР-440 на АЭС «Ловииса» и сборки ТВСА-Т для АЭС «Темелин».

После этого Westinghouse отказалась от производства топлива для ВВЭР-440. Иначе обстояло дело с топливом ВВЭР-1000, для которого, одновременно с чехами, нашелся и другой покупатель. Еще в первое постсоветское десятилетие Украина решила разнообразить источники получения ядерного топлива, найдя второго поставщика. В 2000 году был подписан кон-

²³ Практика загрузки реактора одновременно топливом разных поставщиков и даже разных типов широко используется в мире.

тракт с Westinghouse о доработке американских ТВС для ВВЭР-1000 с целью их совместной работы в одном реакторе с российским топливом. Тестовые сборки такого рода были впервые загружены на блоке №3 Южно-Украинской АЭС в 2005 году. А в 2008 году оператор украинских АЭС компания «Энергоатом» заключила коммерческий контракт на поставки топлива с дочерней структурой с Westinghouse. В декабре 2014 года Westinghouse и «Энергоатом» договорились значительно расширить поставки в период до 2020 года. Американская компания стала рассматривать вопрос о возобновлении производства ТВС для ВВЭР-440.

В то же время еще в 2010 году «Энергоатом» также заключила с «ТВЭЛ» соглашение на поставки топлива на все АЭС Украины до 2030 года. Российское топливо по-прежнему преобладает в общем объеме, однако доля американских ТВС, очевидно, будет увеличиваться.

В перспективе также вероятно появление конкуренции на рынке топлива ВВЭР в ЕЭС. Пока ТВЭЛ занимает 100% этого рынка. Но Евросоюз намерен его демополизировать. В 2014 году ЕС принял стратегию повышения своей энергетической безопасности, предполагающую меры для уменьшения энергозависимости от Российской Федерации. Одним из направлений, предусмотренных документом, стала диверсификация поставок топлива ВВЭР. В частности, предполагается со временем обеспечить альтернативные поставки. Новая политика Евросоюза обязывает владельцев АЭС закупать часть топлива вне России. Правда, этому пока мешает несколько обстоятельств. Во-первых, поставки для действующих блоков законтрактованы на много лет, преимущественно до появления новой стратегии Евросоюза. Во-вторых, проекты строительства новых атомных станций на территории стран ЕС тоже предусматривают в качестве пакет-

ных соглашений поставки топлива для первой загрузки и нескольких последующих перегрузок, что как отмечалось, соответствует мировой практике. Это фактически признал и Евросоюз, завизировав весной 2015 года российско-венгерский контракт на такие поставки для двух блоков планируемой АЭС «Пакш-II».²⁴ Наконец, в третьих, альтернативы поставкам ряда видов российского топлива пока просто нет. Единственный «действующий» конкурент ТВЭЛ — Westinghouse — пока лишь расширяет производственные мощности на своем шведском заводе в Вестеросе для обеспечения Украины топливом ВВЭР-1000. Возобновление им производства топлива ВВЭР-440 (которое в 2000-е годы осуществлялось на испанском заводе в Хусбадо, не принадлежащем Westinghouse) пока только рассматривается. Топливо для ВВЭР-1200 никем, кроме «Росатома», до сих пор не разработано.

Так что частичное вытеснение Госкорпорации с европейского рынка ядерного топлива оказалось делом нелегким и не скорым. Более того, на фоне этих событий «Росатом» перешел в контрнаступление «с фланга», причем как раз на европейском топливном фронте.

Речь идет об успехах в создании и внедрении Госкорпорацией собственного топлива западных реакторов. Несколько лет назад «Росатом» разработал тепловыделяющую сборку для реакторов PWR (западный аналог ВВЭР) наиболее ходового современного формата²⁵ 17×17 — так называемую «ТВС-квадрат» или ТВС-К. В июне 2014 года, по соглашению с шведской государственной энергокомпанией Vattenfall, четыре тестовые сборки рос-

²⁴ Евросоюз возложил обязанности контроля за диверсификацией источников ядерного топлива на свою организацию Euratom Supply Agency (ESA). Она является третьей стороной всех крупных контрактов на поставки топлива в ЕС, то есть они фактически требуют визы Евросоюза. За таким одобрением и обратилась Венгрия.

²⁵ В отличие от шестигранных (гексагональных) ТВС российских реакторов ВВЭР, в большинстве западных легководных реакторных установок применяются сборки квадратного сечения. ТВС 17×17 насчитывает, соответственно, 17 твзлов с каждой стороны квадрата.

сийской конструкции были загружены в один из реакторов ее атомной станции «Ринхалс». После пары лет испытаний шведы решили закупить коммерческую партию этого топлива: согласно контракту, заключенному в конце 2016 года, «ТВЭЛ» поставит топливо для нескольких перегрузок реакторов АЭС «Рингхалс», начиная с 2021 года. Это первый коммерческий контракт на поставку топлива западных реакторов, созданного «Росатомом».

В то же время интерес к этой разработке не ограничивается Европой. В частности, весной 2016 года «ТВЭЛ» и Global Nuclear Fuel-Americas LLC (GNF-A, дочерняя структура гигантов атомного рынка — General Electric, Hitachi и Toshiba) договорились создать стратегический альянс для лицензирования и рыночного продвижения ТВС-К в США. Американская компания выразила заинтересованность в организации производства российской конструкции топлива на своем заводе в США. В июле 2016 года российский производитель топлива подписал с одной из энергокомпаний США первый контракт на опытно-промышленную эксплуатацию ТВС-К. То есть история с успешным продвижением в Швеции, похоже, повториться в США, с той лишь разницей, что это дает «Росатому» выход на крупнейший национальный рынок ядерного топлива в мире.

Как нетрудно заметить, «Росатом» медленно отстывает лишь на украинском рынке топлива, что обусловлено вполне очевидными причинами, никак не связанными с качеством российской продукции. В остальном мире Госкорпорация весьма успешно удерживает занятые позиции и завоевывает новые. Радикальный рывок вперед на этих рынках может произойти после ожидаемой череды пусков строящихся и твердо планируемых реакторов российских конструкций, а также завоевания авторитета в сфере российского топлива западных реакторов.

БЭК-ЭНД: ГЕНЕРАЛЬНАЯ УБОРКА

Накопление радиоактивных отходов (РАО) и отработанного ядерного топлива (ОЯТ) в России представляет одну из острейших проблем атомной отрасли. Масштаб этого явления (см. Справку №6) объясняется размахом российского атомного комплекса — одного из крупнейших в мире, а также недостаточным вниманием, которое Советский Союз уделял предотвращению и ликвидации последствий радиоактивного загрязнения. Последнее нередко объясняется дефицитом времени и ресурсов, особенно в первые примерно полтора десятилетия раз-

Справка №6

РАО и ОЯТ в России: факты и цифры

- В стране накоплено ~560 млн. куб. метров радиоактивных отходов (РАО), из которых около 170 тыс. куб. м. составляют высокоактивные (ВАО) и ~3,7 млн. куб. м. — отходы среднего уровня активности (САО).
- 99% РАО заключены в «ядерном наследии». Подавляющую их часть составляют жидкие отходы (ЖРО), в основном радиохимического производства (технологической стадии создания оружейных материалов). Наибольшая доля таких ЖРО содержится в специальных искусственных и природных водоемах комбината «Маяк» — крупнейшей в мире системе открытых хранилищ РАО. Суммарная активность таких хранилищ составляет 170 млн. кюри, что в несколько раз больше Чернобыля. 70% активности приходится на один водоем В-9 на комбинате «Маяк» (озеро Карачай, ликвидированное как водоем в 2015 г.).
- Помимо ненадлежащего хранения РАО, причинами загрязнения окружающей среды в прошлом были серьезные происшествия на ядерных объектах, в числе которых выделяются аварии на комбинате «Маяк» в 1957–1967 гг.
- В России накоплено ~22,5 тыс. тонн отработанного ядерного топлива. Ежегодно образуется 600–650 т. ОЯТ, перерабатывается до ~1/3 этого объема.

вертывания программы создания и развития ядерного оружия (в 1940–1950-е годы). Каковы бы ни были причины, факт состоит в том, что по масштабу радиоактивного загрязнения на отдельных территориях СССР оказался среди «лидеров». Значительная часть таких районов досталась России.

НА «ЗАДНЕМ ДВОРЕ» ОТРАСЛИ

В первые два десятилетия после Чернобыля значимых улучшений в этой сфере не происходило, разве что замедлилось накопление новых ОЯТ и некоторых РАО за счет сокращения военных программ и поэтапного завершения эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР) на комбинате «Маяк» в Челябинской области, Сибирском химическом комбинате в Томской области и Горно-химическом комбинате в Красноярском крае (в 2000 году в России прекратилась наработка оружейного плутония; в 2010 году был окончательно остановлен последний ПУГР). В то же время массовый вывод атомоходов из боевого состава Северного и Тихоокеанского флотов (к настоящему времени — свыше двухсот, преимущественно атомных подводных лодок, часть которых имеет по два реактора), а также ряд других причин (снятие с эксплуатации судов атомного технологического обслуживания и нескольких ледоколов, ряд аварий на флоте) только усугубили ситуацию с накоплением РАО в некоторых прибрежных районах и морских акваториях, и потенциальную опасность радиоактивного загрязнения.

К началу нынешнего десятилетия, помимо кораблей и судов на атомном ходу, было окончательно остановлено порядка 180 ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО), из них около 70% приходилось на объекты «Росатома», включая 5 энергоблоков атомных станций

и 13 промышленных уран-графитовых реакторов (предназначенных прежде всего для наработки оружейных материалов). Процесс вывода из эксплуатации значительной части наиболее крупных объектов по техническим причинам растягивается на десятилетия, что в целом соответствует мировой практике. Таким образом, многие ЯРОО становятся источниками значительных объемов РАО, для которых необходимо «резервировать» места в пунктах захоронения, по большей части еще не созданных.

К началу 2010-х годов достигла пика проблема накопления ОЯТ и операционных РАО атомных станций и ряда других объектов. Особенно остро она стояла для отработанного ядерного топлива реакторов РБМК, составляющих большую часть образовавшегося ОЯТ в России. К этому времени емкость пристанционных хранилищ ОЯТ РБМК была практически исчерпана, переработка таких ОЯТ (сокращающая их объем и в чем-то «улучшающая» состав отходов) не осуществлялась, а централизованного хранилища для них не было. Мало того: слишком долгое хранение таких сборок в воде (некоторые реакторы РБМК относятся к старейшим ныне действующим) привело к нарастающей проблеме их коррозии, разрушения оболочек твэлов, удерживающих радиоактивные вещества. Это было чревато утечкой таких веществ (нуклидов) в хранилища и затрудняло любые операции с ОЯТ. К этому следует добавить, что в силу особенностей реакторов РБМК, темпы накопления их ОЯТ превышают скорость образования облученного топлива всех остальных типов российских реакторов вместе взятых. То есть, если бы ситуация не менялась, пришлось бы останавливать некоторые атомные станции, что могло дестабилизировать энергоснабжение ряда промышленных районов европейской части России.

Аналогичная проблема, но гораздо меньшего масштаба, возникла с ОЯТ четырех «маленьких», уникальных реакторов ЭГП-6 действующей Билибинской АЭС на Чукотке: отработавшее топливо этого типа никогда не вывозилось с площадки, хранилище было переполнено. Кроме того, отсутствовал вывоз и переработка ОЯТ двух давно выведенных из эксплуатации реакторов АМБ на Белоярской АЭС на Урале. ОЯТ ряда судовых реакторов также не перерабатывались, что требовало их хранения в течение неопределенного времени. Такая же ситуация наблюдалась на площадках некоторых исследовательских центров (НИИАР в Димитровграде, ФЭИ в Обнинске), хранилища которых были заполнены на 98–100%.

В довершение всего, хранилища операционных РАО на атомных станциях (неизбежно образующихся в процессе эксплуатации АЭС) также приближались к предельному заполнению. При этом до последнего времени в России отсутствовали оборудованные по современным стандартам объекты централизованного захоронения радиоактивных отходов высокой и средней активности.

Несколько лучше было положение с хранением ОЯТ реакторов ВВЭР-1000. Их переработка тоже не осуществлялась, однако на Горно-химическом комбинате с середины 1980-х годов действовало централизованное хранилище «мокрого» типа (отработанное топливо хранится в воде), куда свозились отработавшее топливо с российских и отчасти зарубежных станций. Однако к нынешнему десятилетию это хранилище настоятельно требовало модернизации, а его емкость к 2010 году была исчерпана.

Помимо переполненности хранилищ, их защитные барьеры, препятствующие радиационному загрязнению окружающей среды, за многие десятилетия ослабевали, инфраструктура ветшала. Все больше стали проявляться

издержки длительного «мокрого» хранения ОЯТ: отработавшее топливо различных типов подвергалось коррозии, оболочки твэлов теряли герметичность, что приводило к радиоактивному загрязнению воды в хранилищах, увеличивало риски утечек в окружающую среду и вело к росту стоимости необходимых контрмер. Проблема появления нарастающего количества дефектных ОЯТ коснулась отработанного топлива реакторов самых разных типов: некоторых энергетических, промышленных, исследовательских, судовых.

Несколько иначе обстояло дело с ОЯТ реакторов ВВЭР-440, реакторных установок на быстрых нейтронах и некоторых других: такие ОЯТ долго не хранились, а перерабатывались. Наибольшая доля подлежащих переработке ОЯТ приходилась на отработанное топливо ВВЭР-440. Из полученного в результате процесса переработки регенерированного урана делалось, в основном, топливо реакторов РБМК; в ограниченном масштабе регенерат применялся и для фабрикации топлива ВВЭР. То есть критического накопления ОЯТ ВВЭР-440 не происходило, более того, Россия утилизировала, помимо своего, еще и отработанное топливо некоторых зарубежных реакторов этого типа.

Положение в сфере бэк-энда долгое время осложнялось тем, что стратегия обращения с РАО, применявшаяся в СССР, а затем и в России до середины 2000-х годов, сводилась к откладыванию окончательных решений: она предусматривала временное хранение большей части РАО и ОЯТ (преимущественно на площадках их возникновения) и допускала создание объектов окончательной изоляции лишь в неопределенном будущем. Задачи радикального, системного решения вопросов ядерного наследия и строительства могильников в России не были закреплена в обязательных к исполнению

программных документах и тем более — на уровне законодательства. В этом отношении наша страна несколько отставала от некоторых государств (таких как Франция, Финляндия, Швеция), давно реализующих ряд передовых проектов обращения с ОЯТ и РАО и планирующих строительство пунктов их геологического захоронения. Однако с начала нынешнего десятилетия «Росатом» стал довольно быстрыми темпами наверстывать упущенное.

ЧТО СДЕЛАНО

Положение начало меняться во второй половине 2000-х годов. В июле 2007 года, за несколько месяцев до учреждения Госкорпорации, правительство приняло разработанную в ведомстве Кириенко Федеральную целевую программу «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (далее ФЦП ЯРБ 2008–2015). Программы, касающиеся бэк-энда, утверждались и раньше, однако принципиальные сдвиги в этой сфере начались именно в ходе реализации этой ФЦП и других последовавших за ней документов.

Основные цели ФЦП ЯРБ 2008–2015 заключались в том, чтобы стабилизировать ситуацию на объектах ядерного наследия и устранить риски возникновения на них тяжелых аварий; создать современную нормативно-правовую базу и инфраструктуру в сферах обращения с РАО, ОЯТ и вывода из эксплуатации; сформировать механизмы гарантированного финансирования текущих и будущих проектов обращения с ОЯТ и РАО и вывода из эксплуатации ЯРОО.

Для достижения этих целей в годы реализации программы был решен ряд важнейших задач.

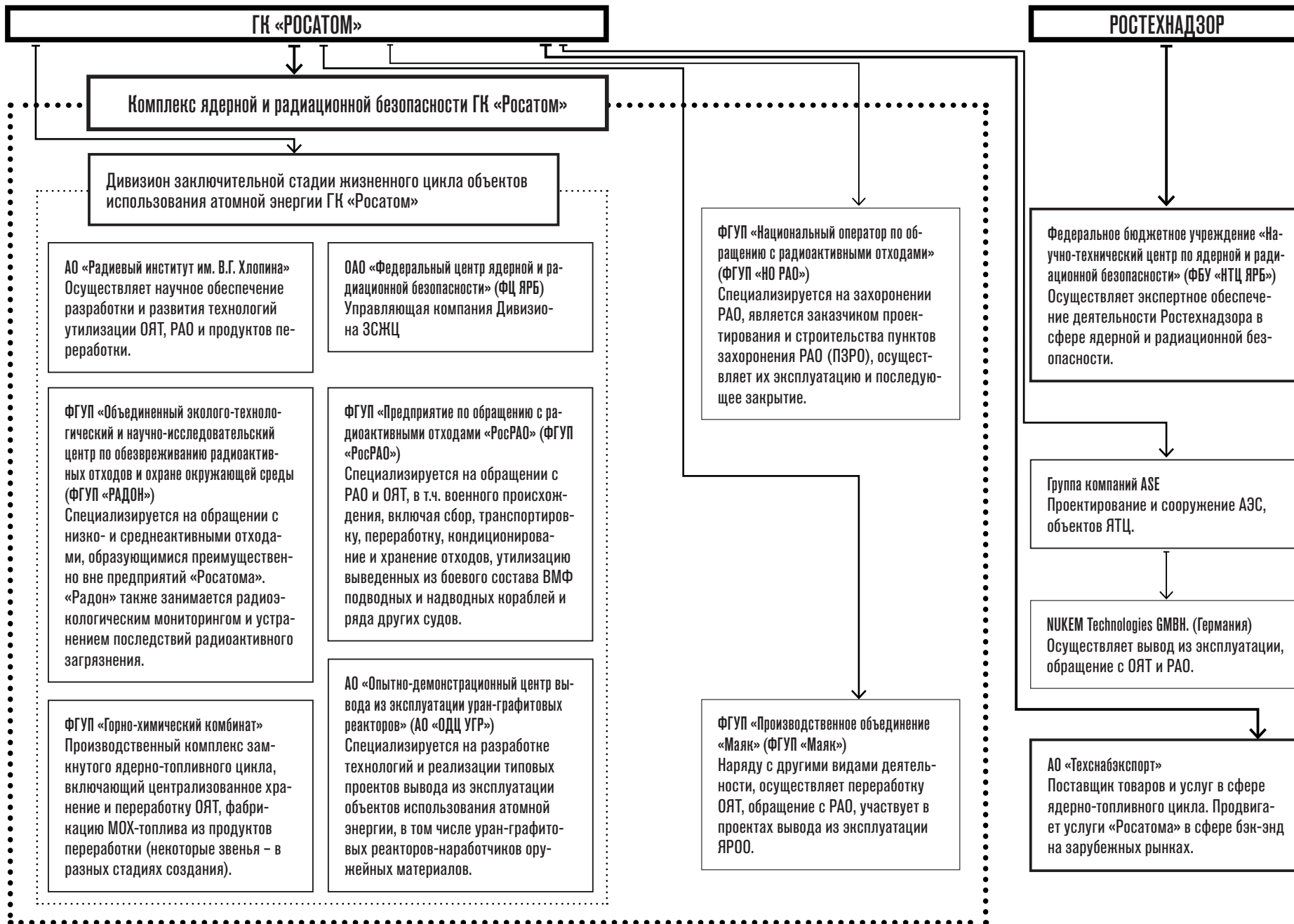
В июле 2011 г. был принят федеральный закон №190 «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Если раньше вопросы ядерного

наследия, обращения с ОЯТ и РАО, вывода из эксплуатации ЯРОО регулировалась разрозненными документами разных ветвей и органов власти, принимаемыми «от случая к случаю», то теперь, впервые в истории постсоветской России, был заложен законодательный фундамент, на котором должна строиться вся деятельность в сфере обращения с отходами. Закон и принятые во исполнение его нормативные акты установили общепринятую классификацию отходов, регламентировали порядок обращения с РАО разных видов и категорий, распределили ответственность за такую деятельность и определили основные источники ее финансирования, введя экономические механизмы, создающие предпосылки для развития в дальнейшем коммерческих отношений в этой сфере и т.д. Закон предписал создать единую государственную систему (ЕГС) обращения с РАО и установил конечную цель ее функционирования — обязательное захоронение всех радиоактивных отходов любого происхождения. Порядок и сроки формирования такой системы определило постановление Правительства №1185, принятое 19 ноября 2012 года. Согласно ему, до 2015 года были сформированы нормативные и организационные основы ЕГС, а до 2021 года должна быть создана первоочередная инфраструктура хранения и захоронения РАО.

Для решения задач бэк-энда, «Росатом» выстроил собственную организационную инфраструктуру, ядром которой стал комплекс ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ) Госкорпорации. При этом различные направления в сфере бэк-энда возложены на разные компании и предприятия (см. **Рисунок №1**), которые действуют в сотрудничестве с другими организациями самой Госкорпорации, заинтересованными государственными органами и иными структурами.

Рисунок №1

Организационная и функциональная структура сферы бэк-энд в России



Львиная доля ресурсов и усилий, затраченных в годы реализации ФЦП, ушла на решение проблем ядерного наследия. В этой сфере удалось добиться весьма существенных результатов. В частности, была проведена реконструкция некоторых объектов хранения РАО, надежность которых в случае экстраординарного стечения обстоятельств вызывала наибольшие опасения. В их числе искусственные и естественные водоемы-хранилища РАО и водоемы оборотного водоснабжения при бывших «плутониевых» заводах. Наибольшие риски представляли две такие водные системы, находящиеся на территории комбината «Маяк»: водоем «В-9» (бывшее озеро и болото Карачай) и Теченский каскад водоемов (ТКВ), включающий водоемы «В-3», «В-4», «В-10», «В-11». Оба являются крупнейшими в мире открытыми хранилищами РАО. При этом Карачай, при относительно небольшом объеме (~300 тыс. куб. метров), «лидирует» по суммарной активности содержащихся в нем САО (120 млн. кюри — 70% от всех подобных хранилищ в России), а Теченский каскад содержит относительно «скромные» ~0,36 млн. кюри низкоактивных отходов, однако не знает себе равных в мире по объему РАО в открытом хранении (0,35 кубических километра).

Потенциальный риск Карачая заключался в том, что в случае маловероятных экстремальных смерчей или вихрей в этом районе, радиоактивная вода могла оказаться в атмосфере и выпасть в виде осадков где-нибудь в окружающих районах. Для решения этой проблемы была осуществлена засыпка зеркала воды (в 1970-е годы его площадь достигала 36 га), что практически сняло риск радиоактивного заражения региона из-за возможных атмосферных аномалий. Эти работы шли много лет и завершились к концу ноября 2015 года. Кроме того, была усилена гидроизоляция Карачая, препятству-

ющая утечке радиоактивных веществ в природные воды, и создана система из нескольких сотен скважин в районе бывшего озера для мониторинга (наблюдения, контроля) возможных утечек радиоактивности.

Риски Теченского каскада были связаны с возможностью прорыва основной плотины, отгораживающей его от природных водных систем, в случае сильного заполнения в многоводные годы (подобный максимум наблюдался, например, в 2003 году, но не привел к катастрофе) и при аномальных длительных осадках. В этом случае гипотетически мог произойти прорыв барьеров защиты и в зоне затопления оказалась бы территория в 300 квадратных километров с шестью населенными пунктами. К концу реализации программы ФЦП ЯРБ 2008–2015 эта опасность была устранена: плотина значительно укреплена, построены специальные пороги-регуляторы, предотвращающие утечку содержимого Теченского каскада в окружающие природные водоемы. Кроме того, создана система мониторинга, подобная примененной на Карачае.

Аналогичные работы были проведены в отношении хранилищ других комбинатов, где ситуация была в целом несколько менее критичной: в отличие от «Маяка», где первоначальная инфраструктура размещения РАО создавалась в условиях спешки и крайнего дефицита ресурсов первых послевоенных лет, на Сибирском химическом комбинате и Горно-химическом комбинате для изоляции ЖРО принимались более технически подготовленные меры. На этих предприятиях на границе 1950–1960-х годов создавались искусственные хранилища, несколько лучше изолированные от окружающей среды и занимавшие меньшую площадь. В годы реализации ФЦП ЯРБ 2008–2015 подобные объекты на СХК и ГХК также приводились в порядок, например, осуществлялась консер-

вазия бассейнов-хранилищ ЖРО «Б-1» и «Б-2» на СХК, площадь каждого из которых составляет 8 га, а активность — 20–30 млн. кюри.

За последние годы «Росатом» осуществил в сфере бэк-энд крупнейший экологический проект в отрасли

Другим аспектом ядерного наследия, в котором были приняты радикальные меры по наведению порядка, является утилизация кораблей, выведенных из состава флота. Раньше большинство атомных подводных лодок и надводных кораблей ВМФ, гражданских судов на атомном ходу и судов атомного технологического обслуживания (АТО),²⁶ после завершения службы оставались на плаву в принципиально неизменном виде, фактически использовались для хранения РАО, а некоторые АПЛ были затоплены в море. Все это превращало их в плавающие хранилища радиоактивных отходов, не отвечающие современным требованиям. До начала 2000-х годов масштабы утилизации намного уступали масштабам снятия с эксплуатации. Наихудшее положение наблюдалось в 1990-е годы, когда число выведенных из эксплуатации, но неутилизированных атомных плавсредств, прежде всего подводных лодок, быстро возрастало и к концу того десятилетия достигло примерно 140.

Ситуация осложнялась тем, что до конца 1990-х годов за данную сферу отвечало Минобороны, а не орган управления атомной отраслью. Лишь в 1998 году проблема утилизации выведенных из состава ВМФ атомных подводных лодок была возложена на Министерство атомной энер-

²⁶ Суда атомного технологического обслуживания (АТО) - это суда с обычными, неядерными силовыми установками, выполняющие функции по ремонту, перегрузке топлива плавсредств на атомном ходу, транспортировке их ОЯТ, хранения РАО и т.п. Применяются как на военном флоте, так и для обслуживания гражданских атомных судов. Подвергаясь радиоактивному загрязнению, они подлежат выводу из эксплуатации по стандартам объектов использования атомной энергии.

гии. С этих пор ситуация сдвинулась с мертвой точки и стала улучшаться. Наиболее радикальные сдвиги произошли после образования «Росатома» и разработки Госкорпорацией (к 2010 году) новой концепции²⁷ утилизации вооружений и военной техники ядерно-оружейного комплекса, строительства в нынешнем десятилетии необходимой инфраструктуры для разделки судов, кондиционирования и хранения РАО флота, освоения технологий переработки некоторых видов ОЯТ, которые раньше лишь хранились.

В итоге к 2016 году были утилизированы почти все выведенные из состава ВМФ корабли. В отношении подводных лодок, составляющих абсолютное большинство (свыше 200 АПЛ выведены из состава флота), это означает, что их разрезали до трех отсеков (реакторный отсек, включающий один или два реактора с заранее удаленным топливом, а также два отсека по бокам), оставив на плаву в ожидании следующей стадии утилизации, либо подняли из воды с помощью понтонов и отделили один реакторный отсек. После специальной подготовки и окраски, этот реакторный отсек помещается на наземное хранение на срок порядка 70 лет. Когда в результате такого «отстоя» снизится радиоактивность и можно будет без лишних расходов и технических изощрений «подступиться» к реакторной установке для дальнейших работ, последует вторая фаза утилизации, предусматривающая разборку, разрезание отсека, кондиционирование (приведение в форму, пригодную для переработки, транспортировки и захоронения) и окончательную изоляцию полученных в итоге РАО.

²⁷ В отличие от некоторых аспектов ядерного наследия, проблемы бэк-энда флота регулировались отдельной федеральной целевой программой «Промышленная утилизация вооружения и военной техники ядерного комплекса на 2011–2015 годы и на период до 2020 года» и подпрограммой «Промышленная утилизация атомных подводных лодок, надводных кораблей с ядерной энергетической установкой, судов АТО, и реабилитация радиационно-опасных объектов на 2011–2015 годы и на период до 2020 года».

Для проведения ряда таких работ и хранения реакторных отсеков подлодок, а также содержащих РАО и реакторы блок-упаковок надводных судов, «Росатом» построил и оборудовал (при финансовом участии и техническом содействии Германии, Японии, Италии, Норвегии) две площадки: в Сайда-Губе в Мурманской области (центр переработки РАО для утилизации объектов военного Северного флота и ледоколов) и у мыса Устричный в бухте Разбойник на Дальнем Востоке (пункт долговременного хранения реакторных отсеков для Тихоокеанского флота, чьи выведенные корабли составляют около 1/3 от всех). Утилизация атомоходов и концентрация реакторных отсеков на двух площадках позволила освободить акватории некоторых портов и предприятий от списанных «хранилищ РАО на плаву».

Существенные сдвиги произошли и с вывозом ОЯТ с береговых технических баз флота и переработкой некоторых РАО. В этом отношении лидирует Дальний Восток, откуда было вывезено (с конечной целью переработки на комбинате «Маяк») практически все накопленное ОЯТ (23,6 тыс. отработавших топливных сборок) и где были переработаны значительные объемы (свыше 10 тыс. тонн) жидких радиоактивных отходов. Основную массу накопленных ОЯТ Северного флота планируется вывезти в период 2017–2024 гг.; переработка ЖРО в этом регионе также началась позже и отстала от показателей Дальнего Востока. Освоение технологий переработки нестандартных и дефектных ОЯТ (пояснения об этом см. ниже) позволит утилизировать дополнительную часть ОЯТ флота, которые прежде не подлежали переработке.

Другим заметным результатом, связанным с «наследием», стала утилизация радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РИТЭГ) — источников энергии, предназначенных для автономного питания, в течение многих

лет, навигационной и иной инфраструктуры в отдаленных, труднодоступных районах Арктики и Антарктики. Их суммарная активность составляла десятки миллионов кюри. Хотя большинство таких устройств представляли опасность лишь в маловероятных случаях и в локальном масштабе, многие из них остались практически бесконтрольными, что вызывало обоснованные опасения. К 2015 году были собраны все 995 неработоспособных и неиспользуемых РИТЭГ, включая несколько привезенных из Антарктиды и поднятых со дна океана. Большинство их утилизировали, меньшая часть была помещена на контролируемое хранение в ожидании утилизации, и лишь дюжину работоспособных РИТЭГ оставили в эксплуатации на Камчатке. Словом, еще одна застарелая проблема была полностью решена.

Важным результатом новой политики в сфере бэк-энд стало развитие учета и контроля радиоактивных отходов и источников ионизирующего излучения. В частности, в рамках упоминавшейся задачи создания единой государственной системы обращения с РАО было предусмотрено в срок до конца 2014 года провести первичную регистрацию ранее образовавшихся (до вступления в силу 15 июля 2011 года закона «Об обращении с радиоактивными отходами») радиоактивных отходов и мест их размещения. Проведенная, таким образом, инвентаризация позволила получить более достоверную картину распределения радиоактивных отходов и условий их хранения, и отталкиваясь от этого, — планировать дальнейшее развитие инфраструктуры хранения и захоронения радиоактивных отходов.

К сферам, которые были существенно упорядочены, относится и контроль радиационной обстановки. ФЦП ЯРБ 2008–2015 предусматривала создание и развитие территориальных систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования. В начале реализации программы

в стране была лишь одна автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО), а в результате выполнения ФЦП появилось 32 такие системы. Они включают 25 территориальных АСКРО (во всех регионах Российской Федерации, где имеются объекты 1-й и 2-категории опасности) и 7 ведомственных систем, в том числе отраслевую АСКРО «Росатома». Это обеспечило постоянный мониторинг радиационной обстановки на всех ядерно и радиационно опасных объектах 1-й категории. Такая инфраструктура дает возможность оперативного реагирования в случае нештатных ситуаций и позволяет оперативно информировать население о радиационной обстановке. Тем самым обеспечивается прозрачность для общества в этом вопросе, который, в противном случае, нередко служит источником домыслов и манипуляций общественным мнением.

В последние годы были реконструированы и построены новые мощности централизованного хранения ОЯТ, что позволило начать массовый вывоз отработанного топлива и сняло угрозу переполнения хранилищ на отдельных площадках (атомных станций, флота, научных организаций с исследовательскими реакторами и т.д.), где перед этим емкости хранения были исчерпаны, в ряде случаев, почти на 100%.

В соответствии с ФЦП ЯРБ 2008–2015 были введены в эксплуатацию мощности для хранения 44 тыс. тонн ОЯТ, что в сочетании с развитием переработки отработанного топлива и замыканием ядерно-топливного цикла (см. ниже) со временем должно полностью снять проблему накопления ОЯТ. Прирост мощности хранилищ был обеспечен прежде всего за счет двух проектов на Горно-химическом комбинате: реконструкции и расширения действующего «мокрого» хранилища и строительства нового «сухого» хранилища.

Справка №7

«Сухое» хранилище ОЯТ: барьеры на пути радиации

- Конструкция «сухого» хранилища на ГХК предусматривает эшелонированную защиту от утечки радиоактивности:
- 1-м барьером служит сама оболочка твэла.
- 2-м барьером является ампула, в которую помещаются пучки твэлов. Она препятствует выходу за ее пределы любых частиц топлива. При «мокром» хранении подобные частицы могут переноситься жидкостью; при «сухом» методе вероятность переноса многократно снижается.
- 3-й барьер – герметично запаянный пенал, в который помещены ампулы в среде химически пассивной газовой смеси (азот-гелий), препятствующей коррозии.
- 4-м барьером служит гнездо хранения (также герметичное), в которое помещаются пеналы. В гнезде создается пониженное, по сравнению с атмосферным, давление, что позволяет контролировать возможную утечку из пенала и препятствует моментальному выходу газа за пределы гнезда.
- 5-м барьером служит само здание «сухого» хранилища, защищающее от контакта с природными водами, и рассчитанное на маловероятные природные катаклизмы.

Централизованное (предназначенное для ОЯТ с разных АЭС) «мокрое» хранилище было построено в 1980-е годы как часть запланированного на этой же площадке нового завода переработки ОЯТ. Однако завод тогда построен не был, а хранилище принято в эксплуатацию в 1985 году. Ко второй половине прошлого десятилетия его емкость в 6 тыс. тонн приблизилась к исчерпанию (фактически оно было заполнено в 2010 году). Поэтому в 2007–2011 годах была проведена его реконструкция с расширением емкости до 8,6 тыс. тонн и продлением срока эксплуатации на 30 лет. Это позволило продолжить вывоз ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 с площадок атомных станций.

Еще более перспективным проектом стало строительство там же централизованного «сухого» хранилища ОЯТ, общей емкости которого в перспективе (38 тыс. тонн ОЯТ) будет достаточно для размещения всего объема накопленного и образующегося в дальнейшем от-

рабочего топлива РБМК и ВВЭР-1000 — наиболее распространенных видов топлива в современной российской атомной энергетике. Идея создания такого объекта появилась тоже в 1980-е годы; в начале 2000-х годов к этим планам вернулись, однако реальное строительство началось в 2005 году. Первая очередь хранилища вместимостью свыше 8 тыс. тонн была введена в промышленную эксплуатацию фактически в начале 2012 года, а 2-я очередь пущена в конце 2016 года.

Этот объект уникален не только масштабами (крупнейшее в мире «сухое» хранилище), но и применяемыми технологиями: ОЯТ охлаждается воздухом (в т.ч. за счет естественной циркуляции — конвекции — при обесточивании), что в несколько раз удешевляет процесс хранения и устраняет риск подъема температуры,²⁸ возможного при «мокром» хранении в ситуации снижения уровня воды в бассейне из-за аварии (подобная опасность возникла в некоторых бассейнах выдержки ОЯТ во время аварии на японской АЭС «Фукусима-1» в марте 2011 года). В конструкции «сухого» хранилища на ГХК было предусмотрено несколько барьеров на пути утечки радиации (см. Справку №7). При методе «сухого» хранения, использованном на ГХК, практически исключается риск радиоактивного загрязнения грунтовых вод, с которым при «мокром» хранении приходится постоянно считаться. Ко всему прочему, в «сухом» хранилище нет такой коррозии топлива, как при его хранении в бассейне.

Таким образом, «Росатом» успешно реализует одну из своих важнейших задач в сфере бэк-энд: переход от «мокрого» хранения к более эффективному «сухому»²⁹.

²⁸ Отработавшее топливо, выгруженное из реактора, продолжает выделять тепло, убывающее со временем. Однако и спустя годы твэлы требуют теплоотвода. Для его организации необходимы немалые энергозатраты, учитывая большие объемы ОЯТ в хранилищах.

²⁹ «Мокрая» выдержка ОЯТ остается неизбежной в первые несколько лет после извлечения облученного топлива из реактора. Выгруженное топливо должно помещаться в бассейн выдержки, входящий в состав

По мере ввода новых мощностей централизованного хранения начался массовый вывоз ОЯТ с некоторых площадок, в том числе и решение наиболее критичного вопроса — разгрузки пристанционных хранилищ АЭС с реакторами РБМК. Систематический вывоз этого отработавшего топлива для размещения в «сухом» хранилище начался с февраля 2012 года, и к концу реализации ФЦП ЯРБ 2008–2015 удалось существенно разгрузить хранилища Ленинградской и Курской станций, где до этого ситуация была особенно сложной.

Перечисленные выше стратегические, программные документы, принятые за последнее десятилетие, подразумевают значительное расширение переработки ОЯТ в России. Это означает, что со временем через эту стадию ядерно-топливного цикла будут проходить все текущее ОЯТ (выгружаемое из реакторов), а также накопленный объем отработанного топлива. По разным причинам (политическим, экономическим и техническим) лишь несколько стран в мире в настоящее время осуществляют в промышленном масштабе переработку ОЯТ «гражданской» атомной энергетике: это Франция, Россия, Великобритания и Индия. В перспективе к этому перечню планируют присоединиться Япония, Китай и (при условии снятия внешнеполитических препятствий) Южная Корея, в то время как Великобритания может, наоборот, покинуть этот список. К важнейшим задачам, которые решались в последние годы в России в данной сфере, относится создание и внедрение промышленных технологий, позволяющих перерабатывать те виды ОЯТ, которые прежде помещались на хранение, фактически, на неопределенный срок. Подобные технологии создаются на комбинате «Маяк» и ГХК.

энергоблока АЭС, в среднем примерно на три года. Для дальнейшего хранения на многих АЭС мира существуют пристанционные «мокрые» и «сухие» хранилища, а также (реже) централизованные хранилища. В России для длительного «сухого» хранения будет использоваться построенное централизованное хранилище общепромышленного значения.

На «Маяке» проводится реконструкция единственного в России действующего радиохимического завода РТ-1, предназначенного для переработки разных типов ОЯТ. На этом предприятии создаются мощности, позволяющие перерабатывать новые виды отработанного топлива и увеличить объем производства (при прежней мощности порядка 400 тонн/год, завод в предыдущие годы снижал переработку до 100–140 т/г.; в последние годы она превысила 200 т/год). В результате реконструкции были, в частности, созданы универсальные мощности, способные перерабатывать разные типы ОЯТ, что недоступно ни одному подобному предприятию в мире. С точки зрения стратегии развития переработки в России первоочередное значение имеет вовлечение в этот процесс ОЯТ реакторов ВВЭР-1000, накопленные (порядка 6,5 тыс. тонн) и текущие (~200 тонн) объемы которого занимают второе место после отработанного топлива реакторов РБМК. Первая партия ОЯТ ВВЭР-1000 поступила на «Маяк» для переработки в декабре 2016 года.

Помимо этого, на комбинате «Маяк» достигнуто еще несколько важных результатов в сфере переработки. Во-первых, освоены технологии переработки ОЯТ, имеющие различные дефекты, обусловленные в том числе коррозией, возникшей из-за «мокрого» хранения в течение многих десятилетий. В мировой практике переработка такого топлива, как правило, не осуществляется из-за технических трудностей и дороговизны. Однако в России утилизация подобного ОЯТ важна: при начавшемся массовом вывозе отработанного топлива РБМК с площадок атомных станций дефектные сборки РБМК необходимо утилизировать. В результате освоения новых технологий, «Маяк» теперь сможет перерабатывать несколько десятков тонн такого топлива ежегодно, что

примерно соответствует требуемому объему (доля дефектных отработавших тепловыделяющих сборок не превышает 5%).³⁰

Другой вехой в данной сфере стало освоение на комбинате «Маяк» переработки отработанного уран-бериллиевого топлива советских атомных подводных лодок уникальных проектов (705 и 705К или Alfa по классификации НАТО), относившихся к числу самых быстрых в истории флота. На этих субмаринах применялись не имеющие аналогов в мире реакторы на промежуточных нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем, топливо которых также было непохоже на используемые виды в ядерных энергетических установках других лодок. Операции с отработавшим топливом этой серии не осуществлялись со времени демонтажа первых таких реакторов в конце 1980-х годов, причем, в отличие от положения с рядом других атомных лодок, ОЯТ из реакторов не выгружалось десятилетия. В 2014–2015 годах на «Маяке» была освоена технология переработки такого рода топлива.

Так же на ПО «Маяк» к концу 2016 года осваивалась в опытном режиме переработка другого «нестандартного» ОЯТ — двух первых, сходных между собой по типу, реакторов АМБ Белоярской АЭС. Речь идет о реакторах одной из первых разновидностей в истории советской атомной энергетики, которые были пущены в 1960-х годах, выведены из эксплуатации до 1990 года и больше не строились. Отработавшее топливо хранилось в пристанционных хранилищах. Его переработка требовала адаптации существующих мощностей к обращению с нестандартным ОЯТ (например, сборки длиной 14 метров даже не помещались в хранилище на «Маяке» и на такое

³⁰ В рамках программ, предусмотренных ФЦП ЯРБ 2008–2015, переработано в общей сложности около 84 тонн ОЯТ, из них 22 тонны приходится на дефектные ОЯТ РБМК

топливо не было рассчитано оборудование). Учитывая относительно небольшой объем отработавшего топлива от небольших, по современным меркам, реакторов (мощностью 100–200 МВт), переделка под него перерабатывающих линий была нецелесообразна. Реконструкция комплекса переработки ОЯТ, осуществляемая на «Маяке» в нынешнем десятилетии, позволила заодно решить и этот вопрос.

В ходе реализации ФЦП ЯРБ 2008–2015 также осуществлялась переработка ОЯТ исследовательских реакторов из ранее переполненных хранилищ при научных центрах (НИИАР в Димитровграде и ФЭИ в Обнинске), что позволило наполовину освободить эти хранилища.

Второй производственной площадкой, с которой связаны перспективы переработки в России, стал Горно-химический комбинат. Здесь началось внедрение технологий следующих поколений (3–4-го), которые позволят обойтись без жидких радиоактивных отходов в качестве побочных продуктов (создавших, как было показано выше, много проблем с ядерным наследием), сократить объем твердых РАО и в перспективе снизить их активность. Сначала в Железногорске создается Опытно-демонстрационный центр (ОДЦ), в котором отработываются новые технологии в относительно небольшом масштабе: был создан пусковой комплекс ОДЦ производительностью 5 тонн в год, а до конца нынешнего десятилетия должен вступить в строй весь центр мощностью до 255 тонн ОЯТ. После полной отработки технологий, на ГХК предполагается строительство промышленного завода по переработке отработанного топлива РТ-2, который начинал строиться еще в советское время. Первая очередь этого предприятия, мощность которой составит 700 т/г, может вступить в строй в 2020-х годах. На РТ-2 предполагается применять в промышленном масштабе

технологии, которые могут не только исключить жидкие отходы (чего добиваются сегодня на ОДЦ), но и оставлять в «сухом остатке» переработки вместо ВАО среднеактивные отходы, подлежащие окончательной изоляции на глубинах до 100 метров. В результате возможно сокращение объема и стоимости захоронения в общенациональном масштабе, отпадет необходимость ввода в строй дополнительных мощностей наиболее дорогого централизованного геологического могильника.

На ОДЦ и РТ-2 планируется переработка разных типов ОЯТ легководных и быстрых реакторов, но в первоочередном порядке будет перерабатываться топливо ВВЭР-1000. Из продуктов переработки будет фабриковаться топливо реакторов на быстрых нейтронах и, возможно, легководных реакторов, о чем подробнее рассказано в разделе о развитии технологий.

В период действия ФЦП ЯРБ 2008–2015 были заложены основы для решения других проблем бэк-энд: вывода из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов и создания инфраструктуры захоронения РАО. В этих сферах уже реализованы первые успешные проекты, но большую часть работы только еще предстоит сделать, о чем рассказано в следующем разделе.

Что касается расходов на «генеральную уборку» в отрасли, то на старте ее обеспечили главным образом средства федерального бюджета: они составили 85% от объема инвестиций, направленных на ФЦП ЯРБ 2008–2015 (свыше 144 млрд. руб.). Такое распределение вполне объяснимо, учитывая два обстоятельства: во-первых, ФЦП была утверждена за несколько лет до принятия федерального закона об обращении с РАО, установившего основы системы финансирования сферы бэк-энд; во-вторых, большая часть РАО и выводимых из эксплуатации объектов проистекают из ядерного наследия,

оставленного государством, так что логично, что первые расходы на «уборку» в атомной отрасли легли именно на госбюджет.

В дальнейшем, по мере устранения проблем ядерного наследия (своеобразного долга государства), стоит задача снизить бюджетные расходы за счет привлечения все большей доли внебюджетных денег в сферу бэк-энд — как с формируемого российского рынка (в конечном итоге от организаций, порождающих радиоактивные отходы), так и из-за рубежа (за счет продвижения услуг российского бэк-энда на внешние рынки). Помимо этих, есть и другие факторы, обеспечивающие постепенное снижение бюджетных затрат на бэк-энд: это развитие новых, более эффективных технологий, а также создание типовых схем, проектов в этой области (ведь штучный продукт всегда дороже, чем серийный).

Некоторая экономия за счет каждого из перечисленных факторов была получена уже по итогам осуществления ФЦП ЯРБ 2008–2015. Благодаря этому сокращение бюджетных ассигнований на программу (примерно на 7% по сравнению с запланированными) не помешало перевыполнить программу почти на 10% — редкий пример в условиях экономического кризиса и роста цен в стране.

ЧТО ПРЕДСТОИТ СДЕЛАТЬ

В ноябре 2015 г. правительство утвердило вторую программу в сфере бэк-энд — ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» (далее ФЦП ЯРБ 2016–2030). Документ предусматривает ликвидацию многих объектов ядерного наследия, с окончательной изоляцией содержащихся в них РАО. Продолжится освобождение локальных хранилищ отработанного ядерного топлива: средние темпы его вывоза с площадок увеличатся на треть, так что в добавление к 29,4 тыс. ОТВС, вывезенным в рамках предыдущей программы, до 2030 года будет удалено с площадок около 83 тыс. сборок. Среди прочего, будет полностью исчерпана некогда наиболее острая проблема хранения ОЯТ реакторов РБМК.

Многokратно возрастет и объем переработки отработанного топлива (в рамках программы он составит около 3,1 тыс. тонн), чему будет способствовать пуск перерабатывающих мощностей нового поколения на ГХК. Благодаря этому объем переработки превысит темпы образования нового ОЯТ, что приведет к постепенной разгрузке хранилищ отработанного ядерного топлива.

Следует особо остановиться на перспективах захоронения радиоактивных отходов. В рамках предыдущей программы были предприняты важные шаги для создания современной инфраструктуры окончательной изоляции (то есть захоронения) радиоактивных отходов. В ре-

зультате проведенной первичной «инвентаризации» РАО, в России было зарегистрировано свыше 800 пунктов хранения радиоактивных отходов. В дальнейшем предполагается не просто окончательная изоляция (захоронение) всех РАО, но и максимально возможная концентрация так называемых удаляемых отходов в ограниченном числе могильников (по объему такие отходы составляют менее 1%, но в их число входят ВАО и некоторые САО, на которые приходится основная доля активности). Для этого требуется создать централизованные пункты захоронения (в региональном или федеральном масштабах), позволяющие собрать значительный объем РАО в одном могильнике вместо десятков мест их прежнего размещения. До недавнего времени в России не было оборудованных по современным стандартам централизованных могильников РАО, имелись, в основном, лишь объекты, отвечающие требованиям временного хранения. После принятия нового законодательства и проведенного первичного учета РАО, были разработаны планы создания в разных регионах страны пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) 3-го, 4-го и 5-го классов (низкого и среднего уровней активности) и одного глубинного пункта для окончательной изоляции отходов 1-го и 2-го классов (ВАО и долгоживущие САО),³¹ куда этих отходы должны свозиться из разных точек страны.

Такой подход соответствует передовой мировой практике: в нескольких странах уже имеются специально построенные ПЗРО для централизованного захоронения НАО и САО, а глубинные (несколько сотен метров) могильники для отработавшего ядерного топлива и «гражданских» высокоактивных отходов нигде не построены,

³¹ Среднеактивные отходы, содержащие изотопы с длительным периодом полураспада. Как правило, опасность таких отходов при хранении очень медленно и незначительно убывает со временем, поэтому один из рациональных способов их нейтрализации – глубинное захоронения.

но в некоторых государствах они планируются (Швеция, Финляндия, Франция, Канада и др.). Отличие российского подхода заключается в намерении размещать в геологическом могильнике высокоактивные отходы, а не ОЯТ. Большинство подобных проектов за рубежом ориентированы, прежде всего (но не исключительно) на размещение всего накопленного в стране объема отработавшего ядерного топлива, поскольку его переработка, как правило, не ведется.

ФЦП ЯРБ 2008–2015 предусматривала, главным образом, подготовительный этап к созданию новой инфраструктуры захоронения РАО. В период действия программы началась реализация ряда таких проектов, но ни один объект не был введен в эксплуатацию. Завершение нескольких первых проектов запланировано ныне действующей ФЦП ЯРБ 2016–2030. Она предусматривает ввод в строй ПЗРО общей емкостью 223,7 тыс. куб метров и размещение в них 176,3 тыс. куб метров отходов.

■ Юрий Поляков Директор ФГУП «НО РАО»

«Нельзя сказать, что с образованием «НО РАО» ситуация сразу и волшебным образом стала меняться к лучшему — так не бывает. Деятельность, которой мы занимаемся, очень инерционная и рассчитана на долгие годы. Но она позволяет переломить тенденцию и не откладывать проблемы наследия на потом. ... Платить предприятиям очень не хочется, применять новые технологии — тоже. Сложно перестроить технологическую цепочку так, чтобы уже привычное временное хранение отходов бросить и упаковывать РАО в контейнеры в соответствии с критериями приемлемости. На это нужно время и средства. Но таков общепринятый процесс, никуда тут не денешься. ... Переходный период

дело долгое. Честно говоря, я с гораздо большим оптимизмом оценивал скорость изменений. На самом деле все дольше и тяжелее».

Первым в России введенным в эксплуатацию объектом такого рода стал приповерхностный пункт захоронения твердых РАО 3-го и 4-го классов в Новоуральске Свердловской области, на территории Уральского электрохимического комбината. В конце 2016 года вошла в строй первая очередь ПЗРО мощностью 15 тыс. куб. метров. После сдачи до 2020 года 2-й и 3-й очередей его емкость может увеличиться до 48 тыс. куб. метров. Пока пункт предназначен для захоронения отходов УЭХК, на территории которого он расположен, но в дальнейшем (при корректировке лицензионных условий) не исключено его использование для РАО других организаций.

К началу 2020-х годов планируется ввести в эксплуатацию первые очереди еще трех подобных объектов для ТРО низкой и средней активности:

- Приповерхностный пункт захоронения радиоактивных отходов суммарной мощностью до 215 тыс. куб. метров в Озерске Челябинской области (на площадке Производственного объединения «Маяк»).
- ПЗРО емкостью до 200 тыс. куб. метров в Северске Томской области (на территории Сибирского химического комбината).
- ПЗРО в Сосновоборском городском округе Ленинградской области. Его первоначальная мощность составит 50 тыс. куб. метров, но в перспективе возможно расширение емкости в несколько раз.

Помимо захоронения удаляемых твердых РАО 3-го и 4-го классов, предполагается окончательная изоляция

жидких отходов 5-го класса (НАО и САО) путем закачки в систему глубоких (несколько сотен метров) скважин. Подобные пункты глубинной закачки действуют с 1960-х годов на площадках СХК, ГХК и НИИАР.

Наиболее дорогим и сложным среди планируемых объектов станет централизованный пункт глубинного захоронения ВАО и долгоживущих САО, который предполагается построить в районе Железнодорожского района Красноярского края. Основные помещения могильника разместятся на глубине порядка 500 метров в монолитных скальных породах Нижне-Канского массива, превосходящих по плотности гранит в полтора-два раза. Объект будет рассчитан на размещение 155 тыс. куб. метров РАО 2-го класса и 4,5 тыс. куб. метров отходов 1-го класса, что сопоставимо с объемом таких отходов, накопленных в России (см. Справку №6). Строительство этого объекта планируется ближе к 2030-м годам.

Пункт захоронения будет представлять собой систему вертикальных шахт и горизонтальные горных выработки (туннелей, помещений для отходов и т.д.), в которых планируется размещать предварительно остеклованные³² РАО, помещенные в специальные контейнеры. Радиоактивные отходы будут изолированы от окружающей среды многочисленными барьерами, которые сделают их «утечку» в биосферу практически невозможной в течение тысячелетий.

Согласно принятой мировой практике и рекомендациям МАГАТЭ, строительство таких объектов предусматривается созданием подземных лабораторий, в которых в уменьшенном масштабе моделируются и подробно изучаются условия размещения радиоактивных отходов

³² Высокоактивные отходы обычно переводят в твердую форму и в высокотемпературных печах «сплавляют» со специальным стеклом (алюмофосфатным, боросиликатным и др.). Такие стекла весьма устойчивы к радиации, температурам, химическим воздействиям, что служит вспомогательным условием для изоляции ВАО от окружающей среды.

в будущем хранилище. Нередко эти лаборатории обу-
страиваются в том же месте, что и предполагаемый мо-
гильник. Подобную подземную исследовательскую ла-
бораторию (ПИЛ) предполагается построить к середине
2020-х годов в Нижне-Канском массиве. В этом объек-
те стоимостью до 30 млрд. рублей будут воплощены ос-
новные конструктивные элементы будущего большого
могильника: система вертикальных шахт и горизонталь-
ных выработок на глубинах до 525 метров. ПИЛ позволит
проверить возможность окончательной изоляции РАО
в реальных условиях и, при необходимости, доработать
проект полномасштабного пункта захоронения.

Помимо сооружения новых ПЗРО, аналогичный ста-
тус должны получить некоторые объекты, которые из-
начально не отвечали современным требованиям для
захоронения РАО, но в результате определенной ре-
конструкции будут приведены в соответствие с новыми
стандартами. Такой принцип предполагается применять
в случае отходов главным образом средней, низкой или
очень низкой активности, удаление которых нереаль-
но по техническим, экономическим или соображениям
безопасности (допустим, транспортировка сопряжена
с большими рисками, чем захоронение на месте). Такие
РАО составляют 99% объема всех накопленных ради-
оактивных отходов. Применение данного подхода рас-
сматривается в отношении крупнейших водоемов-храни-
лища жидких отходов, промышленных уран-графитовых
реакторов, хвостохранилищ уранодобывающих предпри-
ятий³³ и т.д.

ФЦП ЯРБ 2016–2030 предусматривает развитие пе-
реработки РАО, в частности, строительство шести цен-
трализованных региональных комплексов переработки

³³ В такие хвостохранилища помещаются отходы процесса добычи урана, имеющие очень низкую степень активности.

радиоактивных отходов, благодаря чему значительные
объемы РАО будут готовиться к окончательной изоля-
ции. Все перечисленные меры позволят добиться того,
что темпы захоронения радиоактивных отходов превы-
сят темпы их текущего образования (сегодня это 1,5–
2 млн. тонн в год), а значит, объем хранения радиоак-
тивных отходов начнет убывать.

Еще одной сферой бэк-энд, которая сдвинулась
с мертвой точки в последние годы, стал вывод из экс-
плуатации ядерно и радиационно опасных объектов.
В ходе реализации ФЦП ЯРБ 2008–2015 было выве-
дено из эксплуатации 53 из более чем 180 таких объ-
ектов; ныне действующая ФЦП ЯРБ 2016–2030 пред-
полагает вывод 82 объектов. К наиболее серьезным
проблемам в этой области относится вывод крупнейших
ЯРОО, таких как энергетические (АЭС) и промышлен-
ные реакторы. В мировой практике подобные объекты
очень редко доводятся до стадии полного демонтажа
реакторной установки менее чем за 10–15 лет: напри-
мер, полный «снос» АЭС продолжается, как правило, во
много раз дольше, чем ее строительство.³⁴ Для неко-
торых типов ЯРОО, прежде всего реакторов с графит-
товым замедлителем, завершающая стадия вывода из
эксплуатации нередко откладывается на сроки поряд-
ка 50–100 лет и более. Это объясняется, в частности,
сложностью утилизации больших масс графита (обыч-
но 1–4 тыс. тонн в одном реакторе), значительная часть
которого за годы эксплуатации превращается в дол-
гоживущие САО, насыщенные опасным для биосфе-

³⁴ Этот срок включает операции по удалению топлива и многолетнюю консервацию объекта (сохранение под наблюдением) с целью естественного снижения активности конструкций реакторной установки, что позволит в дальнейшем осуществить демонтажные работы в зоне реактора. Сроки приведения всей площадки к состоянию, когда она снимается с ядерного надзора (то есть становится безопасной для промышленного или иного использования) могут быть сокращены для некоторых больших реакторов, но это сильно удорожает процесс вывода из эксплуатации. Отдельные прецеденты такого рода были в Германии, США и ряде других стран.

ры изотопом углерод-14. Подобная проблема знакома, в том или ином масштабе, целому ряду стран (Великобритании, США, России, Франции, Китаю, Японии, Испании, Италии), и до сих пор она нигде не решена исчерпывающе.

Вот почему выработка типовых подходов к выводу из эксплуатации крупных ЯРОО в России стала одной из важных задач прошлой и ныне действующей программ в сфере бэк-энд. Одним из примеров служит подход к выводу промышленных уран-графитовых реакторов, проработанный в деталях АО «ОДЦ УГР» в сотрудничестве с другими организациями «Росатома». В 2015 году эта компания Дивизиона ЗСЖЦ «Росатома» (см. **Рисунок №1**) впервые применила данный подход на практике: вывела из эксплуатации промышленный уран-графитовый реактор ЭИ-2, расположенный на площадке СХК и окончательно остановленный в 1990 году. Суть использованного метода заключается в преобразовании ПУГР в так называемый «пункт консервации особых РАО» за счет демонтажа и дезактивации окружающих реактор конструкций и изоляции самого реактора от окружающей среды (посредством строительных и инженерных работ) на гарантированный срок не менее 1000 лет. Такая схема может быть применена к другим уран-графитовым реакторам: ФЦП ЯРБ 2016–2030 предусматривает вывод семи ПУГР. Все они расположены на площадках закрытых атомных предприятий, на которых, как было показано выше, в любом случае сохранятся пункты изоляции РАО.

С конца 2000-х годов был выведен из эксплуатации ряд других объектов отрасли. Среди полностью выведенных:³⁵ Химико-металлургический завод в Красноярске, Московский завод полиметаллов, Радиевый

³⁵ Полный вывод из эксплуатации (ликвидация) объектов атомной отрасли в мировой практике подразумевает

завод в Татарстане. Также были выведены некоторые ЯРОО на площадках научно-исследовательских комплексов, расположенных в городской черте. Значительное радиоактивное загрязнение ряда объектов в сочетании с близостью к жилой застройке сильно осложняли работы. Примерами служат вывод из эксплуатации и ликвидация централизованного регионального хранилища РАО в Физико-энергетическом институте в Обнинске, исследовательского корпуса «Б» ВНИИНМ им. Бочвара и исследовательских реакторов МР и РТФ, принадлежащих НИЦ «Курчатовский институт» (все перечисленное — в Москве). В этих случаях площадки прошли дезактивацию, старое оборудование было демонтировано, РАО удалены, проведена реабилитация территории. Осуществлялись и другие проекты на некоторых исследовательских площадках: вывод из эксплуатации исследовательских реакторов ТВР в ИТЭФ им. Алиханова (Москва), АСТ-1 в НИИАР (Димитровград), АМ в ФЭИ (Обнинск); вывод критических стенов УГ и ГРОГ в Курчатовском институте.

Тем не менее, как и большинство стран мира, Россия находится лишь в начальной стадии массового вывода из эксплуатации: большинство крупнейших объектов, содержащих наибольшую радиоактивность, предстоит выводить в будущем. Уже окончательно остановлены 6 энергетических реакторов на Нововоронежской, Белоярской и Обнинской атомных станциях и 12 промышленных реакторов (не считая упомянутого ЭИ-2) на ПО «Маяк», ГХК и СХК. До 2030 года к числу окончательно остановленных может присое-

снять с ядерного надзора площадки, с которой предварительно полностью удалены радиоактивные отходы и она приведена в состояние так называемой «коричневой лужайки» (допускается размещение промышленных производств, в т.ч. не атомных) или «зеленой лужайки» — ландшафта, не содержащего значимых следов прошлого использования.

диниться, как минимум, большинство из одиннадцати реакторов РБМК на Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС, четыре реактора ЭГП-6 на Билибинской станции, реактор БН-600 на Белоярской АЭС и, возможно, ряд реакторных установок ВВЭР-440 на Нововоронежской и Кольской АЭС. Также возможен вывод в эти сроки некоторых исследовательских реакторов, среди них крупнейшие ВК-50 и БОР-60 в НИИ-АР. Все перечисленные объекты относятся к наиболее сложным ЯРОО с точки зрения вывода из эксплуатации. К ним следует добавить проекты вывода из эксплуатации в сфере ядерно-топливного цикла, которые предусмотрены ФЦП ЯРБ 2016–2030: это объекты на ПО «Маяк», Новосибирском заводе химконцентратов, Сибирском химкомбинате, Ангарском электролизном химическом комбинате и т.д. Таким образом, в отношении вывода из эксплуатации и захоронения РАО отрасль делает лишь первые шаги на длинном пути, и уже в 2020-е годы объем работы в этой области значительно возрастет и будет увеличиваться по нарастающей. Еще большее ее станет к середине столетия, когда к массовому выводу объектов, составляющих ныне основу атомной энергетики, добавится утилизация более 200 реакторных отсеков атомных подводных лодок и корпусных блоков надводных военных кораблей и гражданских судов, включая свыше несколько сотен реакторов, большинство из которых, как отмечалось, сегодня помещены на долговременное хранение.

Все перечисленные меры, принятые и планируемые в сфере бэк-энд, по существу стали крупнейшим экологическим проектом в атомной отрасли. Если в других вопросах (ядерных технологий, атомной генерации, ядерного топлива и т.д.) можно говорить о том, что «Росатом» успешно возродил, продолжил или раз-

вил начатое до него, то в бэк-энде дело обстоит несколько иначе: созданный с середины 2000-х годов задел в перспективе может перевесить все, что было сделано в этой сфере за несколько предыдущих десятилетий.

АТОМНЫЙ ФЛОТ: НАПРОЛОМ

Используя образ российской атомной отрасли как айсберга, видимую часть которого представляет гражданский сектор, гражданский атомный флот можно охарактеризовать как зримое воплощение российских ядерных технологий в сфере судостроения. Коммерческое, экономически эффективное применение атомного привода — уникальное явление, получившее развитие только в России. За всю историю мировой атомной энергетики вне нашей страны построено только три невоенных атомных судна (по одному в США, Германии, Японии), плававших не более девяти лет, главным образом в щадящих условиях средних и теплых широт. Эти суда выполняли по существу экспериментальные функции и не окупили свою постройку. В СССР, а затем в России, было создано и эксплуатировалось в разные периоды на протяжении почти 60 лет десять гражданских атомоходов — девять ледоколов и одно грузовое судно. Несколько новых ледоколов строится в последние годы. Все российские суда отличаются большей функциональностью и гораздо большей мощностью, нежели зарубежные собратья, эксплуатируются с экстремальными нагрузками, преимущественно в самых суровых условиях арктических морей, однако имеется опыт их применения и в тропических широтах.

В отличие от зарубежных аналогов, которые были по существу демонстрационными плавсредствами, рос-

сийские атомоходы всегда использовались в режиме интенсивной «промышленной эксплуатации» и дали реальный экономический эффект. В связи с этим только в России были не только построены атомоходы, но и создана специальная обеспечивающая инфраструктура, приспособленная для нужд гражданского атомного флота. Иначе говоря, сформировалась особая индустрия.

ОТ ИСТОКОВ

138

США и Советский Союз почти одновременно, в 1950-е годы, стали пионерами атомного судостроения, но только в СССР ядерные двигательные установки получили практическое применение на гражданском флоте. Для этого были объективные причины. Атомные технологии позволяли существенно продлить навигацию по Северному морскому пути, который играл важнейшую роль для экономики и военной сферы Советского Союза. В частности, на Таймыре находилось одно из крупнейших в мире предприятий цветной металлургии — комбинат «Норильский никель», который разрабатывал уникальные рудные месторождения и получал стратегические металлы: никель, медь, кобальт, золото, серебро, а также платину, палладий и другие платиноиды. Норильск не имел (и не имеет до сих пор) дорожно-го сообщения с другими регионами страны, и вплоть до 1960-х годов большую часть года, когда Енисей и арктические моря были скованы льдами, он мог сообщаться с промышленно развитыми районами только авиационным транспортом. Вывоз стратегических материалов, произведенных в Норильске, и поставка в этот район продовольствия, топлива и всего жизненно необходимого (что производить на Таймыре невозможно) происходило только в короткую летнюю навигацию по воде. Ее продолжительность в 1930-е годы, когда возник Норильский комбинат, не превышала 1–2 месяца. Более

мощные морские дизельные ледоколы, которые появились к 1950-м годам, могли продлить навигацию лишь примерно до 3-х месяцев. Между тем, Норильск обладал избытком сырья, способным обеспечить всю экономику страны, а аналогичный ему комбинат «Североникель» в Мончегорске Мурманской области, наоборот, — недостатком сырья. Для увеличения объемов производства в конце 1930-х годов, когда заработали оба комбината, предпринималась попытка выстроить между ними технологическую цепочку, при которой часть добытого в Норильске и обогащенного сырья перевозилась по морям западной Арктики на Кольский полуостров, где из него получали готовые металлы. Короткая летняя навигация делала эту схему крайне дорогой и экономически неэффективной. Однако металлы из норильских руд были абсолютно необходимы в том числе и оборонному комплексу (например, никель был важным компонентом танковой брони), так что об экономике пришлось забыть.

В таких обстоятельствах был построен и в 1959 году начал эксплуатироваться атомный ледокол «Ленин», ставший первым в мире надводным судном с ядерной силовой установкой. Он обладал в кратно большей мощностью, чем современные ему дизельные и паровые ледоколы, и вдвое превосходил их по так называемой ледопроеходимости.³⁶ Но едва ли не главным его достоинством была автономность: «Ленин» мог всю навигацию обходиться без «дозаправки» топливом и имел полугодовую автономность по провианту. Дизельные ледоколы требовали приблизительно ежемесячной заправки большим количеством солярки, что в зимний сезон часто было нереально.

³⁶ Ледокол «Ленин» имел мощность на валах (то есть полезную) 44 тысячи лошадиных сил против максимум 10–11 тысяч для дизельных ледоколов в 1950-е годы и 26 тыс. в 1960-е годы. «Ленин» ломал лед толщиной 1,7 метра и более, тогда как «дизели» до 1960 года преодолевали льды до ~0,8 метра.

139

Таблица №4

Технические параметры атомных ледоколов

	«Ленин»	«Арктика»	«Сибирь»
Тип ледокола	линейный	линейный	линейный
Год ввода в эксплуатацию	1959	1975	1977
Водоизмещение, тыс. т.	19,4	23,5	23,5
Мощность на валах, тыс. л.с.	44	75	75
Ледопробитость до, м	2,0	2,3	2,3
Длина, м	134	148	148
Ширина, м	27,6	30,0	30,0
Осадка, м	10,4	11,0	11,0
Скорость по чистой воде, узлов	18	18	20,6
Автономность плавания (по провизии), месяцев	6	7,5	7,5
Экипаж, человек	170	145	145

Появление нового флагмана ледокольного флота, наряду с созданием новых, мощнейших дизельных ледоколов, позволило уже в 1960-е годы продлить навигацию в западной части Арктики (то есть прежде всего грузое сообщение с Норильском) до примерно полугода, что привело к увеличению грузооборота по Северному морскому пути в течение 1960-х годов в 4 раза. Это позволяло не только вывозить готовую продукцию из Норильска и поставлять туда все необходимое, но и наладить устойчивые перевозки рудного сырья с Таймыра в Мурманскую область и, тем самым, расширить металлургические мощности.³⁷ Продление и расширение навигации по Севморпути помогло наладить устойчивое сообщение не только с низовьями Енисея (портом Дудинка, служившим транспортными воротами Норильска), но и с другими районами Крайнего Севера, где распола-

³⁷ С конца 1940-х годов абсолютным приоритетом военно-промышленного комплекса стал атомный проект. При этом продукция Норильска приобрела дополнительное значение для «оборонки». Например, наиболее распространенная (в первые десятилетия советского атомного проекта) технология обогащения урана – газодиффузионная – требует использования никеля в больших количествах. То есть, налаживая транспортное сообщение с Норильском, атомные технологии помогли не только «оборонке» в целом, но и самой атомной отрасли, в частности.

	«Россия»	«Советский Союз»	«Ямал»	«50 лет Победы»	«Таймыр»	«Вайгач»
	линейный	линейный	линейный	линейный	мелкосидящий	мелкосидящий
	1985	1990	1992	2007	1989	1990
	23,5	23,7	23,7	23,7	20,0	20,0
	75	75	75	75	50	50
	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0
	148	150	150	160	151,8	151,8
	30,0	30,0	30,0	30,0	29,2	29,2
	11,0	11,0	11,0	11,0	8,1	8,1
	20,6	20,6	20,6	20,6	18,5	18,5
	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	140	135	135	135	110	110

гались поселки и военные базы, месторождения полезных ископаемых.

В общем, проект ледокола «Ленин» полностью себя оправдал, и не случайно в 1970-е годы началось создание целого ледокольного флота на атомном ходу. В 1975 году вступил в строй ледокол «Арктика» — головное судно новой серии линейных (океанских) ледоколов. Они были на 70% мощнее «Ленина» (см. **Таблицу №4**), обладали более современной двигательной установкой³⁸ и включали усовершенствования по многим другим параметрам. Спустя пару лет к первенцу второго поколения гражданских атомоходов добавился ледокол «Сибирь», а в 1985 году был построен ледокол «Россия». В короткий период с 1989 по 1992 год вошли в строй сразу пять атомоходов: океанские ледоколы «Советский Союз» и «Ямал», ледоколы с ограниченной осадкой типа

³⁸ Все ледоколы имеют три винта. В отличие от большинства (но не всех) военных кораблей, они приводятся в движение электричеством, вырабатываемым с помощью реакторов. Ледокол «Ленин» первоначально имел три реактора, которые к 1970 году заменили на два. На последующих ледоколах океанского класса устанавливалась пара реакторов. Реакторы способны работать по отдельности, что, среди прочего, обеспечивает страховку на случай выхода из строя одного из них.

«река-море» «Таймыр» и «Вайгач», а также уникальное грузовое атомное судно с ледокольными способностями — лихтеровоз-контейнеровоз «Севморпуть» (см. Справку №8). После этого наступил длительный перерыв в гражданском атомном судостроении: строительство последнего представителя второго поколения этой «элитной касты» — ледокола «50 лет Победы» — затянулось на много лет и было завершено лишь в 2007 году, когда началось оживление всей атомной отрасли.

Как бы то ни было, к началу 1990-х годов сформировался целый флот атомных ледокольных судов. Ледоколы 2-го поколения позволили продлить навигацию в западном секторе Арктики до круглогодичной, а транзит через СМП и плавание в восточной части Арктики стали возможными в течение примерно полугода. Однако в 1990-х, когда флот был самым многочисленным, необходимости в таком количестве ледоколов как раз не было из-за упадка экономики и военно-промышленного комплекса и, соответственно, падения грузооборота в Арктике: к концу 1990-х годов он достиг нижней точки в 1,5 миллиона тонн, то есть снизился в 4–5 раз по сравнению с максимальными объемами, достигнутыми в 1980-е годы. Позже грузопоток стал понемногу оживать, но до середины нынешнего десятилетия оставался намного меньше советского уровня.

На фоне спада потребностей в ледоколах их флот начал таять. В конце 1989 года прекратилась эксплуатация ледокола «Ленин». В середине 2000-х годов вышли на пенсию два первенца второго поколения — «Арктика» и «Сибирь». В 2010 году помещен в отстой «Советский Союз», а в 2013 году прекращена эксплуатация ледокола «Россия». У всех этих судов был исчерпан ресурс, а дальнейшее его продление было лишено смысла на фоне низко грузооборота в Арктике.

ПЕРСПЕКТИВЫ ФЛОТА

После образования «Росатома», в 2008 году в него вошел ФГУП «Атомфлот», ведающий атомными ледоколами, обслуживающей инфраструктурой и базами. В те годы складывалась далеко не лучшая экономическая ситуация в сфере арктических перевозок. Однако в первой половине нынешнего десятилетия обозначились перспективы оживления арктического трафика, что вдохнуло новую жизнь в ледокольный флот. Грузооборот по Севморпути увеличился с 2,8 млн. тонн в 2013 году до 6,9 млн. тонн в 2016 году (3/4 этого объема обеспечили атомные ледоколы, проводящие наиболее крупные суда). Кратно возросло и число проводок. В дальнейшем ожидается ускоренный рост этих показателей. Новые надежды связаны, прежде всего, с освоением месторождений углеводородов в Заполярье, в частности, с крупнейшим проектом «Ямал-СПГ», предусматривающим освоение Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения на Ямале и строительством на побережье Обской губы (куда как раз доходят мелкосидящие ледоколы) завода по сжижению природного газа производительностью 16,5 млн. тонн в год. Только один этот проект способен обеспечить практически удвоение грузопотока по западному сектору СМП. Правда пуск предприятия задержался, что несколько замедлило и темпы увеличения грузопотоков в Арктике. Тем не менее, драматичный рост грузопотока в Арктике стал фактом ны-

нешнего десятилетия, а, следовательно, вновь возникла потребность в расширении ледокольного флота.

Однако стратегия развития этого флота существенно изменилась по сравнению с прошлыми десятилетиями. На фоне резкого провала грузопотока по Северному морскому пути, наибольшая потребность сохранилась в отношении проводок по Западной Арктике, причем особенно в низовьях великих сибирских рек, где океанские ледоколы практически непригодны. Двух мелкосидящих ледоколов порой было недостаточно даже в условиях снижения общего грузооборота. В то же время линейные ледоколы на определенных этапах были недогружены. Дальнейшее развитие проектов в Арктике ведет к росту не только общего грузооборота, но и потребности в проводках в устьях рек. Отсюда прежнее резкое преобладание океанских ледоколов не годится.

Эти соображения предопределили стратегию последующего развития ледокольного флота. «Росатом» решил в среднесрочной перспективе строить универсальные ледоколы, способные осуществлять проводку как в океане, так и в низовьях рек. Это позволит «маневрировать» возможностями флота: справиться со значительно растущим спросом на проводки из речных портов, и в то же время перебросить часть ресурсов на океанские проводки, если спрос на транзит через весь Северный морской путь (от Баренцева моря до дальневосточных морей) возрастет. Поскольку Госкорпорация стремится развивать Северный морской транзит как альтернативу коммерческим маршрутам через Суэцкий канал, уже сегодня «Росатом» планирует следующий, перспективный этап развития флота — создание гигантских ледоколов, способных осуществлять круглогодичную проводку по всему Северному морскому пути крупнотоннажных судов, например, современных супер-

танкеров. Сегодняшние ледоколы не могут гарантировать такую проводку на пике холодного сезона — в течение нескольких месяцев, когда толщина льда в восточной Арктике достигает нескольких метров (обычно сквозные проводки в восточной зоне СМП завершаются к зиме и никогда не осуществлялись позже первых чисел Января). В этот период надежная проводка обеспечивается лишь в западной части СМП, которая пока как раз наиболее востребована.

Справка №8

Севморпуть, да не тот...

- Наряду с ледоколами, в России был построен уникальный лихтеровоз-контейнеровоз «Севморпуть» — крупнейший из когда-либо созданных в мире гражданских атомоходов: его длина составляет 260 метров, а водоизмещение с полной загрузкой — около 62 тыс. тонн, что сопоставимо по видимым размерам с французским атомным авианосцем «Шарль де Голь». Он имеет ледокольный форштевень (носовую часть), что дает возможность преодолевать льды мощностью около 1 метра. Будучи атомным судном с ледокольными возможностями, «Севморпуть» идеально подходит для плавания в холодное время года по СМП за линейным ледоколом. Он может самостоятельно грузить и разгружать с помощью собственного мостового крана как стандартные морские контейнеры, так и лихтеры — по существу баржи весом порядка 450 тонн каждая, которые могут спускаться на воду и буксироваться (судно берет на борт 74 подобных «баржи»). Такое судно способно разгрузиться на рейде, не заходя в порт, что очень практично, например, при доставке грузов к устьям крупных рек или островам.
- «Севморпуть» имеет ряд конструктивных отличий от ледоколов: он оснащен одним реактором, топливо в котором заменяется реже, чем в большинстве ледоколов. Мощность на единственном винте составляет 40 тыс. лошадиных сил. Винт приводится в движение не электричеством, как на ледоколах, а паром.
- «Севморпуть» плавал как в арктических водах, так и в тропиках, в частности, совершал регулярные рейсы в Южную Азию. В 2000-е годы атомный лихтеровоз исчерпал свой назначенный ресурс и в 2007 году был помещен в отстой. До 2013 года его не ремонтировали и одно время собирались вывести из эксплуатации на фоне кризиса грузоперевозок по СМП. Однако оживление арктического трафика придало этому судну новый смысл: его решили использовать для доставки грузов, связанных обустройством российских военных баз и разработкой полезных ископаемых в районах Крайнего Севера. К 2016 году «Севморпуть» прошел капитальный ремонт и его эксплуатация возобновилась, как минимум, до 2030 года.

Такая стратегия потребовала прежде всего продления срока службы наиболее новых действующих ледоколов (в том числе обоих мелкосидящих) до времени, пока вступят в строй планируемые суда. В соответствии с этим к середине нынешнего десятилетия прошли необходимые ремонты и модернизации и были оставлены в фактической эксплуатации два линейных ледокола («Ямал» и «50 лет Победы») и два мелкоосадочных («Таймыр» и «Вайгач»).

Второй задачей новой стратегии стало создание универсальных ледоколов. Подобные ледоколы ЛК-60Я (проекта 22220) были спроектированы Центральным конструкторским бюро «Айсберг», а «ОКБМ Африкантова» создало для них реакторы нового поколения РИТМ-200. Эти реакторы и трансмиссия обеспечивают судну мощность на валах 82 тыс. лошадиных сил, что на 9% превосходит показатели океанских ледоколов 2-го поколения и почти вдвое больше, чем у ледокола «Ленин».

Однако главные преимущества нового ледокола — не в мощности. Это судно может изменять осадку (степень погружения или высоту подводной части) с 10,5 метров до ~8,6 благодаря набору до 8 тыс. тонн воды в особую балластную систему. При первом значении ледокол готов проводить суда в океане, при втором — может плавать и маневрировать в относительно мелководных устьях Енисея и Оби, где местами проведены дноуглубительные работы. Такая конструкция позволит ледоколу самостоятельно проводить суда от начала до конца, без передачи эстафеты, которая сегодня происходит между океанскими и мелкосидящими ледоколами.

Ширина нового ледокола по конструктивной ватерлинии составляет 33 метра, что на несколько метров больше, чем у предшественников. Это принципиальный показатель, который во многом определяет тоннаж про-

водимых судов: ныне действующие океанские ледоколы способны проводить во льдах очень крупные суда (водоизмещением примерно 70 тыс. тонн), однако для крупнейших танкеров этого недостаточно. Интервалы между перегрузками топлива (заменой активной зоны) составит у новых серийных судов порядка 7 лет. Проектный срок службы ледокола проекта «двадцать два двести двадцать» составит 40 лет, что превышает показатели действующих ледоколов с учетом неоднократных продлений.

Головной ледокол новой серии, названный «Арктика» (как и первенец предыдущего поколения) был заложен в ноябре 2013 года. Второе судно — оно же первое серийное — под именем «Сибирь» (как и второй по счету ледокол поколения 1970-х годов) начало строиться в мае 2015 года. В июне 2016 года был спущен на воду корпус первого судна нового проекта, а в июле — заложен второй серийный ледокол под названием «Урал». Первое судно проекта должно войти в строй в 2019 году, два других — в 2020 и 2021 годах.

Для обеспечения круглогодичного сквозного плавания по всему Северному морскому пути и проводки по нему еще более крупных судов, Госкорпорация рассматривает создание ледоколов-гигантов, способных преодолевать льды толщиной порядка 4 метров. Ледокол проекта 10510, получивший условное название «Лидер» будет вдвое мощнее строящихся сегодня ледокольных судов (~160 тыс. лошадиных сил на валах) и вдвое превосходить их по водоизмещению. Он должен быть оснащен двумя перспективными реакторами РИТМ-400 мощностью 315 МВт каждый.

Этот проект может открыть «Росатому» выход на совершенно новые рынки грузоперевозок, в том числе привлечь часть оборота, который сегодня осуществляется

через Суэцкий канал. При этом важны не только расстояния (СМП бесспорно короче многих рейсов через Суэц), но и скорость движения. Пока ледоколы нередко проигрывают африканскому маршруту в скорости. Ледокол «Лидер» сможет не только преодолевать ледяные торосы толщиной в несколько метров, но и уверенно двигаться по двухметровому льду со скоростью порядка 10 узлов проводить крупнотоннажные суда водоизмещением свыше 100 тыс. тонн. Разработка технического проекта этого ледокола в ЦКБ «Айсберг» должна завершиться до 2018 года, а строительство головного судна возможно до середины 2020-х годов.

В общем, ситуация в атомном флоте отличалась от положения в отрасли своей спецификой. Как и весь атомный комплекс, флот пережил упадок, длившийся примерно полтора десятилетия. Однако начало 1990-х ледокольный флот встретил наполовину обновленным, с пятью абсолютно новыми судами и одним строящимся. До последнего времени не возникало необходимости наращивания «производственных мощностей». Однако в нынешнем десятилетии ситуация стала меняться на глазах: обветшание давно построенных ледоколов и взлет грузооборота в Арктике потребовали срочного обновления флота. Оно стало осуществляться хорошими темпами, и если все проекты будут реализованы, то в 2020-х годах ледокольный флот сможет превратить Арктику в новый Шелковый путь.

MADE in ROSATOM: ОТ «А» до «Я»

В 1990-е годы Россия в значительной степени утратила возможности эффективно и качественно строить атомные станции и серийно производить основное оборудование для них. Предприятия, сохранившие те или иные компетенции в этих сферах, оказались в основном за пределами отрасли и либо постепенно сменили профиль, либо остались в одиночестве на рынке, став монополистами, способными диктовать цены всей отрасли.

■ Александр Локшин

Первый заместитель генерального директора ГК «Росатом» по операционному управлению

«Когда мы принимали целевую программу,³⁹ у нас не было ни атомного машиностроения, ни строительного комплекса. Их пришлось создавать с нуля, но с расчетом как минимум на два блока в год, иначе программа лишалась смысла. При замедлении темпов ввода блоков все эти мощности простаивали бы. Полученный нами объем зарубежных заказов помог компенсировать неизбежные потери внутри страны».

С конца 1990-х годов на протяжении полутора-двух десятилетий, выполняя растущий объем российских

³⁹ Федеральную целевую программу «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007–2010 годы и на перспективу до 2015 года», утвержденную правительством РФ в октябре 2006 года; см. первые разделы книги.

и зарубежных заказов, отрасль медленно восстанавливала способность изготавливать и строить все задуманное и обещанное. Лишь спустя годы после создания «Росатома», уже в нынешнем десятилетии, проблема была в основном решена и обрели свои зрелые очертания два новых мощных комплекса: машиностроительный и проектно-строительный.

ДЕЛАЕМ САМИ

Исторически значительная часть атомного машиностроения напрямую не подчинялась Минсредмашу, но соответствующие предприятия полностью контролировались государством через профильные министерства, что при тогдашнем уровне централизации власти и экономики гарантировало обеспечение атомных проектов необходимым оборудованием. О слаженности работы этой системы свидетельствует процесс строительства атомных станций, который к 1980-м годам был фактически поставлен на конвейер: в стране и за рубежом параллельно возводилось множество АЭС; на некоторых из них энергоблоки принимались в эксплуатацию ежегодно, а темпы ввода ряда объектов приближались к рекордному уровню в истории мировой атомной индустрии.⁴⁰ Такие показатели требовали высочайшей координации проектирования и строительства с работой машиностроительного комплекса.

После распада СССР основные заводы атомного машиностроения постепенно оказались в руках различных негосударственных структур; производство большей части ключевых компонентов реакторной установки было фактически монополизировано группой ОМЗ, подконтрольной «Газпромбанку». Группа в конце концов суме-

⁴⁰ Например, пять из шести блоков Запорожской АЭС были последовательно введены в эксплуатацию в 1985, 1986, 1987, 1988, 1989 годах. Блоки №1 Кольской АЭС и №2 Южно-Украинской АЭС входят в историческую мировую десятку крупных ядерных энергоблоков, построенных и пущенных рекордными темпами – менее чем за 3 года и 10 месяцев от заливки фундамента до ввода в эксплуатацию.

ла сконцентрировать под своим контролем важнейшие предприятия в России («Ижорские заводы» в Санкт-Петербурге) и Чехии (Skoda JS — часть бывшего одноименного производственного объединения), способные выпускать важнейшие компоненты реакторной установки (реакторы, корпуса парогенераторов, компенсаторов давления, и т.д.). В то же время другие аналогичные мощности на территории России достались иным частным структурам, которые практически отказались от выпуска атомного оборудования: наибольшую потерю представлял атомный гигант «Атоммаш», построенный к 1970-е годы как мощнейший универсальный изготовитель оборудования АЭС; после банкротства, он в середине 1990-х достался компании «Энергомаш», был перепрофилирован и на время потерян для атомной отрасли.

Немногом лучше была ситуация в секторе изготовления оборудования турбинного острова,⁴¹ где сохранилось два поставщика: российские «Силовые машины» и украинский «Турбоатом» — оба неподконтрольны «Росатому» и российскому государству. Причем специально созданные для российских блоков ВВЭР тихоходные турбины выпускало только украинское предприятие (турбины этого типа наиболее перспективны, см. раздел о развитии технологий). Похожий монополизм «на микроуровне» — на уровне отдельных элементов АЭС — наблюдался в отношении многих других видов оборудования: нередко жизненно необходимое изделие выпускалось единственным предприятием, и дальнейшая судьба такого производства была непредсказуема (оно могло в любой момент «умереть», как это было в случае с «Атоммашем»). Искать замену на внешнем рынке

⁴¹ Так называют «неядерную» часть атомной станции, основу которой составляет машинный зал, обычно включающий паровую турбину и интегрированный с ней генератор электричества. Эта часть принципиально схожа с оборудованием маззала некоторых крупных тепловых станций, поэтому такое оборудование часто изготавливают те же компании, на тех же заводах, что делают турбины для тепловой энергетики.

в большинстве случаев было нежелательно и не всегда возможно.

Из-за высокой монополизации рынка сторонними, негосударственными компаниями «Росатом» не мог влиять на условия поставки значительной части оборудования атомных станций. Такое положение привело к неоправданно высоким ценам на «начинку» АЭС. Кроме того, на фоне возрастающих объемов строительства АЭС российских конструкций в стране и за рубежом, возникла угроза нехватки мощностей для выпуска оборудования. Ведь предприятия ОМЗ в то время могли изготавливать не больше одного-двух комплектов оборудования ядерного острова, что было недостаточно для экспансионистских планов «Росатома». Кстати, начальный период оживления российских атомныхстроек был отчасти обеспечен оборудованием, произведенным еще в 1980-е годы и лежавшим «в запасниках» (например, это относилось к Ростовской и Калининской АЭС).

Все перечисленные обстоятельства мешали своевременной реализации атомных проектов в России, создавали риски невыполнения обязательств Госкорпорации по зарубежным контрактам. Для решения сложившейся проблемы еще в процессе создания «Росатома» началось формирование собственного машиностроительного комплекса атомной отрасли. Он стал складываться вокруг компании «Атомэнергомаш», созданной в 2006 году и вскоре вошедшей в состав новообразованной Госкорпорации. Формируемый машиностроительный комплекс постепенно включал все новые активы, в том числе российскую компанию «ЗИО-Подольск» в Московской области (которая изготавливала прежде всего парогенераторы в сборе на основе комплектующих от смежников), украинскую

«Энергомашспецсталь» в Краматорске (производившую крупнотоннажные поковки, обечайки для корпусов давления),⁴² «Петрозаводскмаш» в Карелии (начавший в 2011 г., после перепрофилирования и реконструкции производства, выпускать компоненты основного оборудования АЭС). Наконец, с 2012 года «Росатом» получил фактический контроль над «Атоммашем»⁴³ в Ростовской области, где постепенно восстановил и реконструировал значительную часть производства, сделав это предприятие основным в своем машиностроительном комплексе: «Атоммаш» стал выпускать почти весь спектр основного оборудования реакторной установки (первый, после длительного перерыва, реактор был изготовлен в 2015 году).

■ Кирилл Комаров

Первый заместитель генерального директора ГК «Росатом»

«Когда конкуренцию мы организовать, по тем или иным причинам, не могли, путей у нас оставалось два:

Либо мы стремились приобретать действующее предприятие — причем в нашей логике оно становилось на первых порах не «центром прибыли», а «центром затрат», то есть основной задачей для него было работать над снижением себестоимости продукции. Таков был опыт, например, ЗиО «Подольск».

Либо, когда приобретение было невозможным или слишком дорогим, мы пытались организовать такое же

⁴² Повокки — крупные стальные заготовки, используемые для производства оборудования реакторной установки. Обечайки — кольцеобразные элементы, из которых сваривают корпуса реактора, парогенератора и т.д. Обечайка новейшего российского реактора ВВЭР-ТОИ достигает 4,5 метров в диаметре и 6 метров в высоту. Корпуса давления — замкнутые, толстостенные емкости цилиндрической формы и большого объема, рассчитанные на высокое давление (например, ~160 атмосфер в первом контуре реактора ВВЭР-1200 при нормальных условиях) и составляющие основу корпусов реактора, парогенераторов и других элементов реакторной установки.

⁴³ «Петрозаводскмаш» и «Атоммаш» стали филиалами инжиниринговой компании «АЭМ-технологии» — дочерней структуры «Атомэнергомаш».

альтернативное производство — например, как в Петрозаводске. Жизнь показала: все затраты на покупку активов или организацию параллельных технологических линий оказались в разы меньше экономического эффекта, который мы немедленно получали за счет снижения цен на рынке».

Помимо названных заводов в России и на Украине, «Атомэнергомаш» обзавелся предприятиями в Венгрии, Чехии, Словакии. Кроме того, в 2007 году «Атомэнергомаш» создал совместную компанию с энергетическим дивизионом французской Alstom (позже перешедшим под контроль американской General Electric), для оснащения тихоходными турбинами типа «Арабель» будущих энергоблоков ВВЭР-ТОИ.⁴⁴

Все это радикально изменило ситуацию на рынке атомного машиностроения.

Во-первых, демонополизация рынка позволила сбить и удерживать цены на многие виды основного оборудования АЭС. Суммарная экономия от этого фактора при закупках оборудования исчисляется десятками миллиардов рублей.

Во-вторых, в результате создания «Росатомом» собственного машиностроительного комплекса в несколько раз увеличились совокупные производственные мощности изготовления оборудования российских реакторов: к 2015 году они достигли семи комплектов в год. Это дает возможность обеспечить реализацию проектов в России и возрастающий объем заказов на строительство АЭС за границей.

В-третьих, уменьшились риски и повысились возможности долгосрочного планирования, которое крайне важно для производства оборудования АЭС, имеюще-

⁴⁴ Об этих блоках и выборе турбин для АЭС рассказано в разделе о развитии технологий.

го очень длительный цикл изготовления (32–36 месяцев для реактора и парогенераторов).

Помимо выпуска оборудования наиболее «ходовых» реакторов на тепловых нейтронах, «Росатом» стал восстанавливать потенциал изготовления других типов реакторов, что позволило, например, успешно построить и пустить энергоблок с реактором на быстрых нейтронах БН-800 или поставить реакторы РИТМ-200 для строительства новых ледоколов. В отличие

Справка №9

Научная поддержка создания атомной техники

- При разработке атомных технологий конструкторское бюро служит, образно говоря, второй ступенью, первой же являются научные организации. Стратегия «Росатома» не предусматривает контроль над институтами фундаментальной науки, то есть организациями, которые заняты теоретическими изысканиями, практическая отдача от которых появится в непредсказуемые, как правило, длительные сроки. Это отчасти согласуется и с практикой времен Минсредмаша, при котором фундаментальное научное обеспечение атомной отрасли осуществлялось преимущественно институтами Академии Наук СССР.
- Сегодня научное обеспечение разработки многих реакторных установок также возложено, в основном, на структуры, не подчиненные «Росатому», прежде всего Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (головная организация которого является научным руководителем при разработке, например, большинства реакторов АЭС) и подчиненный ему Институт теоретической и экспериментальной физики им. Алиханова (бывший научным руководителем создания тяжеловодных реакторов).
- В то же время АО «ГНЦ РФ ФЭИ им. Лейпунского», обеспечивающее научный фундамент создания реакторов на быстрых нейтронах, подчинено «Росатому» и входит в Научный дивизион Госкорпорации. «Росатом» сохраняет контроль и над некоторыми другими структурами, стоявшими у истоков фундаментальных ядерных исследований в СССР, например Радиевым институтом в Санкт-Петербурге (ныне АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина») — одной из ведущих мировых организаций в сфере радиохимии.

от оборудования энергоблоков ВВЭР, в этих случаях альтернатива собственному производству «Росатома» просто отсутствует.

Одним из залогов успеха машиностроительного комплекса стало сохранение потенциала в сфере разра-

ботки атомной техники, конструкторов оборудования. В частности, в сферу управления Машиностроительного дивизиона «Росатома» вошли три главных конструкторских бюро, проектирующих реакторные установки:

- ОАО «ОКБМ Африкантов», которое является генеральным конструктором практически всех российских судовых реакторов, ряда промышленных уран-графитовых и всех промышленных тяжеловодных реакторов, реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, водо-водяных реакторов ВВЭР и т.д.
- ОАО ОКБ «Гидропресс», создавший конструкции всех реакторов ВВЭР и концептуальный реактор на быстрых нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем СВБР-100; разрабатывающий теплообменное оборудование для реакторов на быстрых нейтронах; принимавший участие в проектировании ряда судовых реакторных установок и т.д.
- АО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала», разработавший конструкции реакторов РБМК-1000 и РБМК-1500, некоторых промышленных уран-графитовых реакторов, ряд судовых и космических установок, опытно-демонстрационного реактора на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-300, который планируется построить к середине 2020-х годов в Северске,⁴⁵ и т.д.

Помимо объектов, связанных с реакторостроением, «Росатом» развивал свое производство оборудования для ядерно-топливного цикла (но под крылом профильных компаний этого сектора, а не АО «Атомэнергомаш»). В частности, Госкорпорация, в лице своего дочернего

⁴⁵ О некоторых перечисленных реакторах подробнее говорится в разделах о развитии технологий, ядерной генерации, сфере бэк-энд.

холдинга ТВЭЛ, вернула контроль над производителями газовых центрифуг (ОАО «Ковровский механический завод» и ОАО «ВПО «Точмаш»), развила производство на Уральском заводе газовых центрифуг, создала собственное звено научно-исследовательских и конструкторских разработок в сфере ядерно-топливного цикла, включая центрифужные технологии. В итоге «Росатом» сформировал, среди прочего, полную технологическую цепочку создания и выпуска новых моделей оборудования для обогащения урана — от НИОКР до серийного выпуска.

Таким образом, к середине нынешнего десятилетия «Росатом» создал собственный комплекс из нескольких десятков предприятий, выпускающих полный комплект основного и вспомогательного оборудования АЭС и обеспечивающих ключевыми средствами производства другие секторы отрасли. В сочетании с заводами независимых от Госкорпорации компаний, выпускающих похожую номенклатуру изделий, это создало запас мощностей, который позволяет обеспечить не только строительство атомных объектов в России, но и выполнение растущего объема зарубежных заказов.

СТРОИМ САМИ

В советскую эпоху под эгидой Министерства среднего машиностроения сформировался единый проектный комплекс, ядром которого стал московский проектный институт «Атомтеплоэлектропроект», имевший филиалы в Ленинграде (Санкт-Петербург), Горьком (Нижний Новгород) и Украине. К середине 1980-х к этому проектному конгломерату был присоединен еще один мощный проектный институт — московский «Гидропроект», создававший проекты крупнейших гидротехнических и других сооружений. Объединенная структура получила название «Атомэнергопроект». Помимо атомных станций, ее подразделения спроектировали множество других энергетических объектов в стране и за рубежом.

С распадом СССР «Атомэнергопроект» утратил ряд активов, прежде всего филиалы в Киеве, Харькове, Львове. В 2007 году он был разделен на три акционерных общества, образованных на основе центрального подразделения (Московский «Атомэнергопроект»), а также нижегородского и Санкт-Петербургского филиалов, ставших, соответственно, Нижегородской инженеринговой компанией «Атомэнергопроект» (НИАЭП) и Санкт-Петербургским «Атомэнергопроектом» (СПбАЭП). Таким образом, в конце 2000-х годов в отрасли сформировалось три проектных центра, которым также были приданы функции строительства атомных объектов, к чему вернемся чуть позже. Эти три центра проек-

тировали большинство строящихся в России и в мире атомных электростанций российских конструкций. Так, по проектам московского «Атомэнергопроекта» сооружались, сооружаются или планируются в настоящее время Нововоронежская АЭС-II, Курская АЭС-II, АЭС «Аккую» в Турции, АЭС «Бушер» в Иране, АЭС «Куданкулам» в Индии и другие. Проекты СПбАЭП легли в основу Ленинградской АЭС-II, Белоярской АЭС, Белорусской АЭС, Тяньваньской АЭС в Китае и т.д.; по ним же планируется строить АЭС «Ханхикиви» в Финляндии, АЭС «Пакш-II» в Венгрии, АЭС «Эль-Дабаа» в Египте. По проектам НИАЭП возводятся, в частности, блоки Ростовской и Калининской АЭС.

Во времена СССР атомная промышленность также имела собственный строительный комплекс — один из крупнейших и наиболее квалифицированных в стране. Он строил особо ответственные объекты, и не только в ядерной отрасли.

■ Евгений Адамов

Научный руководитель ОАО «НИКИЭТ» и проектного направления «Прорыв»

«Средмашевский строительный комплекс по своей квалификации был уникальным. И строил он не только атомные станции, но и здание Политбюро в Москве, Дом правительства на Краснопресненской набережной [Москвы], уральский комплекс «Игла», в котором работал обком и прочие властные структуры, и многое другое».

В 1990-е годы атомное строительство пострадало больше многих других частей отрасли, и было практически разрушено: утрачены многие квалифицированные кадры и навыки, контроль над рядом ключевых активов

потерян. Все эти явления сказались, когда стало понемногу возобновляться строительство АЭС.

■ Александр Локшин

Первый заместитель генерального директора ГК «Росатом» по операционному управлению

«На первом блоке, строительство которого мы возобновили в 2006 году после длительного перерыва (2-м блоке Ростовской АЭС), мы столкнулись с массой проблем, связанных с необходимостью восстановления строительного и машиностроительного комплексов, обеспечением качества оборудования и работ. Более того, специализированная нормативная база для сооружения АЭС за годы стагнации фактически перестала существовать»

■ Валерий Лимаренко

Президент Группы компаний ASE

«Федеральная целевая программа развития отрасли ... выглядела чистой авантюрой, утопией. «Какое строительство, если промышленность развалена и мы просто не сможем произвести для новых АЭС нужное количество реакторов, парогенераторов, насосов? Технологии утеряны, строительный комплекс полностью развален, производство ушло в частные руки или переделано под другие цели за те годы, пока АЭС в России не строились вообще», — так говорили люди опытные и не понаслышке знающие атомную отрасль. ... Проблема заключалась еще и в том, что мощности проектных организаций на тот момент у нас были очень ограниченными, спроектировать такое количество проектов новых АЭС им было не по силам. Стройкомплекс просто пропал — остались разве что электрики, которым в общем-то безразлично, что строить, — атомную

станцию или тепловую. ...А все, кто занимался спец-монтажом, фактически растворились — уйдя в тепловую генерацию, они потеряли тот опыт, который был связан с особенностями работы на атомных станциях. Не осталось и пусконаладчиков. ...В общем, на месте строительных трестов, которые раньше работали как единый слаженный комплекс и могли печь новые блоки как пирожки, зияла пустота».

В конце 1990-х годов, для исполнения заключенных за рубежом соглашений о строительстве атомных станций («Куданкулам» в Индии, «Тяньвань» в Китае, «Бушер» в Иране), было создано акционерное общество «Атомстройэкспорт», возникшее на базе двух ранее переименованных советских организаций, осуществлявших атомные проекты в других странах — АО «Атомэнергоэкспорт» и Всероссийского производственного объединения «Зарубежатомэнергострой». Однако впоследствии компания «Атомстройэкспорт» оказалась в частных руках, а к середине 2000-х годов контролировалась «Газпромбанком» — в то время дочерней структурой «Газпрома», который заодно собрал под свое крыло основные, сохранившие работоспособность предприятия атомного машиностроения. Через несколько месяцев после того, как Сергей Кириенко возглавил Федеральное агентство по атомной энергии, контроль над «Атомстройэкспортом» был возвращен государству, причем организациям атомной отрасли, а после образования Госкорпорации «Росатом» «Атомстройэкспорт» стал ее частью.

Однако, несмотря на название, эта компания поначалу не располагала достаточными возможностями собственно в строительстве: в Китае и Индии стройки велись в основном местными организациями (Россия

Справка №10

АЭС «Бушер» — вызов российским атомным технологиям

- Строительство АЭС «Бушер» в Иране началось в 1975 г. немецкой компанией KWU на базе ее собственных технологий, внедрявшихся в то время также в Германии и Бразилии. Немцы успели построить часть АЭС, но работы были прерваны к 1979 году Исламской революцией и не возобновлялись два десятилетия, в течение которых сооружения станции деградировали и в 1980-е годы подвергались ударам с воздуха во время Ирано-Иракской войны.
- В соответствии с межправительственным соглашением и договором на строительство АЭС, подписанными в 1992–1995 гг., Россия взялась достроить 1-й блок АЭС «Бушер» на основе реактора ВВЭР-1000 с использованием элементов немецкого энергоблока мощностью 1300 МВт. Это потребовало стыковки совершенно разных технологий, которая осложнялась отсутствием части немецкой технической документации, повреждением ряда немецких конструкций, необходимостью «усиления» проекта из-за высокой сейсмической активности района площадки и т.д. Проект был одним из наименее типичных и сложных в истории атомной энергетики. Станцию достроили в 2010 г. и пустили в 2013 г. После нескольких лет эксплуатации Иран полностью принял АЭС под свою ответственность и заказал России строительство новых энергоблоков «с нуля».

поставляла технологию и саму «начинку» — основное оборудование, осуществляла монтаж и т.д.); «Атомстройэкспорт» до нынешнего десятилетия строил за рубежом по сути лишь в Иране, и этот проект осуществлялся медленно, что, правда, объяснялось не только строительными проблемами, но и особой технической сложностью самого проекта (см. Справку №10) и другими причинами.

По мере строительства и достройки атомных энергоблоков в России (на Ростовской, Калининской, Нововоронежской-II, Ленинградской-II, Белоярской атомных станциях) и сооружения Белорусской АЭС происходило постепенное восстановление строительных компетенций и наращивание активов отраслевого строительного сектора. В то же время осуществлялась его реструктуризация: во второй половине 2000-х годов были сформированы три холдинга атомного строительства (так называемые инжиниринговые компании), во главу которых поставили три атомных проектных института: Нижего-

родский, Московский и Санкт-Петербургский. Помимо них, в качестве основных подрядчиков строительных проектов привлекались некоторые другие структуры, в частности, ООО УК «Уралэнергострой», «Спецстрой».

■ Валерий Лимаренко

Президент Группы компаний ASE

«Я пришел в «Росатом» в 2007 году. Тогда были созданы три инжиниринговых компании, я возглавил одну из них. Первое, что мы начали делать, — это собирать строителей для «Ростова-2». Сначала — «экстенсивным способом», просто приглашая стройорганизации, которые имели опыт в этой сфере, помогая им наращивать свои компетенции и двигаться дальше. А затем уже настало время для качественных скачков, интенсификации, инноваций и прочего, без чего современный инжиниринг в атомной сфере просто немыслим. ...Для меня самые важные вехи в истории «Росатома» — это строительство 2-го блока Ростовской АЭС (первого после периода застоя), ввод в эксплуатацию 4-го блока Калининской АЭС (именно тогда была сформирована оптимальная система закупок и создана система эффективного строительства), а также досрочный энергопуск 3-го блока Ростовской АЭС благодаря внедрению ПСР и системы Multi-D.⁴⁶ Именно так возрождался строительный комплекс «Росатома». На «Ростове-2» он был собран в минимальном виде, необходимом для соблюдения сроков строительства. На «Калинине-4» мы уложились не только в сроки, но и в бюджет. А на «Ростове-3» мы поставили рекорд по снижению себестои-

⁴⁶ ПСР – Производственная система «Росатома» (см. раздел об организационных изменениях в Госкорпорации). Multi-D – применяемая в «Росатоме» инновационная система управления проектированием и сооружением сложных объектов, основанная на использовании многомерного компьютерного моделирования этих объектов и применения цифровых баз данных. Система позволяет эффективно управлять сроками, качеством, финансированием и другими параметрами проектов.

мости киловатт-часа и научились управлять бюджетом. ...К 2011 году можно было сказать, что строительный комплекс восстановлен полностью».

Впоследствии развитие пошло по пути дальнейшей консолидации проектных и строительных организаций вокруг одного из прежних проектных институтов — НИ-АЭП, который сумел показать наибольшую эффективность в реализации строительных проектов. В 2011 году под контроль НИАЭП был передан «Атомстройэкспорт», набравший к тому времени строительного опыта. В октябре 2014 года к этому инжиниринговому холдингу был присоединен московский «Атомэнергопроект», а в декабре 2015 года ему передали значительную часть активов СПБАЭП (получившего новое название АО «Атомпроект»). Таким образом, постепенно сформировался инжиниринговый дивизион «Росатома» на базе новообразованной Группы компаний ASE. Группа управляется головной компанией АО ИК «АСЭ» (созданной на основе НИАЭП). Помимо названных проектных активов, Группа контролирует ряд строительно-монтажных организаций, а также немецкую компанию NUKEM Technologies GmbH, которая занимается выводом из эксплуатации атомных объектов, обращением с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.

ASE осуществляет строительство и (или) проектирование примерно трех десятков энергоблоков на Нововоронежской АЭС-II, Ленинградской АЭС-II, Ростовской АЭС, Курской АЭС, Белорусской АЭС, атомных станциях «Тяньвань», «Бушер», «Куданкулам», «Аккую», «Руппур» и т.д. Таким образом, к середине нынешнего десятилетия в России сформировалась объединенная инжиниринговая группа, способная проектировать и строить параллельно множество крупнейших атомных объектов в стра-

не и за ее пределами. Вкупе с сохранением основных конструкторских бюро и развитием энергомашиностроительного комплекса, Россия во втором десятилетии нынешнего века восстановила едва не утраченную до этого способность воплощать «в металле и бетоне» любые проекты в атомной отрасли, исполнять любые контрактные обязательства на российском и мировом рынках.

ТЕХНОЛОГИИ: ПРОРЫВ

План возрождения атомной отрасли, который появился в период формирования «Росатома» — во второй половине 2000-х годов, предполагал не просто возобновление масштабного атомного строительства, но и технологическое перевооружение отрасли. В этот период все глобальные поставщики ядерных технологий уже разработали свои конструкции реакторов следующих поколений. Если бы «Росатом» пошел по пути наименьшего сопротивления, продолжив внедрять только проверенные временем реакторы, разработанные в Советском Союзе (прежде всего ВВЭР-1000), это позволило бы сэкономить на НИОКР, несколько сократить стоимость и сроки строительства АЭС и даже получить немало зарубежных заказов (что и произошло),⁴⁷ но в стратегическом плане Госкорпорация начала бы постепенно терять позиции на глобальном рынке.

Поэтому, наряду с внедрением, везде где это целесообразно, добротного реактора ВВЭР-1000 (существен-

⁴⁷ Строившиеся до 2017 года за рубежом энергоблоки российских конструкций основаны именно на реакторе ВВЭР-1000, за исключением сооружаемых в Белоруссии (с реактором нового поколения ВВЭР-1200) и достраиваемых в Словакии (с ВВЭР-440). Существенным достоинством ВВЭР-1000 в глазах потребителей является референтность — наличие практического опыта его применения в десятках экземпляров на протяжении десятилетий без каких-либо серьезных нареканий. Начальный этап продвижения на рынок нового, до этого не применявшегося реактора представляет проблему для всех поставщиков ядерных технологий. По мере апробирования новых разработок (первый ВВЭР-1200 уже начал эксплуатироваться, еще пять войдут в строй в ближайшие годы) их потенциальная привлекательность для потребителей возрастает. Впрочем, сам факт масштабного внедрения новых реакторных технологий в стране поставщика уже «вдохновляет» ряд государств, которые планируют строительство у себя ВВЭР-1200 (Турция, Финляндия, Венгрия, Индия, Египет, Бангладеш и др.).

но модернизированного, как было показано), «Росатом» сделал ставку на создание и внедрение новых технологий. В этом вопросе обозначилось два генеральных направления, которые можно охарактеризовать как эволюционное и революционное.

ЭВОЛЮЦИЯ

Основой эволюционного направления развития технологий атомной энергетики, рассчитанного на ближайшую и среднесрочную перспективу, стало создание новых легководных реакторов разной производительности и типовых энергоблоков на их основе. Хотя у «Росатома» имелось немало принципиально новых разработок в этой области, не похожих на уже используемые технологии, для начала приоритетной задачей стала доработка существующих конструкций, со значительным улучшением их экономических параметров, безопасности и других показателей, а также максимально возможной унификацией оборудования и технологий производства с уже применяемыми аналогами. Стоит заметить, что подобный эволюционный подход распространен и в других ведущих странах-поставщиках ядерных технологий. Например, флагман французских ядерных технологий — реактор EPR, строящийся сегодня во Франции, Финляндии и Китае — разработан на базе двух давно действующих на ряде АЭС конструкций: французской серии реакторов N4 и немецкой реакторной установки Konvoi. Другой пример: новейший южнокорейский реактор APR-1400 создан на основе модели System 80+, разработанной в 1980-е годы американской компанией Combustion Engineering (позже поглощенной конкурентами и прекратившей существование). Еще один пример: основное предложение канадского поставщика SNC-Lavalin — ре-

актор ЕС6 — создан на основе реакторной установки Candu-6, строившейся в последние десятилетия в пяти странах. Подобным же образом эволюционируют ядерные технологии в Китае: новейшие реакторы китайских атомных компаний основаны, главным образом, на заимствованиях из конструкций американских, французских, немецких и других поставщиков. В общем, ядерные реакторы, рассчитанные на работу десятилетиями, долго сохраняют конструктивную преемственность и не могут полностью перелицовываться каждые несколько лет, подобно сравнительно простым, хотя и высокотехнологичным устройствам массового потребления — автомобилям или смартфонам.

В рамках эволюционного направления первоочередной задачей стала разработка водо-водяного реактора мощностью порядка 1200 МВт (ВВЭР-1200) и типового проекта энергоблока на его базе, который должен постепенно стать «тягловой лошадью» российской атомной энергетики, заменив ВВЭР-1000 и РБМК-1000, а также превратиться в перспективное предложение «Росатома» на зарубежных рынках. На деле, однако, сначала было создано два родственных, унифицированных, но все же не идентичных проекта, объединенных под общим названием «АЭС-2006». Первый из них разработан московским «Атомэнергопроектом», второй — Санкт-Петербургским «Атомпроектом». В дальнейшем предполагалось сравнить их на практике и выбрать оптимальные типовые решения.

В 2008 году началось строительство первых в постсоветской России ядерных энергоблоков, сооружаемых «с нуля» (а не достраиваемых, как на Ростовской, Калининской или Белоярской станциях), причем на базе новых конструкций: в июне был заложен блок №1 Нововоронежской АЭС-2, а в октябре — первый блок Ле-

нинградской АЭС-2. В последующие пару лет стартовало строительство вторых блоков на этих же площадках. НВАЭС-2 сооружается по проекту московского АЭП, а ЛАЭС-2 — по петербургскому проекту. Кроме того, строительство АЭС-2006 в двух этих модификациях было запланировано в ряде других стран (в Египте, Венгрии, Финляндии, Бангладеш, Индии и т.д.), а в Белоруссии уже возводится атомная станция с двумя блоками Санкт-Петербургского проекта.

Следующим шагом стала дальнейшая унификация: создание единого, типового проекта энергоблока большой мощности, который позволит серийно возводить АЭС в России и превратится в стандартное предложение «Росатома» в рыночной нише больших реакторов за рубежом. Его разработка началась в 2009 году и завершилась в конце 2012 года. Новый проект, названный ВВЭР-ТОИ (Типовой, Оптимизированный, Информатизированный), был создан «Атомэнергопроектом» на базе главным образом «московской» версии АЭС-2006. Большинство характеристик ВВЭР-ТОИ примерно соответствуют уровню АЭС-2006 или превосходят его.

Прежде всего, проект имеет улучшенные экономические параметры, сравнимые с наиболее совершенными энергоблоками некоторых других мировых поставщиков.⁴⁸ Это достигаются совокупностью разных факторов:

- применением типовых решений, которые в принципе позволяют сократить стоимость производства оборудования, монтажа, строительства, обслуживания и ремонта;

⁴⁸ Энергоблоки ВВЭР предыдущих поколений тоже весьма конкурентоспособны с аналогичными западными конструкциями. Достаточно одного примера: два из четырех действующих блоков АЭС в Финляндии — российские ВВЭР-440. При этом Финляндия стабильно занимает верхние строчки мировых рейтингов эффективности эксплуатации. Не случайно финны после многолетнего рассмотрения предложений практически всех мировых поставщиков реакторных технологий решили, что следующая атомная станция в этой стране (АЭС «Ханхикиви») будет строиться по российской технологии (на этот раз — Поколения III+).

- широким использованием современных цифровых информационных технологий на основных стадиях жизненного цикла: применением детальных баз данных и многомерных виртуальных моделей (3D, Multi-D), обеспечивающих оперативный доступ к любой информации, ее обработку и управление всевозможными процессами на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации блока.
- форсированной мощностью (до 1255 МВт) в сочетании с умеренным расходом энергии на собственные нужды энергоблока (менее 6,5% от выработки) и высоким для этого типа реакторов коэффициентом полезного действия — около 38%;⁴⁹
- возросшим до 60 лет проектным сроком службы незаменимых частей реакторной установки (за счет, например, применения оптимальных сплавов, подобранных исходя из огромного опыта эксплуатации реакторов ВВЭР и их западных аналогов);
- уменьшением количества оборудования некоторых видов и объема используемых материалов (на 10–15% по сравнению с НВАЭС-2), снижением объема строительно-монтажных работ; Стоимость серийных ВВЭР-ТОИ может быть на 20–25% ниже АЭС-2006 в сопоставимых ценах, т.е. с поправкой на изменение покупательной способности рубля.
- сокращением сроков сооружения: до 54–48 месяцев для головных блоков и 40 месяцев для серийных (за всю историю атомной энергети-

⁴⁹ Электрический коэффициент полезного действия (КПД) — показатель, характеризующий то, какая доля вырабатываемой (в данном случае тепловой) энергии превращается в электричество. Для лучших созданных в мире конструкций ядерных блоков с водо-водяными реакторами КПД не достигает 40%.

ки в мире возведено около 800 ядерных энергоблоков; лишь несколько десятков из них, включая ряд советских проектов, построены в сроки, сравнимые с предусмотренными для серийных ВВЭР-ТОИ; все они меньше по мощности и проще по конструкции);

- увеличением среднего коэффициента готовности (до 93% против 90% у НВАЭС-2 и порядка 80% у отдельных проектов ВВЭР-1000), отражающего частоту и продолжительность внеплановых остановок энергоблока, то есть его надежность с точки зрения нормальной эксплуатации;
- повышением так называемой маневренности (ВВЭР-ТОИ способен в течение суток изменять мощность в диапазоне 50% от номинальной производительности, что расширяет возможности участия в рынке электроэнергии по сравнению с ядерными блоками II-го поколения);⁵⁰
- и других факторов.

ВВЭР-ТОИ обладает повышенной безопасностью за счет использования оптимального сочетания систем активной (требующей источников энергии в аварийных ситуациях) и пассивной безопасности (работающей автономно без всяких источников энергии, в том числе при выходе из строя собственных аварийных генераторов атомной станции). Эти системы дублируются, что до-

⁵⁰ Важной характеристикой энергоблоков электростанций является способность оперативно изменять выдаваемую мощность (маневрировать). Непревзойденной маневренностью обладают некоторые гидроэлектростанции, способные набирать максимальную номинальную мощность в считанные минуты, и «безболезненно» (с точки зрения длительной сохранности оборудования и экономичности) быстро изменять ее в любом диапазоне. Из остальных генераторов наибольшая маневренность характерна для газотурбинных установок и основанных на них источников электричества. Атомные и угольные станции обычно менее «поворотливы», и используются, за редкими исключениями, для покрытия базовой (неизменной) части графика нагрузки энергосистемы. Однако для ядерных энергоблоков поколений III и III+ общепринятым требованием стала более высокая маневренность, чем у большинства действующих атомных станций. Это позволяет им на рынках электроэнергии выходить за пределы традиционной для АЭС специализации.

полнительно повышает надежность. Конструкция реакторной установки ВВЭР-ТОИ обеспечивает автономное поддержание в заданных пределах температур и давления при полном обесточивании реактора в течение 3-х суток. Проект включает специальные устройства, препятствующие накоплению водорода в некоторых маловероятных аварийных ситуациях (отсутствие подобных устройств привело к взрывам и разрушению конструкций на ряде блоков АЭС «Фукусима-1»). ВВЭР-ТОИ гарантирует безопасность при максимальном расчетном землетрясении 8 баллов по шкале MSK. Внешняя защитная оболочка реакторной установки (их у ВВЭР-ТОИ две) выдержит падение самолета весом минимум 20 тонн, ураган со скоростью ветра порядка 200 км/ч, сильнейшие наводнения и прочие катаклизмы.

■ Кирилл Комаров

Первый заместитель генерального директора ГК «Росатом»

«Во всем мире именно мы оказались лучше всего готовы к Фукусиме: Чернобыль для нас стал очень серьезным уроком, и мы смогли его не просто «выучить», а полностью перестроить свое отношение к безопасности АЭС. Например, когда мы строили блок в индийском Куданкуламе, то создавали системы безопасности вдвое-втрое перекрывавшие требования того времени. ... Сейчас мы с гордостью говорим, что Куданкулам является первым блоком в мире, построенным полностью в соответствии со всеми постфукусимскими требованиями».

Важно подчеркнуть, что все названные показатели обеспечиваются для типового проекта, в то же время для каких-то особых условий отдельные параметры

могут быть усилены. Например, в районах размещения площадок большинства АЭС в мире не бывает землетрясений в 8 баллов по шкале MSK, которые заложены в «стандартный» проект ВВЭР-ТОИ. Однако последний предусматривает возможность повышения параметров до 9 баллов для сейсмоактивных районов (не ниже уровня специально подготовленной Армянской АЭС, которая в 1988 году не просто устояла, а сохранила работоспособность после землетрясения магнитудой 6,8 и эпицентром в 70 км от площадки, сравнявшего с землей ряд окружающих населенных пунктов в республике).



Валерий Лимаренко

Президент Группы компаний ASE

«В момент нового кризиса — Фукусимского — мы уже имели некий «иммунитет» и получили преимущество перед остальными странами: первые же блоки, которые начали строиться после Фукусимы, были наши, поскольку в них подобные риски были учтены заранее. Японцев и представителей других стран Фукусима тоже наверняка «сделает сильнее», как все, что «не убивает». Но мы к ней подошли самыми подготовленными, это неоспоримый факт».

Некоторые особенности проекта дополнительно повышают его международную конкурентоспособность. В частности, типовым решением стало использование так называемой тихоходной турбины (1500 оборотов в минуту), которая является более предпочтительной на ряде мировых рынков по сравнению с быстроходными вариантами (3000 оборотов в минуту), используемыми в проектах АЭС-2006 для НВАЭС-2 и ЛАЭС-2. К примеру, применение быстроходной турбины могло бы стать потенциальным ограничением для продвижения ВВЭР-

ТОИ в отдельных государствах, чьи энергосистемы работают с частотой тока 60 герц.⁵¹ Для таких случаев потребовалось бы создание новых турбин на 3600 оборотов в минуту, которых для ядерных энергоблоков подобной мощности (свыше 1200 МВт) в мире не существует.

Первые два блока ВВЭР-ТОИ планируется построить на Курской АЭС для предстоящего замещения двух действующих блоков РБМК на этой станции. Начало строительства (залитка первого бетона в основание блока №1) Курской АЭС-2 ожидается в 2018 году. До 2030 года на территории России намечено сооружение еще нескольких таких блоков, в том числе два в составе Смоленской АЭС (также с целью замещения двух выводимых из эксплуатации РБМК), а также на площадках новых атомных станций: Центральной АЭС в Буйском районе Костромской области (два блока), Нижегородской АЭС в Навашином муниципальном районе Нижегородской области (два блока), Татарской АЭС в Нижнекамском районе Татарстана (один блок).

Кроме того, в некоторых странах, где первоначально предполагалось внедрение АЭС-2006, в итоге могут быть построены ВВЭР-ТОИ. К ним относится, например, Турция.

Другим аспектом эволюционного направления развития российских ядерных технологий стало создание конкурентоспособных блоков средней мощности. В последние десятилетия в мировой атомной энергетике обозначилась четкая тенденция повышения мощности энер-

⁵¹ К таким относятся, например, США, Канада, Южная Корея, Тайвань, часть энергосистемы Японии. Хотя в обозримом будущем шансы строительства АЭС российской конструкции в большинстве этих государств близки к нулю (в основном по причинам, не связанным с конкурентоспособностью технологий), в некоторых из них возможна и, очевидно, целесообразна сертификация (по сути разрешение на внедрение) новейших российских реакторов. Например, почти все поставщики стремятся сертифицировать свои реакторы в США, что служит определенной гарантией качества и безопасности при продвижении на других мировых рынках. Сертифицируемый реактор должен полностью подходить для американского рынка, даже если нет конкретных планов его строительства в этой стране.

гоблоков АЭС: так, для 1960-х годов были характерны блоки АЭС мощностью 200–600 МВт; в начале 1970-х ядерная генерация перешагнула порог в 1000 МВт (пионерами в этом отношении были США, СССР, Германия); в нынешнем столетии стали внедряться ядерные энергоблоки до почти 1700 МВт. Однако спрос на средне-мощные блоки (каковыми считаются для ядерной энергетической конструкции на 300–700 МВт) сохранился: они необходимы в энергосистемах с относительно невысоким потреблением электроэнергии, ограниченной мощностью электростанций, относительно слабыми внутренними и внешними сетевыми соединениями и рядом других особенностей. Такие энергосистемы распространены во многих развивающихся странах (некоторые из них технически не способны принять блоки производительностью 1000 МВт и более), а также встречаются в России. К примерам последнего относится (по некоторым параметрам) объединенная энергосистема, в которой действует Кольская АЭС: при сегодняшнем и предполагаемом в среднесрочной перспективе уровне потребления электроэнергии на Кольском полуострове и прилегающих районах, замещение блоков ВВЭР-440 на этой станции реакторами ВВЭР-ТОИ нецелесообразно. Другим примером служит Калининградская область: намерение Литвы, Латвии и Эстонии технически синхронизировать свою энергосистему с европейскими и «отгородиться», таким образом, от ЕЭС России, заставляют пересмотреть проект строительства Балтийской АЭС в Калининградской области, где ранее планировалось внедрение ВВЭР мощностью порядка 1200 МВт.

Для подобных случаев «Росатому» необходимы конкурентоспособные блоки средней, а иногда и малой мощности. У Госкорпорации есть ряд разработок такого рода. Так, вскоре после Чернобыля (и с учетом уроков

этой катастрофы) была создана реакторная установка ВВЭР-640. Ее конструкция была во многом унифицирована с реактором ВВЭР-1000 и даже кое в чем повторяла ее компоновку: имела 4 петли первого контура,⁵² что для современных реакторов средней мощности не типично. В то же время в ней применялись новые для того времени, оригинальные технические решения, гарантирующие высочайший уровень ядерной безопасности. В частности, для этой конструкции были характерны особо развитые системы пассивной безопасности, обеспечивавшие автономное расхолаживание реактора (поддержание безопасных температуры и давления) в случае серьезных аварий с длительной полной потерей всякого электроснабжения. ВВЭР-640 был полностью проработан и в конце 1990-х годов получил разрешение в внедрение в качестве замещающих мощностей на Ленинградской АЭС, но, как и большинство атомных строек в то время, проект не был реализован.

В сегодняшних условиях, когда «Росатом» работает не только на закрытых для конкуренции рынках, но активно действует на глобальном рынке, важным фактором стала унификация с реакторами последних поколений и развитие типовых конструкций, удешевляющих производство, строительство и эксплуатацию АЭС. В связи с этим Госкорпорация предпочла создать новую реакторную установку, максимально унифицированную с ВВЭР-1200. Таковой стала конструкция ВВЭР-600, спроектированная на основе «узлов» большой установки: в частности, в ней используется две вместо четырех петель первого контура ВВЭР-1200: такая компоновка стала шагом вперед

⁵² Первый контур включает все оборудование и трубопроводы реакторной установки, через которые проходит теплоноситель (вода), нагреваемый непосредственно в реакторе. Каждая из петель первого контура включает трубопроводы, соединяющие реактор с парогенератором, и отдельный главный циркуляционный насос (ГЦН), прокачивающий теплоноситель. Таким образом, у реакторных установок ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 четыре петли первого контура содержат четыре парогенератора и четыре ГЦН.

и внесла лепту в улучшение экономических показателей проекта. Унификация позволяет изготавливать ВВЭР-600 на тех же производственных мощностях и во многом по тем же «лекалам», которые предназначены для его «старшего брата», а в некоторых случаях использовать уже готовое взаимозаменяемое оборудование (заказанное и произведенное серийно или по каким-то причинам не пошедшее в дело)⁵³ для строительства или ремонта ВВЭР-1200 или ВВЭР-600.

Другая перспективная конструкция средней мощности — реактор ВБЭР-600. В отличие от линейки реакторов ВВЭР, главным конструктором которых является ОКБ «Гидропресс», ВБЭР-600 разработан ОКБМ им. Африкантова. Поскольку это конструкторское бюро является «автором» большинства российских судовых реакторов, в своих разработках для гражданской атомной энергетики оно использует многие рациональные технические решения, опробованные на флоте. Это касается и ВБЭР-600. В частности, элементы этой реакторной установки собраны компактно с применением коротких соединений, число которых уменьшено примерно вдвое за счет размещения одних труб внутри других. Применение длинных трубопроводов ограничено. Такие решения, характерные для судовой атомной энергетики, снижают вероятность некоторых видов аварий и могут уменьшить их последствия, обеспечивают повышение надежности конструкции.

По ключевым параметрам ВБЭР-600 и ВВЭР-600 близки: оба имеют электрическую мощность порядка 600 МВт, проектный срок службы 60 лет, коэффициент готовности 93%, КПД 36–37%, возможность работы

⁵³ Случаи применения основного оборудования, произведенного для реакторных установок одних АЭС при строительстве других, имели место, например, для несостоявшегося проекта АЭС «Белене» в Болгарии или ныне строящейся белорусской АЭС.

в маневренном режиме в диапазоне 50–100% мощности и т.п. Их стоимостные показатели также сопоставимы: в частности, строительство каждого такого блока обойдется примерно на 25–30% дешевле ВВЭР-ТОИ, при мощности на ~50% меньше. Иными словами, средние энергоблоки в расчете на единицу мощности будут заметно дороже флагманского блока «Росатома», что типично для атомной энергетики: чем меньше мощность, тем выше ее удельная стоимость.

В 2016 году правительство России запланировало построить в период до 2030 года один энергоблок средней мощности на Кольской АЭС в качестве замены для ВВЭР-440. Предварительно решено, что это будет ВВЭР-600 — с учетом более высокой степени готовности проекта, возможностей унификации с ВВЭР-1200 и применения существующих типовых решений.

Другой перспективной нишей, в которой «Росатом» продвигает новые технологии, стали энергетические реакторы малой мощности (1–300 МВт). Концепции таких РУ в нынешнем десятилетии стали настоящим хитом мировой атомной энергетики: буквально все значимые страны-поставщики ядерных технологий отметились в этой нише своими разработками и планами внедрения. Однако до стадии строительства (если говорить о современных реакторах) пока дошли только три государства: Россия, Китай и Аргентина.

В России таким проектом стала Плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) «Академик Ломоносов». Это по существу теплоэлектроцентраль (источник одновременно электроэнергии и тепла), размещаемая в корпусе несамоходного (буксируемого) судна, которое может ставиться на прикол в каком-либо порту и подключаться к региональным сетям. Основой станции служит два реактора КЛТ-40С, способные выдавать вме-

сте свыше 70МВт электрической мощности и более 140 гигакалорий тепла, что достаточно для обеспечения некоторых районов в изолированных энергосистемах на Севере и Дальнем Востоке, не связанных с Единой энергосистемой России. Каждый реактор имеет собственную турбину и может работать независимо от другого, что позволяет поддерживать энергоснабжение в период плановых ремонтов и других перерывов в работе одного из реакторов. КЛТ-40С является переработанной версией упомянутых выше судовых реакторных установок КЛТ-40 и КЛТ-40М, используемых, соответственно, на контейнеровозе «Севморпуть» и мелкоосадочных ледоколах. Новый реактор заметно отличается от своих прообразов некоторыми конструктивными особенностями и использует топливо с более низким уровнем обогащения урана (менее 19%). Последний показатель соответствует требованиям международных норм о нераспространении ядерного оружия, сильно ограничивающих любые формы поставок высокообогащенного урана (свыше 20%). Это допускает продвижение такой малой АЭС на мировых рынках. Ко всему прочему, ПАТЭС может оснащаться опреснительным блоком, позволяющим производить пресную воду из морской, что может быть интересно для ряда стран с засушливым климатом (Россия имеет обширный опыт в технологиях «атомного» опреснения, в том числе в их экспорте). Потенциально привлекательной для потребителей особенностью ПАТЭС может стать мобильность, что позволяет не только подключать ее к разным локальным энергосистемам, но и значительно упростить процесс вывода из эксплуатации, который, как было проиллюстрировано выше, уже практически «серийно» отработан в России для плавучих объектов. Вывод из эксплуатации стационарных малых реакторов хоть и несколько проще, чем

для крупных АЭС сравнимой технологии, все же представляет серьезную и недешевую проблему.

Реализация проекта ПАТЭС тянется с 2007 года; строительство завершилось лишь в конце 2016 года. Причиной стали проблемы в судостроительной части, которая неподконтрольна «Росатому»: за годы сооружения пришлось трижды сменить подрядчика, при этом сроки и стоимость строительства «баржи» возросли в несколько раз. Между тем, все основное реакторное оборудование было давно поставлено по ценам, изменение которых не превысило инфляцию. Итоговая стоимость проекта составит порядка 30 млрд. рублей, из них четверть приходится на береговую инфраструктуру в месте будущего базирования ПАТЭС: станцию решено разместить в Певеке, на Чукотке. В этой изолированной энергосистеме плавучая станция должна заменить четыре блока Билибинской АЭС, поэтапно выводимые из эксплуатации в 2019–2021 годах, а также Чаунскую ТЭЦ. Очевидно, следующие плавучие блоки, предназначенные для других подобных энергосистем или для экспорта, могут обойтись существенно дешевле в сопоставимых ценах — как из-за применения уже отработанных типовых решений, так и за счет изменения подходов к выбору и контролю подрядчика судостроительной части.

РЕВОЛЮЦИЯ

Между тем, «Росатом» не ограничился эволюционным подходом и наметил второй, революционный вектор развития ядерных технологий — с прицелом на стратегическую, долгосрочную перспективу создание атомной энергетики будущего (примерно середина столетия и далее). Основой этого направления является разработка комплекса технологий, включающих новые (в том числе не имеющие пока даже отдаленных действующих аналогов в мире) конструкции реакторов на быстрых нейтронах, которые позволят завершить замыкание ядерно-топливного цикла, то есть многократно воспроизводить ядерное топливо в масштабах отрасли, обеспечив практически неисчерпаемые энергоресурсы и сократив радиоактивные отходы (суть замыкания ЯТЦ см. в Справке №11). Хотя такая цель ставилась давно, в 1990-е и начале 2000-х годов движение к ней практически приостановилось, и лишь в нынешнем десятилетии появились новые заметные успехи на этом пути.

Первым, после длительного перерыва, важным шагом на этом пути стало возобновление в 2005–2006 годах строительства энергоблока с реактором на быстрых нейтронах БН-800 — пятого блока Белоярской АЭС. Разработка этой реакторной установки началась в 1970-е годы и завершилась, после ряда переработок, к 1983 году. Вслед за этим началось строительство Южно-Уральской АЭС с тремя блоками БН-800 и одного такого

Что означает замыкание ядерно-топливного цикла

- Среди уникальных свойств атомной энергетики — принципиальная возможность многократно использовать одно и то же «сгоревшее» в реакторе топливо. Однако в реакторах тех типов, которые составляют абсолютное большинство в мировой атомной энергетике, используются лишь доли процента от энергии, которую можно извлечь из урана, а отработавшее в них топливо в большинстве случаев рассматривается как радиоактивные отходы, причем наиболее опасные. Однако существуют технологии, позволяющие повысить утилизацию урана в разы или в десятки раз, а также вовлечь в гражданскую ядерную энергетику малоиспользуемое в ней и почти не встречающееся в земной природе (по сути искусственное) «топливное» вещество — плутоний, либо до сих пор практически не применяемое природное вещество — торий, гораздо более распространенный в земной коре, чем уран. Это может сделать ресурсы ядерного горючего практически неисчерпаемыми.
- К числу технологий, дающих возможность замкнуть топливный цикл, относится переработка отработанного ядерного топлива, в результате которой из него выделяются компоненты, способные стать основой для производства нового топлива (выше приводился пример переработки ОЯТ реакторов ВВЭР-440 и ряда других, из продуктов которой фабрикуется топливо, в основном, для реакторов РБМК). Однако сама по себе переработка повышает эффективность использования топлива лишь в ограниченной степени. Учитывая же ее дороговизну, она не всегда имеет экономический смысл по сравнению открытым ядерно-топливным циклом (при котором компоненты топлива проходят через реактор на тепловых нейтронах лишь один раз, то есть ОЯТ не перерабатываются).
- Радикально меняет ситуацию использование вместе с переработкой еще и реакторов на быстрых нейтронах: «сгорающее» в них топливо порождает в значительных количествах новые делящиеся материалы, могущие стать основой нового топлива для следующей загрузки реакторов. Причем этих новообразованных «горючих» изотопов может возникнуть больше, чем закладывалось в реактор (во сколько раз больше — характеризует так называемый коэффициент воспроизводства, который редко превышает 1,5). Такой цикл можно повторять многократно (недаром французы назвали свой, ныне уже закрытый, опытный реактор на быстрых нейтронах «Фениксом» — в честь мифической птицы, способной возрождаться из пепла). В сколь-нибудь значимом масштабе подобный круговорот с участием мощных реакторов на быстрых нейтронах на сегодняшний день (начало 2017 года) применяется только в России. Суть технологической стратегии «Росатома» заключается в том, чтобы распространить эту практику на всю отрасль, обеспечив ее неисчерпаемыми ресурсами ядерного горючего и сильно сократив объем, а возможно и активность, побочных продуктов — радиоактивных отходов. Примерно о том же мечтают (в своих долгосрочных стратегиях развития атомной энергетики) некоторые другие государства, например, Франция, Индия, Япония, Китай. Однако дальше всех на этом пути продвинулась именно наша страна.

блока на Белоярской станции. Однако к началу 1990-х годов работы на обеих площадках фактически остановились, хотя предпринимались безуспешные усилия оживить проект.

Возобновление строительства в середине 2000-х годов полностью за счет бюджетных средств стало одним из проявлений начавшегося в тот период оживления атомной отрасли. Проект позволил приостановить и повернуть вспять процесс утраты Россией передовых позиций в сфере быстрых реакторов, возможностей их строительства.⁵⁴ Кроме того, с его помощью началось расширение экспериментальной базы быстрых нейтронов: ведь ни одна страна мира не располагает (и никогда не располагала одномоментно) подобным набором «разнокалиберных», отличающихся функционально и конструктивно быстрых реакторов: исследовательский реактор БОР-60 и другие исследовательские установки; мощнейшие в мире энергетические реакторы БН-600 и БН-800; в 2020-х годах к ним добавится еще две уникальные реакторные установки — уже строящийся крупнейший в мире исследовательский реактор МБИР и опытный реактор с тяжелометаллическим теплоносителем БРЕСТ (о них речь пойдет ниже).

Все это дает России уникальную, на фоне других государств, возможность осуществлять одновременно, широким фронтом разноплановые научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области замыкания ядерно-топливного цикла с помощью быстрых нейтронов. Причем размах таких НИОКР макси-

⁵⁴ Выше говорилось о развале в 1990-е годы атомного строительного комплекса, утрате ряда мощностей атомного машиностроения. Все это затронуло и технологии на быстрых нейтронах. Характерный пример — производство особо чистого натрия, используемого в качестве теплоносителя в реакторах типа БН: в советское время этот легкий металл производился в Узбекистане и на Урале. Для обеспечения БН-800 были построены мощности в Забайкалье, но они «не дождались» реализации проекта, и в итоге гордость российской атомной энергетики была «заправлена» натрием, купленным во Франции.

мально приближается к условиям реальной промышленной эксплуатации, в отличие от «игрушечных» масштабов, в которых осуществлялись эксперименты с быстрыми нейтронами в ряде других стран. Собственно, сегодня даже относительно небольшой экспериментальной базой в этой сфере располагает лишь считанное число государств: Индия (пока она не достроила свой прототипный реактор мощностью 500 МВт в Калпакнаме, эксперименты ведутся на исследовательском уровне), Китай (где с помощью России создан исследовательский реактор CEFR) и формально Япония (выводящая из эксплуатации свой неудачный исследовательский реактор «Монжу», тогда как новая установка появится не скоро). Несколько других стран, в прошлом имевших быстрые реакторы и критические сборки, давно их закрыли (Франция, США, Великобритания, Германия, Швеция; в проектах на их территориях также участвовали некоторые другие государства). Однако в ряде государств ведутся НИОКР по «быстрой» тематике, которые могут привести к появлению новых, прогрессивных конструкций уже в следующем десятилетии. Так что почитать на лаврах России не приходится.

Вячеслав Першуков

Заместитель генерального директора «Росатома» — директор Блока по управлению инновациями

«Жизненный цикл проведения работы в атомной энергетике неприлично долог, он в разы больше, чем в энергетике обычной, в машиностроении, не говоря уж об ИТ. Чтобы произвести новое топливо, нужно десять, а то и двадцать лет. Новые материалы создаются тоже десятилетиями. Для апробации нового технического решения нужно несколько раз делать референтные представления. Серьезная проблема — найти инстру-

ментарий, чтобы сократить время проведения исследований до необходимого результата, и в этом качестве могут использоваться только интернет-технологии, средства математического моделирования на высокопроизводящих компьютерных системах, построение более мощных исследовательских реакторов с более высоким нейтронным потоком. Это позволяет набрать необходимый массив данных не за десятилетия, а в более сжатые сроки. Вот таким путем мы и движемся. Надеюсь, что нам все-таки удастся сократить цикл исследований, чтобы даже в нашу суперконсервативную область принести новые результаты.

В таких обстоятельствах «Росатом» не ограничился частичным восстановлением и достройкой советского потенциала: вскоре после возникновения Госкорпорации началось продвижение к следующей цели — созданию технологической основы для полного замыкания ядерно-топливного цикла в масштабе всей российской атомной отрасли во второй половине нынешнего столетия. В феврале 2010 года Правительство России утвердило Федеральную целевую программу «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 года» (далее ФЦП «Ядерные энерготехнологии до 2020 года»), государственным заказчиком и координатором выполнения которой является «Росатом». В соответствии с этим документом российская атомная отрасль впервые за долгие годы получила значительные ресурсы (свыше 150 млрд. руб., в том числе около 100 млрд. руб. из госбюджета) не на доработку давно используемых технологий, а на создание принципиально нового технологического фундамента гражданской атомной энергетики. Генеральным направлением ФЦП стало со-

Справка №12

О концепциях безопасности ядерных реакторов

- При любых нештатных ситуациях на энергоблоке АЭС в течение секунд срабатывает автоматическая защита, останавливающая ядерную реакцию и гасящая почти всю энергию реактора. Однако ядерное топливо продолжает «тлеть», выделяя несколько процентов прежней энергии. У мощных энергетических реакторов этого остаточного «тления» достаточно для того, чтобы происходил самопроизвольный разогрев активной зоны – иногда до температур металлургической печи. В большинстве крупных реакторных установок такой разогрев предотвращается многократно дублированными (многоканальными), эшелонированными (многоступенчатыми) средствами защиты, которые на мощнейших современных энергоблоках могут работать без всякой энергетической подпитки некоторое время (до нескольких суток), а затем требуют восстановления энергоснабжения, что, за редким исключением, не представляет проблемы. Для маловероятного (один раз в миллионы или несколько десятков миллионов лет) стечения обстоятельств, в результате которого окажутся бесполезными все многочисленные страховочные барьеры и активная зона все-таки расплавится, современные реакторы оснащены средствами защиты корпуса или каналов реактора от проплавления, а также мощной герметичной оболочкой вокруг всей реакторной установки (двойной у некоторых российских и зарубежных конструкций), способной выдерживать большое внутреннее и внешнее давление и удерживать радиоактивность внутри практически в любом случае. В дополнение к этому, современные российские реакторы имеют так называемую ловушку расплава, которую кориум (расплав топлива) преодолеть не способен.
- Основная идея естественной, или внутренне присущей, безопасности, на которой основаны реакторы 4-го поколения (пока нигде не внедренные) заключается в том, чтобы любые существенные нештатные отклонения в работе мощной реакторной установки вызывали «самозатухание» ядерной реакции и постепенное снижение температуры и давления, абсолютно независимо от внешних источников энергии. Таким образом, тяжелая авария с расплавлением топлива становится не чрезвычайно маловероятной, как в современных реакторах, а невозможной в силу физических принципов, положенных в основу конструкции. Создаваемые сегодня в России быстрые реакторы ориентированы именно на концепцию естественной безопасности.

здание следующего поколения технологий, обеспечивающих дальнейшее замыкание ядерно-топливного цикла с участием быстрых реакторов новейших конструкций, обеспечивающих естественную безопасность (см. Справку №12). При этом предполагается решить следующие основные задачи:

- Разработать и построить опытно-демонстрационный комплекс, включающий энергоблок с реактором на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем и на той же площадке — производственные мощности замкнутого ядерно-топливного цикла, в том числе переработки отработанного ядерного топлива, производства топлива из продуктов такой переработки (рефабрикации), первичного обращения с возникающими в результате радиоактивными отходами.
- Разработать быстрые реакторы нового поколения с натриевым и свинцово-висмутовым теплоносителем.
- Ввести в строй производственные комплексы фабрикации смешанного оксидного уран-плутониевого топлива (МОХ-топлива — см. Справку №13).
- Создать технологии так называемого плотного топлива для реакторов на быстрых нейтронах (см. ту же Справку №13)
- Создать перспективные технологии переработки накопленных и текущих ОЯТ разнотипных реакторов (на тепловых и быстрых нейтронах); ввести в строй опытный комплекс, использующий и развивающий такие технологии.
- Модернизировать и значительно расширить исследовательскую базу, относящуюся, среди прочего, к тематике ЗЯТЦ и быстрых нейтронов.

Создать новые конструкционные материалы для быстрых реакторов.

Некоторые разработки в рамках этой программы не имеет действующих аналогов в мировой практике: в их числе реакторы со свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителем, технологии плотного нитридного топлива, ряд технологий переработки ОЯТ, о которых

Справка №13

Топливо для российских быстрых реакторов

- Помимо способности воспроизводить ядерное горючее (см. Справку. . .), быстрые реакторы отличаются «всеядностью» — могут, при определенной конструктивной адаптации, использовать разные виды топлива как по изотопному составу делящихся, то есть «горючих», компонентов (различные изотопы урана и плутония), так и по химической форме (металлическое, оксидное, нитридное и др.). Основным топливом российского БН-600 служит оксидное урановое (соединение урана с кислородом). Однако новый БН-800 в перспективе полностью перейдет на штатное смешанное оксидное уран-плутониевое топливо. В будущем возможно использование в российских быстрых реакторах инновационного смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП — соединения азота с ураном и плутонием). Такое топливо относится к разряду «плотных», поскольку удельная концентрация делящихся атомов в нем выше, чем в обычном оксидном, что может повысить эффективность работы этого ядерного горючего в реакторе.
- Помимо собственно делящихся материалов, в активную зону быстрых реакторов включаются компоненты (т.н. воспроизводящие или сырьевые материалы), в которых при облучении нейтронами возникают новые делящиеся материалы — некоторые изотопы урана и плутония. Последние после переработки становятся основой для производства нового топлива. Сырьевыми материалами служат, например, обедненный уран (распространенный вариант) или торий (пока редкая практика). Сырьевые материалы могут включаться как во внутренние части активной зоны, так и в специальные экраны на ее периферии (бланкеты или зоны воспроизводства). Последний вариант распространен для натриевых быстрых реакторов, в т.ч. российских БН.
- В быстрых реакторах также возможно утилизировать младшие актиниды — тяжелые радиоактивные элементы, возникающие в процессе сжигания ядерного топлива в любых реакторах, и составляющие, вместе с продуктами распада, существенную часть активности ВАО. Их выжигание в быстрых реакторах позволит значительно снизить объем высокоактивных ядерных отходов, а значит и сократить количество и стоимость их захоронения. Появление быстрых реакторов нового поколения, в том числе создаваемых сегодня в России, позволит поставить этот процесс на поток.

рассказывалось в разделе о бэк-энде, и т.д. ФЦП также включает и некоторые задачи, выходящие за рамки перечисленных тем и относящиеся к еще более долгосрочным перспективам атомной энергетики (исследования в области управляемого термоядерного синтеза, новых способов использования энергии ядра и ряд других).

Задачи, поставленные в ФЦП «Ядерные энерготехнологии до 2020 года», были детализированы в ряде проектов, осуществляемых «Росатомом» самостоятельно или иногда в сотрудничестве с другими структурами. К важнейшим из них относится Проектное направление «Прорыв», сформированное в 2011 году. Это по существу комплекс взаимосвязанных проектов, в рамках которых решается несколько задач, обозначенных в ФЦП:

- Создается совершенно новый быстрый реактор со свинцовым теплоносителем⁵⁵ БРЕСТ-ОД-300 мощностью около 300 МВт вместе с опытно-демонстрационным энергетическим комплексом (ОДЭК), включающим энергоблок с этим реактором, а также Модуль (производственные линии) фабрикации-рефабрикации плотного нитридного топлива и Модуль переработки ОЯТ. Строительство этого комплекса началось на площадке Сибирского химкомбината с объектов ядерно-топливного цикла; сооружение реактора может стартовать к 2018 году, а его пуск предусмотрен до 2025 года. Опыт строительства и эксплуатации этой реакторной установки покажет целесообразность создания и внедрения в дальнейшем подобных коммерческих конструкций большой мощности.
- Создается плотное нитридное топливо для быстрых реакторов (см. Справку №13 о топливе бы-

⁵⁵ Рабочая температура свинца в таком реакторе превышает 400 градусов Цельсия, поэтому металл, плавящийся при 327 градусах, остается в жидком состоянии. Температура кипения свинца так высока (1740 градусов), что его массивное испарение в аварийно заглушенном реакторе не начнется ни при каких обстоятельствах, а значит, не произойдет и оголения топлива, чреватого его расплавлением. Давление насыщенных паров свинца гораздо ниже, чем у воды, поэтому и давление в свинцовом быстром реакторе меньше, чем в реакторах с водяным охлаждением, что снижает вероятность повреждения оборудования реакторной установки. Свинец не опасен при контакте с водой и воздухом, как натрий, и не может вызвать образования взрывоопасного водорода, как при контакте водяного пара с оголенными циркониевыми оболочками твэлов при тяжелой аварии на легководном реакторе.

стрых реакторов). Для этого разрабатываются, производятся и последовательно испытываются на Белоярской АЭС разные модификации экспериментального СНУП-топлива, предназначенные для реакторов типа БРЕСТ и БН. Создание этого инновационного топлива, которое пока нигде в мире не применяется, требует преодоления ряда технических проблем, для того чтобы промышленное использование нитрида стало экономически оправданным по сравнению с существующими видами ядерного горючего, прежде всего с МОХ-топливом. В результате проводимой работы к началу 2020-х годов должны появиться штатные тепловыделяющие сборки СНУП.

- Разрабатывается промышленный энергоблок с натриевым быстрым реактором БН-1200. Особым приоритетом этого проекта являются экономические параметры: в отличие от предшествующих натриевых реакторов, он должен быть конкурентоспособным по сумме основных показателей с современными легководными блоками. Реактор сможет работать на МОХ-топливе или использовать плотное нитридное. Как и БРЕСТ, он создается в качестве звена замкнутого ядерно-топливного цикла, включающего переработку ОЯТ быстрых и тепловых реакторов и рефабрикацию топлива. Строительство двух блоков с БН-1200 предварительно планируется до 2030 года на площадках Белоярской АЭС (блок №5) и новой (ранее недостроенной) Южно-Уральской АЭС в Челябинской области.
- Ведутся вспомогательные работы, обеспечивающие решение перечисленных главных задач. Например, создаются новые конструкционные

материалы для быстрых реакторов, которые повысят надежность и долговечность, позволят довести экономические показатели реакторных установок этого типа до конкурентоспособного уровня. С помощью реакторов БН-600 и БН-800 и действующих мощностей переработки ОЯТ отрабатываются опытно-промышленные технологии замыкания ЯТЦ, оптимизируются режимы работы быстрых реакторов и т.д.

Кроме того, «Росатом» осуществляет ряд других проектов, связанных с замыканием ЯТЦ, но формально выходящих за рамки «Прорыва», а в некоторых отношениях — и за рамки ФЦП «Ядерные энерготехнологии до 2020 года»:

- Создаются новые технологии переработки отработанного ядерного топлива и строительство Опытно-демонстрационного центра переработки ОЯТ на Горно-химическом комбинате в Железногорске, а в дальнейшем — строительство тут же промышленного завода по переработке РТ-2 (подробнее об этом рассказано в разделе о бэк-энд). Эти мощности станут важными поставщиками сырья для производства ядерного топлива.
- Разрабатываются технологии и создается производство МОХ-топлива. Завод фабрикации таблеточного МОХ, построенный на площадке ГХК в недрах скального массива на глубине около 200 метров, первоначально предназначен для обеспечения топливом реактора БН-800. Предприятие было формально открыто в конце 2015 года, но первая партия тепловыделяющих сборок для очередной перегрузки БН-800 произведена к началу 2017 года, а полное обеспечение этого реактора МОХ-топливом с ГХК плани-

руется к 2019 году. Из-за задержки с освоением производства на ГХК, реактор БН-800 при его пуске функционирует с так называемой гибридной активной зоной: она загружена на три четверти оксидным урановым топливом, а в оставшейся части — МОХ-топливом двух различных видов (виброуплотненное и таблеточное МОХ-топливо),⁵⁶ изготовленных в НИИАР и на комбинате «Маяк». В перспективе ГХК может не только обеспечивать БН-800, но и освоить производство МОХ-топлива для будущих реакторных установок БН-1200 и ВВЭР-ТОИ.

- Проводится модернизация научно-исследовательской, экспериментальной базы, которой, по оценкам специалистов, в 2020-х годах грозит существенная деградация, если сегодня не принять меры. Среди крупнейших проектов в этой области — строительство с 2015 года на площадке НИИАР в Димитровграде Многоцелевого быстрого исследовательского реактора (МБИР). Он призван заменить и превзойти незаурядный на мировом фоне, но уже «немолодой» (эксплуатируется с 1969 года) исследовательский реактор на быстрых нейтронах БОР-60. МБИР станет не только самой производительной в мире исследовательской реакторной установкой (мощностью 150 МВт и высочайшей плотностью потока нейтронов — ключевая характеристика исследовательских реакторов), но и будет обладать особой универсальностью. Так, на нем воз-

⁵⁶ Тепловыделяющие сборки, производимые на ГХК, комплектуются таблетками, полученными высокотемпературным спеканием мелких зерен из оксидов урана и плутония. Подобный принцип используется и для опытного производства МОХ на «Маяке». Такое топливо называют таблеточным, в отличие от производимого в НИИАР, чья технология предусматривает вибрационное уплотнение порошковой смеси, засыпаемой непосредственно в оболочку твэла (виброуплотненное топливо).

можно параллельно испытывать условия работы нескольких разных теплоносителей для быстрых реакторных установок: тяжелых металлов, натрия, газа. МБИР, строящийся вместе с лабораторным блоком и комплексом защитных камер для послереакторных исследований, позволит создавать новые материалы и развивать технологии производства изотопов, испытывать новое оборудование, тестировать различные виды топлива и отрабатывать элементы замкнутого ядерно-топливного цикла. Реактор предполагается ввести в строй к началу 2020-х годов, когда установке БОР-60 пора будет «выходить на пенсию».

- Осуществляются НИОКР по другим конструкциям быстрых реакторов. В частности, «Росатом» имеет беспрецедентный опыт создания реакторных установок на быстрых и промежуточных нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем: подобные конструкции на практике применялись только в СССР — на атомных подводных лодках проектов 705 и 705К⁵⁷ (в разделе о бэк-энд рассказано об утилизации ОЯТ этих реакторов). Отталкиваясь от этого опыта, дочерние структуры Госкорпорации (конструкторское бюро «Гидропресс» на основе научных разработок Физико-энергетического института им. Лейпунского) прорабатывали несколько конструкций в диапазоне мощности от 6 МВт до 400 МВт для применения в гражданской энергетике. В 2009 году «Росатом» и частная энергокомпа-

⁵⁷ Относительно небольшие (в сравнении со стратегическими субмаринами) лодки с легким и прочным корпусом из титанового сплава оснащались мощной (155 МВт) и компактной двигательной установкой с одним реактором в серийном варианте. При мощности на валу порядка 40 тыс. лошадиных сил, лодка относилась к числу самых быстрых в истории мирового подводного флота (до 41 узла — свыше 75 км/час) и обладала высочайшей маневренностью: разворот на 180 градусов занимал чуть больше 40 секунд.

ния «ЕвроСибЭнерго» (ныне ПАО «Иркутскэнерго») учредили на паритетных началах акционерное общество «АКМЭ-инжиниринг», которое взялось за разработку и продвижение одного из таких реакторов. Это был первый случай равноправного партнерства «Росатома» с частной компанией для создания и внедрения новой ядерной установки. Под координацией «АКМЭ-инжиниринг» разрабатывался проект интегрального малого реактора на быстрых нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем СВБР-100, который был включен в ФЦП «Ядерные энерготехнологии до 2020 года». Однако для его дальнейшего продвижения и предполагаемого строительства в районе Димитровграда головного

Справка №14

Утилизация запасов плутония

- Плутоний производится (нарабатывается) в ядерных реакторах и включает набор нескольких изотопов, от соотношения которых зависит возможность его применения в атомном оружии или в качестве основы для ядерного топлива. Это соотношение и количество плутония определяются конструкцией реактора, режимами его работы, составом топлива и т.д. Ядерные державы, использовавшие определенные типы промышленных или конструктивно двухцелевых реакторов, произвели значительные объемы как оружейного, так и энергетического плутония. Эти объемы особенно велики у России, США и Великобритании, тогда как Франция с наибольшим размахом применяет МОХ-топливо в легководных реакторах, что позволяет ей утилизировать часть плутония, однако из-за больших масштабов ее ядерной энергетики накопление также продолжается.
- После распада СССР, США и Россия, располагающие наибольшими запасами оружейного плутония, согласились исключить из военных программ значительные объемы этого металла. В частности, в соответствии с соглашением, заключенным в 2000 году и подтвержденным в 2010 году, каждая из сторон обязалась необратимым образом утилизировать 34 тонны оружейного плутония. С этой целью оба государства начали строительство заводов МОХ-топлива. Однако, не достроив такое предприятие, США в начале 2016 года официально объявили о намерении изменить схему трансформации: вместо «сжигания» в реакторах, планируется разбавление оговоренного соглашением объема плутония и последующее его захоронение. Учитывая это, Россия осенью 2016 года приостановила свои обязательства по соглашению.

энергоблока мощностью около 100 МВт необходимо привлечение дополнительных внешних инвесторов: с ухудшением макроэкономической ситуации в последние годы стоимость проекта превысила 35 млрд. рублей, что вдвое выше первоначальных оценок.

Замыкание ЯТЦ позволит России не только экономить уран, но и вовлечь в ядерно-топливный цикл накапливаемый плутоний, а в будущем, при необходимости, — и природные ресурсы тория. Это снимет с ядерной энергетики ресурсные ограничения на увеличение ее мощности, связанные с потенциальной нехваткой урана, и позволит нарастить долю АЭС в выработке электрической, а возможно и тепловой, энергии до любых значений, которые будут сочтены целесообразными, исходя из положения с другими энергоресурсами.

С началом использования МОХ в реакторе БН-800 как раз и был сделан знаменательный первый шаг к утилизации накопленных запасов плутония, которые представляют проблему не только для России, но и для некоторых других государств. Возможное использование в будущем нитридного топлива послужит той же цели, а внедрение реакторов со свинцовым теплоносителем позволит уменьшить накопление плутония сверх необходимых для энергетики объемов.⁵⁸

Таким образом, в случае реализации перечисленных и других проектов в намечаемые сроки, Россия может в 2030–2040-х годах получить значительный практический опыт замыкания ЯТЦ с помощью быстрых реакторов разной конструкции, мощности и назначения, отра-

⁵⁸ Реакторы типа БРЕСТ лишены бланкета и имеют коэффициент воспроизводства ~1 (см. Справку по замыканию ЯТЦ), то есть фактически воспроизводят важнейшие компоненты ядерного горючего в объеме, близком к загруженному в них. Проектируемый реактор БН-1200 включает бланкет и будет иметь коэффициент воспроизводства ~1,2–1,4 в зависимости от применяемого топлива и других условий, что означает потенциальную возможность расширенного воспроизводства делящихся материалов.

ботает технологии «малоотходной» переработки ОЯТ. Это позволит начать более или менее интенсивное внедрение коммерческих энергоблоков с большими быстрыми реакторами.

Вячеслав Першуков

Заместитель генерального директора «Росатома» — директор Блока по управлению инновациями

«Есть «золотой миллиард» — развитые страны, уже вступившие в эпоху постиндустриального общества. Можем ли мы там конкурировать? Безусловно. Более того, у Росатома есть вполне конкретные компетенции, которых ни у кого в мире нет и которые поэтому востребованы везде. Это в первую очередь быстрая новая платформа атомной энергетики, быстрая тематика, несколько поколений наших центрифужных мощностей, изотопы и др. А в «третьем мире» нам еще проще, поскольку в подобных странах не нужны столь высокие технологии, как быстрая тематика, для этого им еще только предстоит создать инфраструктуру. Там мы хорошо работаем на уровне поставки традиционных реакторов на тепловых нейтронах ВВЭР для задач энергообеспечения национальных экономик».

В то же время сегодня продолжается наращивание мощности энергетических реакторов на тепловых нейтронах и планы развития энергосистемы России предусматривают их дальнейшее строительство — по меньшей мере до 2030-х годов. Внедряемые новейшие конструкции таких установок имеют 60-летний проектный срок службы. Ряд действующих сегодня энергоблоков АЭС также могут прослужить до середины века. Необходимость сохранения в обозримой перспективе «тепловых» реакторов оправдывается их пока не превзойденными

экономическими показателями: за 60 лет существования подобных установок они достигли высокой степени совершенства, чего пока нельзя сказать о быстрых реакторах.

Таким образом, в последующие десятилетия реакторы на быстрых и тепловых нейтронах могут соседствовать друг с другом, образуя двухкомпонентную атомную энергетику. Причем, это будет не просто соседство, а технологическое взаимодействие: отработанное топливо легководных установок будет воспроизводиться с помощью быстрых, в них же, очевидно, будут выжигаться младшие актиниды, что уменьшит проблемы с радиоактивными отходами. К тому же, современные конструкции «тепловых» реакторных установок способны работать на МОХ-топливе или других видах топлива, полученного из переработанных ОЯТ.⁵⁹ Кроме того, в России также рассматриваются концепции реакторов на тепловых нейтронах, имеющих повышенную эффективность — необычно высокий коэффициент полезного действия и более высокий, чем у обычных легководных реакторов, коэффициент воспроизводства.

Другими словами, «тепловые» реакторы могут так или иначе вносить свою лепту в замыкание ядерно-топливного цикла, выполняя схожие с быстрыми функции, хотя и в более ограниченной степени. Основным же их предназначением останется экономичная выработка энергии. Двухкомпонентная система, включающая примерно вдвое больше реакторных установок на тепловых нейтронах, чем на быстрых, сможет в перспективе обеспечить совершенное замыкание ядерно-топливного цикла и эффективное производство энергии. На пути к этой цели Россия пока продвинулась дальше, чем какая-либо другая страна.

⁵⁹ Например, «Росатом» предложил так называемое РЕМИКС-топливо для легководных реакторов, состоящее из смеси (в оксидной форме) уран-плутониевого регенерата с ураном, обогащенным до менее чем 20%.

БИЗНЕС: ЗАВОЕВАНИЕ РЫНКОВ

В 1990-е годы содержание огромной атомной отрасли, как отмечалось, стало тяжелым бременем для государственного бюджета России, доходившего тогда до нижних точек упадка. Лишившись ресурсов былой супердержавы, Россия не смогла бы долго поддерживать ядерный комплекс в прежнем масштабе и состоянии, не научись он самостоятельно зарабатывать деньги. Ведь отечественная атомная отрасль напоминала айсберг, большая часть которого — ядерно-оружейный комплекс — скрыта от глаз, причем «военный» сектор в то время только потреблял ресурсы в огромном количестве, по привычке не очень считаясь с расходами, не умея экономить. Гражданский же сектор приносил относительно скромные доходы по сравнению с сырьевыми отраслями, и тоже не блистал экономической эффективностью.

■ Сергей Новиков

**Экс-руководитель департамента коммуникаций
ГК «Росатом»**

«Надо было отдавать себе отчет в том, вопрос энергобаланса — одно дело, а функционирование ядерно-оружейного комплекса — совершенно другое: этот вопрос «не обсуждается» изначально. Однако если «мирный атом» из экономики практически уйдет, поддерживать комплекс ядерного вооруже-

ния станет очень тяжело. Одно дело, когда расходы на инфраструктуру предприятий ядерно-топливного цикла делятся между военной и гражданской составляющими. Если все это финансировать только из бюджета, ситуация гораздо сложнее. На такие затраты государство явно бы не пошло — времена гонки вооружений остались в прошлом. Значит, ядерно-оружейный комплекс неизбежно «завалился» бы и выживать самостоятельно не смог. Все это означало бы серьезную угрозу для безопасности страны».

Именно достижение максимально возможной экономической эффективности отрасли стало одной из главных целей создания и последующей деятельности «Росатома». Эта цель требовала решения нескольких основных задач:

- существенного изменения структуры и принципов отраслевого управления, о чем подробно говорилось в первых разделах;
- выхода из технологического застоя, перезапуска процессов модернизации: выше было показано, как это в действительности происходит в разных секторах атомного комплекса;
- наконец, решение перечисленных задач должно увенчаться наступлением на всевозможных существующих рынках, а также созданием для российской атомной отрасли новых рыночных ниш.

Поскольку государство является практически полным монополистом в атомной сфере, атомная отрасль не может продавать ядерную продукцию сама себе с прибылью. Важнейшим рынком для нее является внешний, зарубежный.

■ **Вячеслав Першуков,**
Заместитель генерального директора «Росато-
ма» — директор Блока по управлению инновациями

«Госкорпорация «Росатом» создавалась прежде всего для бизнес-целей. Ей, конечно, были приданы дополнительные функции, и она является регулятором, выполняет роль министерства и участвует в формировании и распределении федерального бюджета. Но бизнес — прежде всего. Именно потому и объявлена наша программа глобальной атомной экспансии, что внутри России бизнесом нам как монополисту заниматься бессмысленно. Нам некому продавать свои услуги внутри страны, разве что самим себе, поскольку изначально для сохранения полного контроля над единым балансом делящихся материалов государство включило в госкорпорацию и военный комплекс, и горнорудную промышленность, и генерацию энергии, и все остальные сферы. А на международном рынке мы конкурируем с другими игроками, которых в мире по разным позициям более двухсот пятидесяти».

В то же время российская атомная отрасль, будучи одним из мощнейших и наиболее высокотехнологичных индустриальных комплексов страны, вполне способен продавать как ядерную, так и неядерную продукцию другим отраслям и предприятиям в России. Экспансия на этих двух рынках — внешнем и внутреннем — превратилась в одно из главных направлений развития российской атомной отрасли, которое особенно активизировалось в нынешнем столетии. Новые рыночные продукты, создаваемые сегодня «Росатомом», первоначально предназначены, как правило, для внутреннего рынка, но в перспективе могут завоевать и зарубежного потребителя.

ВНЕШНИЙ РЫНОК

Значение внешнего рынка как источника финансовых ресурсов для атомной отрасли существенно менялось на протяжении новейшей истории ядерного комплекса. В Советском Союзе внешнеэкономическая деятельность (ВЭД) в этой сфере ограничивалась в основном (но не исключительно) социалистическими странами и в этих государствах носила больше не коммерческий характер, а скорее была проводником геополитических интересов. Таким образом, финансовая отдача от ВЭД в атомной области не была первоочередной целью.

В 1990-е годы все радикально изменилось: наследница СССР — Россия в тот период практически перестала строить атомные станции за границей, а остатки внешнеэкономической активности приобрели ярко выраженный коммерческий характер. Причем, учитывая состояние внутреннего рынка, денежных расчетов и курса рубля в тот период, валютная выручка от экспорта ядерной продукции по своему значению перевешивала рублевые доходы от большинства коммерческих видов деятельности внутри страны. То есть ограниченная внешнеэкономическая деятельность, которая тогда сводилась главным образом к поставкам урановой продукции и готового ядерного топлива, имела гипертрофированное, раздутое значение для тех атомных предприятий, у которых возможность поставлять что-либо на зарубежные рынки.

К началу 2000-х годов стал оживать внутренний спрос на профильную отраслевую продукцию, за счет прежде всего роста объема продажи электроэнергии АЭС и постепенной нормализации денежных расчетов. В результате реальный объем внутреннего рынка в тот период возрастал. С конца 1990-х началась практическая реализация первых, с постсоветского времени, проектов строительства атомных станций с российским участием за рубежом (АЭС «Тяньвань» в Китае, АЭС «Куданкулам» в Индии, АЭС «Бушер» в Иране). Однако значительную часть доходов от атомного экспорта по-прежнему составляла поставка урановой продукции, в частности, по так называемому соглашению ВОУ-НОУ с США,⁶⁰ которое приносило в среднем порядка 1 млрд. долларов США в год. В то же время на зарубежных рынках топлива реакторов ВВЭР была впервые нарушена российская монополия (выше упоминалось о поставках топлива Westinghouse на атомные станции в Финляндии и Чехи).

Таблица №5

Выручка «Росатома» на внутреннем и внешнем рынках

	Выручка по МСФО, млрд рублей	Зарубежная выручка, млрд долл. США
2013 г.	529,2	4,97
2014 г.	618,3	5,20
2015 г.	821,2	6,26

Характерной чертой постсоветского периода (до возникновения «Росатома») было отсутствие единого центра распределения всех доходов от поставок атомной продукции на внутренний и внешние рынки: большую часть реальной коммерческой активности приходилась на несколько предприятий и компаний («Техснабэкспорт»,

⁶⁰ Соглашение, известное как «Мегатонны в мегаватты» или «ВОУ-НОУ», было заключено между США и Россией в начале 1993 года. Оно предполагало поставку из России в Соединенные Штаты в течение двадцати лет (до конца 2013 года) около 15,3 тыс. тонн урана обогащением до 4,4%, полученного из 500 тонн высокообогащенного урана. Соглашение было полностью выполнено.

ТВЭЛ, «Росэнергоатом» и т.д.), координация деятельности которых была слабее, чем в последующем, при Госкорпорации.

Начиная со знакового для отрасли 2006 года монополия на рынках топлива реакторов российских конструкций была на некоторое время восстановлена. Стала усиливаться активность в других профильных сегментах на зарубежном рынке. В то же время положение «Росатома» на внутреннем рынке профильной коммерческой продукции также укреплялось, в частности, по сравнению с 1990-ми годами в несколько раз вырос объем денежных поступлений с рынка электроэнергии. В последние годы «Росатом» получал сравнимую выручку на внешнем и внутреннем рынках (см. **Таблицу №5**). Зарубежные продажи увеличиваются год от года, в течение нынешнего десятилетия планируется увеличить их примерно в полтора раза. Выручка на внешнем рынке уже заметно превышает уровень 2000-х годов (до 4–5 млрд. долл. США) даже с учетом прекращения гарантированных поступлений по контракту ВОУ-НОУ.

■ Александр Локшин

Первый заместитель генерального директора
ГК «Росатом» по операционному управлению

«Одним из самых важных и правильных решений, которое было принято в новейшей истории российской атомной отрасли, я считаю выход на зарубежные рынки и укрепление наших позиций в этой сфере. С такой стратегией нельзя было запаздывать, и ее начали осуществлять как раз вовремя. ...Возможность осуществить этот прорыв дала программа развития атомной энергетики внутри страны. Это стало решающим фактором: американцы и японцы тогда ничего у себя не строили. А мы приняли свою программу и смогли

восстановить строительно-монтажный и машиностроительный потенциал отрасли, пока остальные только собирались. Мы стали вводить блок за блоком и всех остальных конкурентов опережали на несколько шагов. Это дало нам возможность демонстрировать на международном рынке свои достижения и потенциал на будущее. У возможных клиентов возникало к нам доверие. ...В ходе заседаний межправительственных комиссий постоянно звучали предложения о сотрудничестве в сфере атомной энергетики, она для России была и остается по сей день мощнейшим козырем».

До последнего времени «Росатом» на зарубежных рынках по-прежнему зарабатывал главным образом на урановой продукции и сбыте готового топлива. В то же время ощутимо увеличилась роль поступлений от проектов строительства за рубежом атомных станций по российской технологии (см. **Таблицу №5**).

Таблица №6

Структура зарубежной годовой выручки Росатома, %

	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Строительство АЭС за рубежом	14,2	18,2	25,0
Урановая продукция	41,6	42,8	42,6
ТВС и прочие виды деятельности	44,2	39,0	32,4

К 2030 году Госкорпорация планирует увеличить общую выручку более чем втрое (до 2,8 трлн. рублей), причем доля продаж на зарубежном рынке составит две трети этой суммы. Эти прогнозы исходят из стремительного роста в последние годы долгосрочного портфеля заказов. В частности, объем заказов на десятилетний период составлял в 2010 году \$22 млрд., в 2011 году — \$40 млрд., в 2013 году — \$73 млрд., а по итогам 2016 года — превысил \$130 млрд. На фоне такой дина-

мике существенно меняются приоритеты России на зарубежных атомных рынках: расширение портфеля происходит прежде всего за счет соглашений, связанных со строительством атомных станций — их удельный вес приближается к 70% объема заказов. Поэтому урановая продукция и топливо, которые обычно доминировали в российском атомном экспорте, могут на какое-то время уступить ведущие позиции проектам строительства АЭС. (см. **Таблицу №6**).

Таблица №7

Структура 10-летнего портфеля зарубежных заказов Росатома, %

	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Строительство АЭС за рубежом	47,5	65,1	68,8
Урановая продукция	33,3	21,5	19,1
ТВС и прочие виды деятельности	19,2	13,4	12,1

О позициях «Росатома» на зарубежных рынках топлива и урановой продукции говорилось в разделе о ядерном топливе. Что касается сферы поставки энергетических реакторных технологий, составляющих вершину мирового атомного рынка, то по числу осуществляемых и твердо планируемых за рубежом проектов строительства АЭС (в рамках межправительственных соглашений и коммерческих контрактов) Госкорпорация опередила всех глобальных поставщиков. Лавинообразный рост этого показателя произошел после формирования «Росатома»: так, в нынешнем десятилетии число таких проектов возросло втрое и к началу 2017 года составило 34 энергоблока в 12 странах.

■ Сергей Новиков

**Экс-руководитель департамента коммуникаций
ГК «Росатом»**

«Главный поворотный момент последних лет — пере-

ориентация «Росатома» на внешний рынок, когда стало ясно, что «крест Чубайса» не сошелся и российской национальной энергосистеме просто не нужны наши два энергоблока в год, промышленность в таком объеме генерации не нуждается. Если раньше нас постоянно подгоняли, то теперь стали выяснять, нельзя ли построить АЭС несколько позже, чем планировалось... И «Росатом» совершил свой маневр: если раньше две трети блоков должны были строиться в России, а треть за рубежом, то с 2010 года пропорция поменялась на обратную... Едва мы начали двигаться в этом направлении, произошла авария на Фукусиме, которая подкосила всю мировую атомную энергетику. Но при всем этом наш портфель зарубежных заказов вырос...»

Среди главных причин успехов на внешнем рынке можно выделить две.

Первая заключается в том, что Россию отличает наиболее комплексное рыночное предложение: ни один другой глобальный поставщик не имеет возможности самостоятельно, без привлечения сторонних компаний и организаций, предложить все мыслимые виды продукции и услуг гражданского атомного рынка в любом их сочетании:

- Спроектировать и построить от начала до конца атомную станцию по разработанной самим поставщиком реакторной технологии, на базе произведенного им самостоятельно основного оборудования реакторной установки.
- «Пожизненно» обеспечить АЭС или исследовательский реактор топливом, произведенным из собственного сырья от начала до конца (от добычи руды до готовых ТВС различных видов).
- Взять на себя эксплуатацию АЭС или других объектов.

- Обеспечить полное обслуживание (сервис) АЭС и других ядерных установок.
- Осуществлять переработку ОЯТ или их изоляцию на территории заказчика, производство и поставку топлива из продуктов переработки.
- Построить любые объекты ядерно-топливного цикла, не противоречащие международным нормам нераспространения.⁶¹
- Осуществлять вывод из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов.
- Обеспечить финансирование инвестиций в проект, вплоть до его полной реализации на всех стадиях жизненного цикла (в том числе по схеме Build-Own-Operate — «строй-владей-эксплуатируй», — реализуемой «Росатомом» впервые в проекте АЭС «Аккую» в Турции).⁶²
- Создать производство атомного, энергетического оборудования.
- Создать комплексную базу атомных НИОКР, включая строительство центров атомной науки и технологий, оснащенных всем необходимым, вплоть до исследовательских реакторов и другого оборудования.
- Разработать атомное законодательство и помочь стране-заказчику в создании национальной системы ядерного надзора.
- Обучить со студенческой скамьи, подготовить высококвалифицированные научные и технические кадры для разных сфер атомной отрасли страны-заказчика.
- и т.д.

⁶¹ До настоящего времени лишь два поставщика в мире внедрили за рубежом на законных основаниях свои технологии обогащения урана: «Росатом», чьи центрифужные комплексы построены в Китае, и европейская Urenco, создавшая центрифужный завод в США.

⁶² В таких случаях интерес заказчика состоит в развитии его энергосистемы – получении атомной станции, которая, как правило, становится одним из мощнейших и наиболее эффективных опорных узлов энергосистемы страны.

■ Кирилл Комаров

Первый заместитель генерального директора ГК «Росатом»

«Сегодня клиента волнует не только стоимость строительства АЭС и соответствующая денежная помощь в виде кредитов. Ему надо понять, сколько будет стоить киловатт-час электроэнергии, которую станет производить такая АЭС. Здесь «Росатом» опять же обладает уникальными конкурентными преимуществами. Мы предлагаем всю линейку и может одновременно с контрактом на строительство станции подписать соглашение о поставке топлива на 60 лет вперед — что мы сегодня и делаем. Равно как и контракты на сервис, на помощь в обращении с отработавшим ядерным топливом и т.д. в той же временной перспективе. При таких условиях клиент получает гарантии конечной стоимости киловатт-часа»

Вторая причина успешной экспансии кроется в том, что потенциальные государства-заказчики увидели примеры успешно реализованных проектов. «Росатом» сумел внедрить новые модификации своих ядерных энергоблоков быстрее конкурентов, причем в разнородных правовых, технических и экономических условиях. Это относится к строительству атомных станций «Тяньвань» в Китае, «Куданкулам» в Индии, «Бушер» в Иране. Особенно показательным стало то, что государства, где были возведены АЭС российских проектов, продолжили сотрудничество, решив строить новые блоки. Не случайно переговоры «Росатома» в целом ряде стран достигли успеха именно на фоне завершения первых блоков с ВВЭР, а портфель заказов стал особенно стремительно «толстеть» в последние годы, когда в Китае, Индии и Иране заключался ряд соглашений о дальнейшем внедрении российских технологий.

Важно отметить, что чем шире российские технологии распространяются за рубежом, тем больший потенциальный рынок они создают для российской же отрасли. Ведь, например, ввод в эксплуатацию АЭС тянет за собой потребности в топливе, необходимость обслуживания и ремонта станции, в том числе поставок «запчастей» и расходных материалов, проведения модернизации и т.д. Такие «сопутствующие товары» в течение срока службы энергоблока могут стоить намного больше его строительства.

Конечно, на ряде таких сопутствующих рынков со временем возникает конкуренция, так что «Росатому» придется побороться за место под Солнцем. Однако, во-первых, поставщик оригинальной технологии обычно имеет фору на первых этапах ее внедрения. Такое преимущество сохраняется иногда десятилетиями, что подтверждается все еще небольшой конкуренцией на зарубежном рынке топлива и оборудования ВВЭР. Во-вторых, как показал, например, первый контракт на коммерческие поставки топлива западных реакторов (см. раздел о рынках фронт-энда), сам «Росатом» в долгу не остается и тоже затевает игру на чужом поле.

НОВЫЕ БИЗНЕСЫ

Важнейшим для атомной отрасли коммерческим направлением в границах России остается оптовый рынок электроэнергии (подробнее см. раздел о генерации на АЭС), ежегодная выручка от которого в последние годы превышает 250 млрд. рублей, что сопоставимо с доходами от экспорта.⁶³ Однако политика «Росатома» заключается в том, чтобы не уповать только на давно сложившиеся крупные статьи доходов, а развивать альтернативные коммерческие направления, которые Госкорпорация называет новыми бизнесами или новыми продуктами. К ним относятся коммерческие поставки ядерной и неядерной продукции другим отраслям в России и за ее пределами, прежде всего в следующих рыночных нишах:

- ядерная медицина;
- досмотровые и диагностические системы;
- радиационная обработка (сельскохозяйственной продукции, медицинских инструментов и т.д.);
- вывод из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов;
- обращение с радиоактивными отходами;
- исследовательские ядерные установки, в т.ч. исследовательские реакторы;

⁶³ С учетом существенного изменения курса рубля и снижения покупательной способности национальной валюты в последние несколько лет, значение российского рынка электроэнергии как источника доходов атомной отрасли заметно снизилось. Если раньше этот источник существенно превосходил весь экспорт «Росатома», то в 2015–2016 годов стал заметно и все больше ему уступать.

- реакторы малой и средней мощности;
- поставка быстрых реакторов и создание элементов ЗЯТЦ;
- распределенные возобновляемые источники энергии (ВИЭ — см. Справку...);
- накопители и преобразователи энергии;
- розничные продажи электроэнергии;
- аддитивные технологии (3-D печать);
- суперкомпьютеры и (или) предоставление расчетных услуг;
- цифровое моделирование процессов (физических, технологических и т.п. с помощью суперкомпьютеров);
- цифровое проектирование, разработка (создание многомерных моделей сложных устройств, например, трехмерных моделей ядерного энергоблока);
- автоматические системы управления технологическими процессами (АСУ ТП);
- геофизическое оборудование;
- электротехника;
- энергетическое оборудование;
- станкостроение;
- приборостроение;
- системы безопасности, охранные системы;
- трубопроводная арматура;
- композиционные материалы (композиты);
- опреснение;
- сверхпроводники;
- лазерные технологии;
- автомобильные катализаторы;
- создание новых материалов с уникальными свойствами;
- поставки некоторых видов сырья и материалов.

Доходы от новых продуктов уже достигли существенной величины: суммарная выручка от них в 2016 году превысила 160 млрд. рублей, а портфель заказов на десятилетнюю перспективу — 650 млрд. рублей. Однако значение новых бизнесов не ограничивается деньгами. Во-первых, они позволяют загрузить некоторые избыточные мощности, с пользой задействовать незаурядный кадровый потенциал атомной промышленности и создать множество рабочих мест для высококвалифицированных специалистов, причем в потенциально прибыльных секторах, имеющих перспективу расширения. Во-вторых, развитие некоторых новых продуктов Госкорпорации постепенно обеспечивает технологическую независимость России в тех областях, где пока страна нуждается в импорте (к примеру, информационные технологии, 3-D печать, приборы, сложные станки и т.п.); причем возможности покупки наиболее современных технологий такого рода за рубежом подчас ограничены западными санкциями. В некоторых же сферах «Росатом», наоборот, стремится использовать (коммерциализировать, обратить в прибыль) достигнутое им технологическое преимущество на глобальном фоне: например, в сфере быстрых реакторов, некоторых аспектах получения сверхпроводников, лазерной технике и т.п. В развитие новых бизнесов активно вовлекаются предприятия ядерно-оружейного комплекса, которые являются носителями многих передовых технологий и развивают их гражданское применение.

В перспективе до 2030 года «Росатом» планирует значительно повысить роль новых бизнесов и отчасти изменить состав потребителей новых продуктов:

- Объем новых бизнесов в денежном выражении должен увеличиться в 5 раз, а их доля в выручке Госкорпорации — вырасти с ~15–17% до 30%. Это означает, что новые бизнесы в совокупности

будут сопоставимы с традиционно важнейшими для российской атомной отрасли коммерческими сегментами: оптовой продажей электроэнергии АЭС в России, экспортом урановой продукции, ядерного топлива и строительством АЭС за рубежом.

- Зарубежные продажи должны составить ~2/3 выручки от новых бизнесов (сегодня — менее половины). То есть, как и в остальной коммерческой деятельности, в новых бизнесах к началу 2030-х годов должна преобладать экспортная составляющая.
- Должна снизиться зависимость новых бизнесов от государственного заказа: удельный вес негосударственных закупок (помимо российских и зарубежных госструктур) предполагается увеличить до 30% от выручки, в том числе 10% должны обеспечивать закупки конечных потребителей, а не частных компаний и предприятий. Сегодня свыше 90% закупок новых продуктов «Росатома» приходится на госзаказы, что в случае иностранных государств чревато риском потери некоторых рынков, учитывая нынешнюю внешнеполитическую обстановку вокруг России;

Еще больше предполагается изменить содержание новых бизнесов. Существует большая разница между приоритетными видами новых продуктов в настоящее время и в будущем. В имеющемся портфеле заказов наиболее значительную долю составляют такие позиции, как розничная продажа электричества и поставки продукции энергомашиностроения. В перспективе, как ожидается, важнейшее место займут другие бизнесы, находящиеся сегодня лишь в начальных стадиях коммерческого внедрения или в фазе разработки:

Справка №15

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ)

- К наиболее эффективным возобновляемым энергоисточникам с технической точки зрения относятся крупные гидроэлектростанции (ГЭС). Однако в российской и мировой практике принято отличать от них другие ВИЭ: как правило, небольшие генерирующие устройства, преобразующие в электричество энергию ветра, солнца, органических отходов и т.д.; сюда же относят малые ГЭС (до 10–30 МВт). В отличие от любых крупных электростанций, такие ВИЭ обычно представляют собой сравнительно небольшие генераторы (как правило, не более нескольких мегаватт), используемые по отдельности или группами. Производительность отдельных генераторов и даже их групп, за редким исключением, относительно невелика, поэтому их можно рассматривать как источники, распределенные по энергосистеме — распределенные ВИЭ, в отличие от таких высококонцентрированных энергоисточников, как мощные ГЭС, тепловые электростанции и почти все АЭС.
- Распределенные ВИЭ принято считать наиболее экологичными. В частности, ВИЭ, как и атомные станции, в процессе своей работы совсем или почти не испускают парниковых газов, меняющих климат Земли; не требуют крупных водохранилищ, нарушающих местные экосистемы, как мощные ГЭС. Многие государства устанавливают повышенное налогообложение крупных ГЭС, тогда как распределенным ВИЭ, наоборот, предоставляют особые льготы, сильно увеличивающие их рентабельность. Это служит стимулом для развития рынка ВИЭ и обуславливает интерес к нему поставщиков технологий, включая «Росатом». Госкорпорация, в частности, налаживает производство ветрогенерирующего оборудования на «Атоммаше», а выпуск модульных мини-ГЭС — на своем венгерском заводе Ganz EEM.
 - строительство атомных станций с реакторами средней и малой мощности;
 - распределенные возобновляемые источники энергии (см. Справку...);
 - поставка технологий накопления и преобразования энергии;
 - строительство быстрых реакторов и поставка технологических решений, обеспечивающих частичное замыкание ядерно-топливного цикла;
 - внедрение лазерных технологий;
 - продажа аддитивных технологий;
 - поставка досмотровых и диагностических систем;
 - вывод из эксплуатации ядерных и радиационно опасных объектов;

216

- внедрение технологий сверхпроводников;
- поставка высокопроизводительных компьютеров и предоставление вычислительных мощностей.

Можно привести несколько примеров завоевания новых рыночных ниш российской атомной монополией.

Успехи в создании собственного машиностроительного комплекса позволили «Росатому» расширить предложение оборудования для энергетики на органическом топливе, нефтехимии и других потребителей вне отрасли. Допустим, «Атоммаш» серийно выпускает оборудование газотурбинных установок, которое является основой наиболее современных тепловых электростанций. Дочерние структуры Российского федерального ядерного центра ВНИИТФ поставляют оборудование для реконструкции небольших теплоэлектроцентралей и котельных — основы системы отопления во многих районах России.

Формирование единого проектно-строительного комплекса атомной отрасли, восстановление строительных компетенций, открыло возможность продвижения на рынки проектирования и строительства (а не только выпуска оборудования) тепловых электростанций в России и за рубежом. Среди примечательных примеров — Юго-Западная ТЭЦ в Санкт-Петербурге, спроектированная СПбАЭП (ныне АО «Атомпроект») или Южноуральская ГРЭС-2, построенная «Атомстройэкспортом» для энергокомпании «Интер РАО». Обе станции, оснащенные новейшими парогазовыми установками, стали одними из наиболее современных в России объектов генерации на органическом топливе.

■ Валерий Лимаренко

Президент Группы компаний ASE

«В наших планах не только «атомная экспансия» по всему миру, но и диверсификация, проникновение

217

в другие сферы. Мы в этом отношении «сняли пробу» и вошли в тепловую энергетику, и, похоже, достаточно успешно. Более того: «ИнтерРАО», который как заказчик на рынке тепловой генерации является лидером, нашу компанию ставит на первое место».

Развитие в федеральных ядерных центрах оборонного профиля (ВНИИТФ и ВНИИЭФ) собственных технологий высокопроизводительных электронно-вычислительных машин (ЭВМ) позволило Росатому самому применять эту технику, а также продавать ее крупным российским компаниям (в ракетно-космической, авиационной и других отраслях) или предоставлять им в аренду вычислительные мощности. Современные суперкомпьютеры позволяют моделировать реальные технологические и природные процессы (климатические явления, сейсмические воздействия при землетрясениях, процессы в ядерном реакторе и т.п.), а также осуществлять проектирование на основе построения многомерных цифровых моделей (например, визуализированной до мельчайших деталей трехмерной модели завода или энергоблока станции) и проводить виртуальные испытания сложных конструкций и агрегатов. Благодаря этому число натурных испытаний сокращается, процесс создания новой техники удешевляется, порой, на десятки процентов. Эта область — один из примеров импортозамещения высокотехнологичной продукции, подпадающей под западные санкции.

Развитие «Росатомом» производства композиционных материалов, используемых в атомной отрасли (например, при строительстве АЭС или изготовлении центрифуг для обогащения урана),⁶⁴ открыло перспективу

⁶⁴ Роторы некоторых моделей центрифуг для обогащения урана вращаются со скоростями, на порядок превосходящими обороты двигателя гоночного болида Формулы-1. Однако, в отличие от мотора суперкара, центрифуги вертятся годами. Ни авиационные

продвижения этой продукции в других отраслях, где требуются материалы с особыми свойствами. В частности, для разработки и производства композитов на основе углеволокна Госкорпорация постепенно сформировала собственный холдинг во главе с компанией «Химпроминжиниринг», занявший ведущие позиции на российском рынке этой продукции и в перспективе планирующий стать значимым игроком на мировом рынке. Холдинг включает подразделение НИОКР и три производственных предприятия, два из которых поставляют продукцию для оборонно-промышленного комплекса России, а третье — новый завод «Алабуга-Волокно», открытый весной 2015 года в Татарстане — ориентировано на коммерческие поставки. Ряд других дочерних структур Госкорпорации (например, «НИИГрафит») также развивают другие технологии композитов.

Атомная отрасль оказалась в числе первых в России, где внедряются аддитивные технологии в серьезных производственных процессах, прежде всего для создания деталей сложного профиля, а также прототипных изделий. При этом «Росатом» стал пионером в освоении выпуска средств производства в этой сфере — промышленных 3D-принтеров по металлу. Такие устройства требуют синтеза высоких технологий в нескольких разных областях: лазерная, вакуумная, цифровая техника, средства автоматизации и материаловедение. Во всех этих сферах «Росатом» является одной из наиболее компетентных организаций в нашей стране, а по ряду аспектов — и в мире.

алюминиевые сплавы, ни особо прочная мартенситно стареющая сталь, ни титан, как правило, не выдерживают центробежных нагрузок и резонансных колебаний наиболее современных, так называемых надкритических центрифуг. В этих условиях применяются современные композиты, сочетающие лучшие свойства разных материалов. Например, ряд полимерных композитов, обладая меньшим весом, чем сталь и другие сплавы, превосходят их по прочности на разрыв, усталостной прочности, коррозионной стойкости, модулю упругости.

До недавнего времени российские предприятия практически полностью зависели от зарубежных поставщиков оборудования для 3D-печати и необходимых расходных материалов — мелкодисперсных металлических порошков с особыми характеристиками (российские порошки прежде не годились). Однако высокая стоимость сырья (для российских потребителей — до 1 тыс. долларов США за килограмм и выше) и возможные ограничения на поставку 3D-техники в нашу страну потребовали срочного развития собственных, отечественных технологий в этой области. В период с 2014 по 2016 годы ряд дочерних структур «Росатома» во главе с ЦНИИТМАШ создали первый в России промышленный 3D-принтер по металлу, в котором применяются металлические порошки российского производства (сплавов железа, никеля, титана, кобальта, алюминия и т.д.). После освоения усовершенствованных серийных конструкций таких принтеров, «Росатом» планирует обеспечивать импортозамещение в этой сфере и к концу нынешнего десятилетия выйти на внешний рынок. В России первоочередной интерес к аддитивным технологиям проявляют предприятия атомной, авиационной, ракетно-космической и некоторых других отраслей.

Существенное развитие в атомной отрасли получили лазерные технологии. Потенциал их применения в гражданской сфере весьма широк. Помимо упомянутого использования в 3D-принтерах, среди примеров коммерческого внедрения этих технологий можно назвать мобильные лазерные технологические комплексы, создаваемые в Троицком институте инновационных и термоядерных исследований (АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»). По существу речь идет о воплощении в жизнь фантастики — гиперболоида инженера Гарина, придуманного писателем Алексеем Толстым в 1920-е годы. Так, лазерный луч уста-

новки МЛТК-20, созданной ТРИНИТИ, способен дистанционно (на расстоянии 50–100 метров) разрезать металлические конструкции толщиной до 10 см, причем даже в условиях непрозрачной атмосферы, например, при задымлении. Это открывает широкие перспективы практического применения: установку можно использовать, например, при утилизации аварийных подводных лодок и кораблей, ликвидации аварий на газовых и нефтяных скважинах, в том числе в арктических условиях и т.д.

Одним из первых ярких примеров практического применения этой технологии в гражданских «неатомных» отраслях стала ликвидация в 2011 году пожара на газовой скважине «Газпрома» на Западно-Таркосалинском месторождении, осуществленная с помощью лазера. В этом случае доступ к очагу пламени был закрыт поврежденными металлическими конструкциями, что в условиях высокой температуры мешало подобраться к ним обычными способами. Лазер позволил дистанционно «разобрать» завалы и погасить пламя.

По оценкам «Росатома», в перспективе 10–15 лет одной из наиболее многообещающих и объемных рыночных ниш для Госкорпорации станут устройства накопления и преобразования энергии. Из разработок завтрашнего дня, которые только подходят к порогу внедрения, стоит назвать ядерную батарейку на основе никеля, высокообогащенного (более 80%) искусственным изотопом никель-63. Такой проект осуществляется под координацией Горно-химического комбината. В отличие от привычных элементов питания (аккумуляторов и т.п.), в которых используется, в конечном счете, энергия химических реакций, в создаваемой батарейке электрический ток возникает в результате воздействия бета-излучения на полупроводник. Источником этого излучения служит изотоп никель-63. Элемент питания на его основе отли-

чается от существующих аналогов в сотни раз большей энергетической плотностью при намного меньших габаритах, и способностью работать в течение десятков лет. Это открывает широкие возможности применения таких батареек микроваттного уровня мощности в медицине (кардиостимуляторы, нейростимуляторы и др.), системах контроля (состояния инженерных конструкций, разветвленных сетей и т.п.), охранных и навигационных системах, оборонной сфере, источниках питания ответственной электроники и т.д. Другими словами, в сферах, где требуется очень длительная, надежная работа с малыми токами без перезарядки. Пока эта технология в массовом масштабе в мире не применяется, в частности, из-за проблем с получением высокообогащенного никеля-63 по приемлемой стоимости. «Росатом» рассчитывает выйти на рынок с собственной коммерческой технологией в ближайшие годы.

■ Кирилл Комаров

Первый зам. генерального директора ГК «Росатом»

«Мы перешагнули одну очень важную планку в конкуренции. Мы давно уже соревнуемся не с «Areva» или «Westinghouse», а с другими производителями электроэнергии. Еще через один шаг вперед станем конкурировать с иными способами не только производства, но и хранения электроэнергии, ее доставки к конечному потребителю. Мир «умных сетей», мир распределенной генерации неизбежно будет влиять на все, что мы делаем. В этом смысле маховик преобразований, который мы запустили в 2005 году, был крайне важен».

Как видно, российская атомная отрасль перешла от «глухой обороны» к широкому наступлению на внутрен-

них и внешних рынках. При этом речь идет не только о профильных «ядерных» видах деятельности, но и других наукоемких сферах, где «Росатом» становится ядром консолидации, центром развития высоких технологий, пользующихся спросом в России и мире.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, в нынешнем столетии, и особенно за последние лет десять, ситуация в атомной отрасли радикально изменилась:

- Состояние полураспада сменилось консолидацией в слаженный комплекс, управляемый из единого центра. Ушедшие было на сторону ключевые активы возвращены под отраслевое крыло.
- Спад ядерной генерации уступил место ее мощному подъему.
- На смену полной остановке атомного строительства пришли десятки реализуемых проектов в России и за ее пределами.
- Едва не возникший хаос в сфере бэк-энда предотвращен, ситуация стабилизировалась и начала улучшаться.
- Разрывы в технологических цепях, образовавшиеся в годы распада страны и отрасли, устранены; потерянная прежде сырьевая база в значительной степени восполнена.
- Приостановка процессов обновления и начавшееся местами отставание от мировых трендов в ядерной технике сменились массовой модернизацией во всех секторах отрасли.
- Прекратилась сдача позиций на некоторых исконно российских внешних рынках, более того,

усиливается проникновение в новые рыночные ниши в стране и за рубежом.

- Формирование единого проектно-строительного комплекса положило конец деградации атомного строительства и нарастающему разнообразию в проектировании.
- На смену монополизации и ослаблению атомного машиностроения пришли благотворная конкуренция в этой области и значительное расширение мощностей. Это устраняет проблему нехватки производственных возможностей для выполнения заказов на сооружение ядерных объектов в стране и за рубежом.
- Если раньше некоторые организации теряли атомный профиль, то сегодня многие из них перешли от восстановления отраслевых компетенций к приобретению новых сфер специализации, созданию новых бизнесов.
- Атомный флот, едва не отправленный на металлолом, начал обновляться и оседлал волну нарастающих грузоперевозок в Арктике.
- Финансовый кризис многих отраслевых организаций сменился стабильным укреплением бизнес-показателей объединенного атомного комплекса, показавшего уверенный рост в нижней точке спада остальной российской экономики.
- Перспектива медленного умирания отрасли сменилась созданием новой технологической платформы ядерной энергетики будущего.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
ОТРАСЛЬ: ПЕРЕЗАГРУЗКА	5
ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА	10
В ПРЕДДВЕРИИ ПЕРЕМЕН	19
ПЕРЕЛОМНЫЕ ГОДЫ	22
СТРУКТУРИРОВАНИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ	31
ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ	41
АЭС: ГЕНЕРАЦИЯ УСПЕХА	54
ВМЕСТЕ С РЫНКОМ	57
СТРОИТЕЛЬСТВО АЭС	62
РАЗВИТИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ГЕНЕРАЦИИ	66
ФРОНТ-ЭНД: НА ПЕРЕДНЕМ КРАЕ	75
РЕСТРУКТУРИЗАЦИЯ	77
ПРОИЗВОДСТВО	82
КОНКУРЕНЦИЯ	91
БЭК-ЭНД: ГЕНЕРАЛЬНАЯ УБОРКА	99
НА «ЗАДНЕМ ДВОРЕ» ОТРАСЛИ	101
ЧТО СДЕЛАНО	106
ЧТО ПРЕДСТОИТ СДЕЛАТЬ	125
АТОМНЫЙ ФЛОТ: НАПРОЛОМ	136
ОТ ИСТОКОВ	138
ПЕРСПЕКТИВЫ ФЛОТА	143
MADE in ROSATOM: ОТ «А» до «Я»	149
ДЕЛАЕМ САМИ	151
СТРОИМ САМИ	159
ТЕХНОЛОГИИ: ПРОРЫВ	167

ЭВОЛЮЦИЯ	169
РЕВОЛЮЦИЯ	183
БИЗНЕС: ЗАВОЕВАНИЕ РЫНКОВ	200
ВНЕШНИЙ РЫНОК	203
НОВЫЕ БИЗНЕСЫ	212
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	224

