ВЕСТНИК АТОМПРОМА

тема номера

#7 | Август–Сентябрь | 2020

Атомная отрасль

В России и мире, вчера и сегодня

75 ЛЕТ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ОПЕРЕЖАЯ ВРЕМЯ

Содержание

В центре внимания

Между завидным и ковидным

3–9 стр.

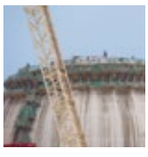
Мирный атом к 75-летнему юбилею оказался перед новыми вызовами

Настоящее и будущее

Стройтесь, реакторы, большие и малые

16–21 стр.

Направление малой атомной энергетики становится сегодня все более популярным за рубежом



АЭС в России и мире

Атом стабильности

10–13 стр.

С активным строительством возобновляемой энергетики энергосистемы все равно нуждаются в базовой безуглеродной мощности АЭС

Исторические хроники

Великое атомное прошлое

22–23 стр.

Ключевые события советского атомного проекта

ВЕСТНИК АТОМПРОМА

№7, август – сентябрь 2020 года

Информационно-аналитическое издание

Редакционный совет
Г. М. Нагинский, М. В. Ковальчук, К. Б. Зайцев, Л. А. Большов, Г. И. Скляр.

Главный редактор
Владимир Степанов (Дзагуто).

Выпускающий редактор
Ольга Еременко.

Дизайн и верстка
Никита Барей, Кирилл Филонов.

Корректор
Алёна Капыльская.

Учредитель, издатель и редакция
Общество с ограниченной ответственностью «НВМ-пресс».

Адрес редакции
129110 Москва,
ул. Гиляровского, д. 57, с. 4.

Отдел распространения и рекламы
Татьяна Сазонова
sazonova@strana-rosatom.ru
+7 (495) 626-24-74.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-59582 от 10 октября 2014 года.

Тираж 1910 экземпляров.
Цена свободная.
Подписано в печать: 21.09.20.

При перепечатке ссылка на «Вестник атомпрома» обязательна. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

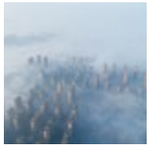
Суждения и выводы авторов материалов, публикуемых в «Вестнике», могут не совпадать с точкой зрения редакции.

Исторические хроники

Несоветские атомные проекты

24–30 стр.

Стратегии развития атомной отрасли за рубежом в эпоху атомного романтизма



Экология и бизнес

Углеродный гамбит

31–33 стр.

Ежегодная дополнительная финансовая нагрузка на российский экспорт в период 2020–2030 годов может составить от €4 млрд до €8 млрд

Сырьевые рынки

Урановые трудности от «Фукусимы» до коронавируса

36–39 стр.

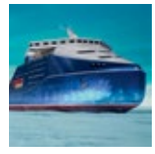
Динамика цен будет в значительной степени зависеть от дальнейших действий уранодобывающих компаний в условиях пандемии

Повестка диверсификации

Корпорация изобретений

42–45 стр.

«Росатом» и сейчас остается одним из лидеров в сфере изобретательства и создания уникальной интеллектуальной собственности



Исторические хроники

Современность и будущее

46–47 стр.

Ключевые события российской атомной отрасли

Мнение редактора

Привычка к новому дана

48–51 стр.

Не только настоящее, но и вся история отечественного атомного проекта – это история инноваций

Особое мнение

Теневая сторона атомного проекта

54–55 стр.

Федор Буйновский о роли Лаврентия Берии в истории и науке

Главный редактор «Вестника атомпрома»
Владимир Степанов (Дзагуто)

От 75 и старше

Попытка юбилейной речи с экскурсом в долгосрочное прогнозирование

Солидные юбилеи (а 75 лет — солидная дата для кого угодно) обычно являются хорошим поводом для воспоминаний: как юбиляр и его близкие зажигали в молодые годы, каких высот добивались в зрелости, как благородно старели и какое наследство готовятся оставить следующим поколениям. С мемуарным жанром в атомной индустрии действительно все довольно неплохо. Отрасли есть что вспомнить из того, что не стыдно внукам рассказать. И с наследием тоже все отлично: атомные проекты живут десятилетиями, а некоторые — и дольше, чем люди. Так что в любом случае для торжественных речей повод найдется.

С прогнозами на будущее сложнее. Даже в относительно стабильные эпохи предсказание будущего — это всегда отчасти фьючерсная сделка-пари. А нынешнее время сложно назвать стабильным: работает слишком много внешних политических, экономических и даже эпидемиологических факторов, искажающих плавное течение истории. Иногда можно и поскучать, например, по 70–80-м годам прошлого века. В учебниках их, конечно, определяют унылыми терминами «застой» или «холодная война», но для прогнозирования это было крайне удобно. АЭС строились, реакторы работали, атомный проект из переднего края науки быстро превращался в мощную промышленную отрасль. Будущее казалось однообразно светлым и предопределенным на века. Правда, в конце столетия ту эру «атомного романтизма» вспоминали со смешанными чувствами — так, как взрослые, умудренные житейским опытом люди, воскрешают в памяти свою бурную молодость.

Рассказов о достижениях атомной отрасли к 75-летию будет много. Этот номер «Вестника атомпрома» тоже внесет свой вклад. Впрочем, от попыток прогнозирования мы тоже не откажемся, хотя, наверное, они и не будут выглядеть четкими и размеренными планами. Разброс возможных сценариев крайне велик. Еще в июньском номере, например, мы подробно рассказывали о перспективах новой энергетики в эпоху экологических ограничений и о том, что атомная отрасль пока не определилась с тем, как встроиться в эту идеологическую повестку. Впрочем, время еще есть: как и было сказано, атомные технологии — это стайерская дисциплина, где победы достаются тем, кто рассчитывает на десятилетия.

Например, еще как минимум на следующие 75 лет.

Текст: Владимир Дзагуто
Фото: «Росатом», ТАСС

На фото

Доставка лопастей для Кочубеевской ВЭС из порта Новороссийска

Между завидным и ковидным

Что можно отметить в год 75-летия атомной отрасли и пандемии коронавируса

Атомная индустрия России к 2020 году подошла в завидном состоянии. Наследие огромного советского атомного проекта пережило период безвременья 1990-х годов, начало восстановление в 2000-х, а после образования госкорпорации «Росатом» в 2007 году отечественный мирный атом продемонстрировал удивительные темпы развития. К началу пандемии госкорпорация закрепилась в числе лидеров во всех секторах атомной отрасли и начала активно захватывать смежные направления бизнеса и искать новые продукты для дальнейшего развития. Превращение «Росатома» из атомной компании в многопрофильный промышленный холдинг может дать госкорпорации дополнительные степени свободы и новые возможности в ожидаемый период выхода из пандемического кризиса.

75-летие отечественной атомной отрасли приходится, к сожалению, на 2020 год, когда эпидемия коронавируса перекраивает все планы и обрушивает ведущие экономики мира. В такое время довольно сложно отмечать прошлые успехи и предвидеть будущие достижения: всегда есть риск, что общую картину слишком искажает фактор пандемии. Причем не всегда ясно, в какую сторону идет искажение. В ряде отраслей можно обнаружить, что некоторые игроки

На фото

Физический пуск Белорусской АЭС. Август 2020

даже выигрывают от COVID-19. Так, к примеру, когда «Вестник атомпрома» писал про перспективы транспортной отрасли, эксперты замечали, что, когда речь идет о грузоперевозках по маршрутам Китай-Европа, железная дорога оказывается в плюсе, поскольку получает основную часть грузов, которые раньше перевозились в багажных отсеках пассажирских самолетов. Если мы говорим об урановой отрасли, часть игроков тоже в выигрыше, так как на фоне пандемии закрываются горнодобывающие предприятия их конкурентов.

2019 год как новый 1913-й

Можно исходить из того, что коронавирусные ограничения и связанный с ними спад экономики — это не новая реальность, а временный фактор, который в перспективе 2021–1922 годов уйдет в прошлое. Тогда, наоборот, получается, что норма — это состояние образца 2019 года, когда в мировой экономике были совсем иные тренды и на состояние отраслей влияли не форс-мажорные обстоятельства пандемии, а совсем другие факторы (впрочем, подчас не менее форс-мажорные). Вроде торговой войны Китая и Америки, подрывающей благосостояние целых отраслей, или европейского «зеленого перелома», когда всю экономику заставляют перестраиваться на модель безуглеродного производства и грозят за выбросы парниковых газов всеми возможными земными карами финансового свойства. Тогда, возможно, именно с показателями 2019 года в будущем придется сравнивать уровни текущего развития, как при СССР развитие экономики и общества сравнивали с 1913 годом, последним годом мирной экономики в досоветскую эпоху.

Доковидное состояние отечественного мирного атома можно считать если и не безоблачным, то вполне стабильным. Генеральный директор «Росатома» Алексей Лихачев в марте говорил корпоративному изданию «Страна Росатом», что выручка госкорпорации за 2019 год «по открытому контуру выросла и составила 1,2 трлн руб., это на 12 % выше, чем в 2018 году». Напомним, что впервые за символический порог «триллион в год» «Росатом» перевалил годом ранее: в 2018 году выручка госкорпорации по открытой части составила 1,064 трлн руб. Отдельно он отмечал успехи машиностроительного и арктического дивизионов, которые в четвертом квартале дали «8,5 млрд рублей дополнительной выручки», рост на 11 % выше целевых показателей доходов от новой продукции и рекорд выработки электроэнергии, установленный АЭС «Росэнергоатома»,— 208,8 млрд кВт·ч. При этом глава госкорпорации отмечал, что ситуация на рынках остается нестабильной, а цены на продукцию ядерного топливного цикла низкие.

Отчет «Атомэнергопрома» (объединяет большую часть гражданских активов «Росатома») доковидный 2019 год тоже представляет вполне успешным. Консолидированная выручка по МСФО по компаниям «Атомэнергопрома» выросла на 12,5 %, до 886,8 млрд руб., показатель EBITDA — на 42,2 %, до 346,6 млрд руб. Правда, упала на 33,2 % чистая прибыль по МСФО, до 140,4 млрд руб., что в отчетности связывается с влиянием разовых доходов, учтенных в 2018 году, и курсовыми разницами. «Без учета влияния указанных факторов рост прибыли составил бы 17,0 млрд руб. (12,5 %)»,— отмечено в отчете. На 2020 год «Атомэнергопром» также закладывал рост выручки до 931,8 млрд руб. (примерно на 5 %).

На фото

Открытие памятника главе атомной отрасли СССР, Ефиму Павловичу Славскому. Мероприятие приурочено к 75-летнему юбилею атомной промышленности

Цитата

«По-прежнему нестабильной является ситуация на финансовых и товарных рынках, сохраняются низкие цены на продукцию ядерного топливного цикла. В этих условиях мы были вынуждены в течение всего года искать дополнительные ресурсы». Март 2020 года.

«В принципе на горизонте 20–25 лет мы будем стремиться к цифре 25% генерации» (в энергобалансе России.— «Вестник атомпрома»). 14 сентября 2020 года.

Алексей Лихачев, генеральный директор госкорпорации «Росатом».

По целому ряду показателей «Росатом» остается в лидерах атомной отрасли, начиная с того, что госкорпорация по-прежнему является единственной коммерческой структурой, которая удерживает компетенции во всех частях производственной цепочки мирного атома. В большинстве случаев «Росатом» при этом сохраняет лидерские позиции. Как, например, по объему портфеля заказов на строительство АЭС за границей, который в 2018 году достиг 36 энергоблоков и сохранился на том же уровне в 2019 году (25 энергоблоков строится).

Ядерно-топливная стабилизация

Низкие цены на продукцию ядерно-топливного цикла, о которых в марте говорил Алексей Лихачев, касаются, в частности, рынка природного урана. В 2019 году здесь отмечалась «низкая активность конечных потребителей на фоне торговых и политических неопределенностей». Среднегодовая спотовая цена на природный уран с 2016 года держалась ниже $30 за фунт, а в 2017 году достигала минимума в $22 за фунт. Только в 2019 году она поднялась на 5%, до $29 за фунт (расчеты АРМЗ на основе данных UxC). В 2020 году на фоне пандемии коронавируса цены пошли вверх и вступили в период некоторой волатильности, связанной, в частности, с неопределенностью с возобновлением работы ряда рудников, закрывавшихся из-за COVID-19 (подробнее см. материал про рынок урана в этом же номере «Вестника атомпрома»).

В том же 2017 году было достигнуто и ценовое дно на рынках конверсии урана: $5,3 на кг для рынка Северной Америки и $5,7 для рынков Европы. Тем не менее, в 2019 году эти котировки уверенно пошли вверх. Среднегодовые спотовые котировки для рынка Северной Америки выросли на 83%, до $18,3 за кг урана, а для рынка Европы — на 76%, до $18,1 за кг. Среднегодовые долгосрочные котировки поднялись на 17 и 15% соответственно. Это связывается с дефицитом предложения в секторе. Также в 2019 году выросли и мировые потребности в обогащении урана, составившие 56 млн ЕРР. Одновременно с балансировкой спроса и предложения среднегодовые спотовые котировки на обогащение урана в 2019 году выросли на 25%, до $45, долгосрочные — на 11%. Но еще в 2012–2014 годах спотовые котировки на обогащение урана были более чем в два раза выше. Так, в 2012 году среднегодовая спотовая цена составляла $128 за ЕРР.

«Росатом» стабилизировал свое положение на фоне конкурентов во всех звеньях топливной цепочки. Госкорпорация остается традиционным лидером сектора обогащения урана, в 2019 году на Россию приходилось 38% мирового рынка. В секторе фабрикации ядерного топлива, который по-прежнему достаточно жестко привязан к типам и моделям реакторов, «Росатом» занимает 16% рынка, уступая американской Westinghouse и французской Framatome.

Госкорпорация стабилизировала позиции и на высококонкурентном, но пока не выбравшемся окончательно из ценовой ямы рынке добычи урана. На предприятия «Росатома» (с учетом казахстанских активов Uranium One) в 2019 году приходилось 14% добычи. Впереди был «Казатомпром», удерживающий четверть этого сектора, чуть позади, на третьем месте,— китайские

1,2 *трлн руб.*

выручка «Росатома» в 2019 году
по «открытому контуру»

886,8 *млрд руб.*

консолидированная выручка «Атомэнергопрома»
в 2019 году

140,4 *млрд руб.*

прибыль «Атомэнергопрома» в 2019 году

101,1 *млрд руб.*

чистая прибыль «Росэнергоатома»
по РСБУ за 2019 год

208,8 *млрд кВт·ч*

выработка АЭС «Росэнергоатома» в 2019 году

899,6 *млн руб.*

чистая прибыль «Атомредметзолота» по РСБУ
за 2019 год

47,7 *млрд руб.*

прибыль АО «ТВЭЛ» по МСФО за 2019 год

752,3 *млрд руб.*

десятилетний консолидированный портфель заказов
«Атомэнергомаша» по итогам 2019 года

$259,8 *млн*

прибыль «Техснабэкспорта» по МСФО
за 2019 год

госкомпании CGN и CNNC, проводившие ранее активный поиск урановых активов за рубежом. При этом сырьевая база по урану российской госкорпорации остается относительно стабильной. В 2019 году запасы в РФ составили 512,7 тыс. тонн, за рубежом — 192 тыс. тонн. Годом ранее эти показатели составляли соответственно 520,7 тыс. тонн и 197,1 тыс. тонн. Производство урана предприятиями «Росатома» в 2019 году увеличилось на 3,3%, до 7528 тонн (в том числе 4617 тонн в Казахстане).

В колебательном контуре спроса

Для атомной отрасли существование в коронавирусные времена тоже оказывается не самым простым. Атомная индустрия чувствительная к состоянию экономики так же, как и энергетика в целом. В качестве примера приведем падение спроса на электроэнергию в России, что не может не сказываться и на атомном секторе.

Ключевым элементом выручки «Росатома» является электроэнергетика. Этот сегмент, согласно отчету «Атомэнергопрома», в 2019 году принес компании 507 млрд руб. (более 57% от выручки компании). При этом рост доходов относительно 2018 года составил более 18%. Но в 2020 году, судя по состоянию на отечественном рынке электроэнергии и спад экономики России, рассчитывать на такие темпы роста, по всей видимости, не приходится. Потребление электроэнергии по итогам года коронавируса явно окажется ниже прогнозных показателей.

Насколько сильно упадет потребление электроэнергии в России профильные ведомства пока понимают не до конца. Весной регуляторы отрасли еще рассчитывали пессимистические сценарии с учетом долгосрочного падения и стагнации, но уже летом в прогнозах все чаще стали звучать оптимистичные ноты. В середине апреля замглавы Минэнерго России Евгений Грабчак в интервью «Коммерсанту» говорил о гораздо более сильном спаде спроса. Даже в оптимистическом сценарии — с относительным торможением снижения во втором полугодии (8% во втором квартале, 4% — в третьем, 2% — в четвертом) — он прогнозировал спад на 3,6% по итогам 2020 года. В более тяжелых сценариях — пессимистичном и шоковом — потребление электроэнергии снижалось, по апрельским расчетам Минэнерго, на 8,2 и 10,1% соответственно. Но последние прогнозы в основном укладывались в диапазоне от 2% или несколько выше. Так заместитель директора «Системного оператора ЕЭС» Денис Пилениекс на заседании комитета по энергетике Госдумы в июле давал осторожный, по его словам, прогноз по снижению спроса на электроэнергию в России в целом за год в 2,1%.

Летом и прогнозы Минэнерго России заметно улучшились. Тогда министр Александр Новак отмечал, что спрос на электроэнергию «частично восстановился». «В последние две-три недели он даже выше, чем в прошлом году,— говорил он в июле на коллегии министерства.— Поэтому надеемся, что здесь будет восстановление рынка до конца года». Евгений Грабчак

тогда прогнозировал уже всего 2,4% снижения потребления электроэнергии в России в 2020 году. Выход на уровни докоронавирусного 2019 года он ожидал в 2021-м.

А уже в сентябре Александр Новак говорил о том, что с начала года спад спроса на электроэнергию составил 2,3%, и возлагал надежды на гораздо более быстрое восстановление в пиковый осенне-зимний период (ОЗП). По его словам, во время ОЗП 2020–2021 годов прогнозировалось увеличение потребления на 1,6%.

При этом пока падение потребления в России заметно сильнее годовых прогнозов. Так, например, по оперативным данным «Системного оператора», за январь-август спрос на электроэнергию в целом в РФ составил 683 млрд кВт·ч, что на 2,8% меньше, чем в первые восемь месяцев 2019 года. С поправкой на високосный год падение чуть заметнее — 3,2%. По отдельным месяцам картина может чуть меняться. Так, например, август показал снижение спроса на 3,3%, июль, который, напомним, внушал Александру Новаку осторожный оптимизм,— на 2,5%, июнь — сразу на 5,9%.

Падение экономики затронуло все сектора отечественной энергетики: спад выработки коснулся всех типов генерации, хотя и в различной степени. Например, за первые восемь месяцев сильнее всего в относительном выражении в Единой энергосистеме (ЕЭС) России упало производство тепловой генерации (сразу на 10,9%, до 361,5 млрд кВт·ч) и гидроэлектростанций (на 14,3%, до 138,4 кВт·ч). Атомные электростанции прошли этот период с минимальными потерями: всего 0,8% спада и производство 135,6 млрд кВт·ч в январе-августе (отметим, что за пределами ЕЭС России работают лишь маломощные Билибинская АЭС и ПАТЭС «Академик Ломоносов» на Чукотке).

Это дает некоторый шанс если не на повторение прошлогоднего рекорда выработки «Росэнергоатома», то как минимум на незначительный спад. При этом Алексей Лихачев уже в середине сентября замечал в интервью «Эху Москвы», что если доля атомной генерации в России по 2019 году составляла 19%, то «в этом году с учетом снижения общей генерации мы, скорее всего, по удельному весу подойдем к 20%».

Тем не менее российские АЭС в последнее время демонстрировали от месяца к месяцу значительные колебания выработки относительно уровней 2019 года. Например, в июне практически весь спад потребления ударил по ТЭС, их выработка в ЕЭС России рухнула сразу на 21,3%, до 33,7 млрд кВт·ч. Остальные сектора генерации — ГЭС, АЭС и электростанции промпредприятий — росли, атомная энергетика в этом месяце выработала сразу 16,4 млрд кВт·ч, что на 0,9% выше, чем годом ранее. В мае при спаде потребления в России на 5,3% выработка АЭС поднялась до 17,2 млрд кВт·ч, на 9,1% выше, чем в мае 2019 года. В наименее проблемном для энергетики июле, при относительной стабилизации спада, производство на АЭС снизилось сразу на 8,7%, до 15,9 млрд кВт·ч.

Цитата

«Она (пандемия коронавируса.— «Вестник атомпрома») укрепила нас в уверенности, что выбрано правильное направление для развития и двигаться нужно еще быстрее, так как объем грузоперевозок будет только расти». Июль 2020 года.

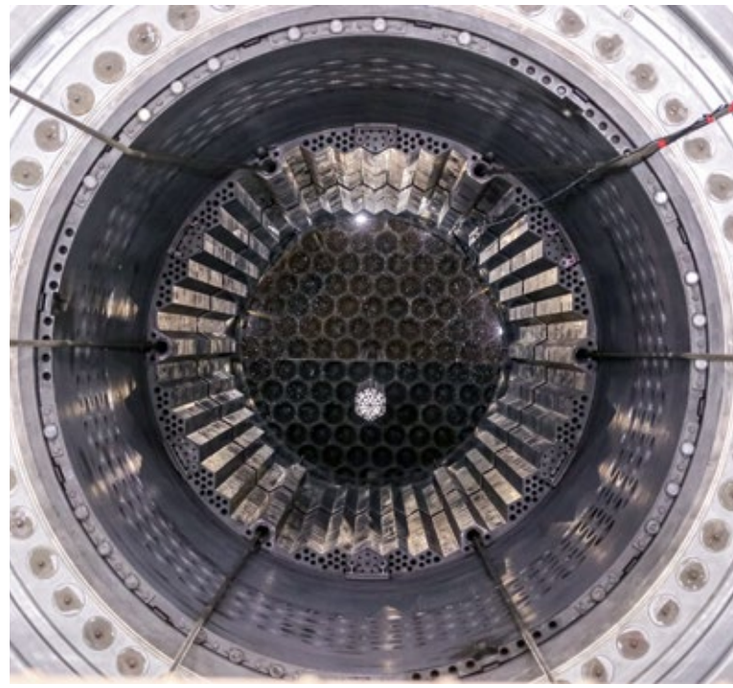
Екатерина Ляхова, директор по развитию бизнеса «Росатома».

Из этих данных можно сделать осторожный вывод, что восстановление нормальной, докоронавирусной схемы работы отечественной энергетики идет скачками и крайне неравномерно. И какой из секторов по результатам 2020 года окажется в выигрыше, предсказать сложно. Так, при сильном спаде теряют долю рынка в основном тепловые станции, при относительном восстановлении они же первыми набирали прежние показатели, тесня конкурентов. В целом это очень похоже на эффект нормальной работы оптового рынка электроэнергии: при спаде эта маржинальная модель провоцирует вымывание наиболее дорогой выработки — старых ТЭС с низким КПД и высокими топливными затратами. Атомная энергетика (вместе с рядом других привилегированных типов генерации) отбирается энергорынком в приоритетном порядке и поэтому при кризисе или экономическом спаде теряет долю в общем объеме потребления медленнее.

Еще один фактор нестабильности связан с неравномерностью распределения спада по регионам. Для АЭС «Росэнергоатома» ключевыми являются энергосистемы Центра, Северо-Запада, Средней Волги, Урала и Юга, где расположено большинство станций. При этом ряд этих энергосистем в наибольшей степени пострадал от снижения экономики России. Например, за январь-август в объединенной энергосистеме (ОЭС) Средней Волги спад потребления электроэнергии составлял, по данным «Системного оператора», рекордные по стране 5,5%, на Урале — 5,3%, в ОЭС Северо-Запада — 3,2%. В абсолютных величинах уральское снижение спроса выглядит даже значительнее — около 9 млрд кВт·ч, тогда как на Средней Волге потребители снизили запросы примерно на 4 млрд кВт·ч. В наименьшей степени коронавирусный кризис ударил

На фото

Физический пуск энергоблока №2 ВВЭР-1200 Ленинградской АЭС-2



по энергопотреблению в ОЭС Сибири — всего 1,1 % спада за первые восемь месяцев 2020 года, но эта энергосистема зависит от выработки ГЭС и ТЭС (прежде всего угольных).

Бизнесы на новых перспективах

Отдельная история — новые продукты и диверсификация бизнеса «Росатома», что сейчас понимается как наиболее перспективный путь развития отрасли. В планах «Росатома» — увеличение выручки до 4 трлн руб. в год, что должно быть достигнуто в первую очередь за счет расширения продуктовой линейки. В 2019 году рост выручки по новым продуктам в общей выручке «Атомэнергопрома» составил 19,8 % (227,9 млрд руб.), а портфель заказов по новым продуктам на 10 лет достиг 1,17 трлн рублей, увеличившись на 8 %.

В «Росатоме» к числу новых рынков и новых продуктов относятся самые различные направления как условно атомные, боковые ответвления, связанные с основными бизнесами, так и внешне слабо сочетаемые с традиционными производственными цепочками атомной индустрии. Формально новым рынком может называться как обращение с отработанным ядерным топливом, что по сути просто продолжение обычной ядерной цепочки, так и, например, транзитные грузоперевозки по Северному морскому пути или, допустим, производство композитных материалов.

В структуре госкорпорации среди побочных бизнесов есть, например, трейдинг биотоплива — древесных пеллетов. «В России около 8 млн тонн опилок,— пояснял «Стране Росатом» генеральный директор «Техснабэкспорта» Сергей Полгородник.— Их нужно правильно собрать, переработать, упаковать, сертифицировать. С точки зрения логистики Россия очень хорошо связана с ключевыми региональными рынками сбыта». Алексей Лихачев в связи с этим отмечал, что стратегия «Росатома» — развитие низкоуглеродной энергетики. «Помимо атомной энергетики, мы инвестируем в низкоуглеродные и возобновляемые источники энергии, например ветрогенерацию,— говорил он.— В этом контексте направление биоэнергетика, которое также относится к низкоуглеродной, является логичным новым направлением бизнеса».

На самом деле такое расползание бизнесов на близлежащие отрасли в данном случае, скорее, типично и ожидаемо. Если у компании есть опыт работы на энергорынках, то можно не ограничиваться только одним типом генерации и к АЭС можно добавить, допустим, ветрогенерацию. Это особенно перспективно в свете того, что именно возобновляемая энергетика за последние десять лет демонстрирует наиболее бурный рост. Если есть машиностроительные заводы с большим опытом выпуска сложного оборудования, то можно расшириться за счет поставок другим отраслям. Причем как электроэнергетическим, так и не связанным напрямую с энергорынком (предприятия «Атомэнергомаша», к примеру, изготавливают продукцию и для мусоросжигательных заводов, и для нефтехимии).

Один из характерных примеров последовательного «захвата» отрасли можно описать на примере

На фото

1. Первый в мире промышленный плавучий атомный энергоблок (ПЭБ) «Академик Ломоносов» у пирса в порту города Певек
2. Загрузка лихтеровоза «Севморпуть»

Севморпути. Изначальная функция «Росатома» — проводка караванов судов во льдах с помощью атомных ледоколов «Атомфлота». Потом с расширением экономической деятельности добывающих компаний в Арктике и ожидаемым ростом грузопотоков встает вопрос о новом флоте атомных ледоколов. Затем госкорпорация получает государственный статус оператора Севморпути — главного по арктическому транспорту.

Потом возникает идея превратить Севморпуть в полноценный транспортный маршрут — Северный морской транзитный коридор, при этом не ограничиваться проводкой чужих судов, а создать собственную транспортно-логистическую компанию. В итоге возникает «Русатом Карго» с концепцией, предполагающей перехват части грузопотоков, идущих из стран Азиатско-Тихоокеанского региона в Европу и обратно (подробно об этом «Вестник атомпрома» писал в июльском номере). Затем покупается часть группы компаний «Дело» — лидера отечественного рынка грузоперевозок (в том числе контейнерных и железнодорожных). К этому можно добавить, например, участие госкорпорации в энергоснабжении Арктики в виде концепции плавучих АЭС для удаленных изолированных энергосистем на Крайнем Севере, а также проект разработки Павловского свинцово-цинкового месторождения на Новой Земле.

Расширение во все стороны

В результате мы получаем всеобщую уверенность в том, что «Росатом» постепенно становится ключевым государственным игроком в Арктике, готовым взять на себя любой проект в этом регионе — от инфраструктурного до добывающего. Другими словами, если сейчас находится инициативный инвестор, нашедший, как ему кажется, золотое дно в виде перспективного промышленного проекта где-нибудь на побережье Восточно-Сибирского моря, то пойдет он за партнерами, скорее всего, куда-то в госкорпорацию. И в этом предложении практически нет ни грана иронии. По сути, сейчас «Росатом» превратился из атомной корпорации в многопрофильный промышленный холдинг, для которого расширение в очередном новом направлении является стандартным способом экстенсивного роста.

В этом есть определенные риски: инвестирование превращается почти в венчурное, с той только разницей, что объем вложений значительно больше, чем у венчурных инвесторов, а риски, как правило, все же ниже, поскольку расширение новых бизнесов идет в традиционных отраслях. Другое направление развития — новые технологии атомной отрасли, например, проект «Прорыв», замкнутый ядерный цикл, высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы, малые модульные реакторы, которые за рубежом сейчас считаются наиболее перспективной точкой развития ядерной отрасли.

Если предположить, что в постковидную эпоху мир вернется примерно к тому же состоянию, какое было

в 2019 году, и тогдашние вызовы и тренды в общих чертах сохранятся, то атомной отрасли в первую очередь придется по-прежнему встраиваться в новую идеологическую матрицу безуглеродной энергетики. АЭС в этот возобновляемый экологический рай пока пускают неохотно («Вестник атомпрома» подробно писал о положении мирного атома в глобальной климатической повестке в мае и июне). И в случае долгосрочной стагнации атомной индустрии придется так или иначе возвращаться к диверсификации за счет неатомных отраслей, например, активно развивающихся в периметре госкорпорации цифровых технологий, новых материалов или биомедицины. А для этого придется создавать бизнес-плацдармы прямо сейчас, несмотря на все эпидемиологические ограничения и запреты.

Текст: Татьяна Иванова
Фото: Uae-iaea.org, Flickr.com/IAEA

Атом стабильности

Ниша атомной энергетики в мире возобновляемых и безуглеродных энерготехнологий

Положение атомной энергетики в последнее десятилетие и перспективы отрасли в ближайшие годы нельзя назвать однозначно беспроблемными. С одной стороны, даже несмотря на скачкообразный рост зеленой генерации и рост атомного скепсиса в начале 2010 годов из-за аварии на «Фукусиме-1», строительство новых АЭС продолжается. Мирный атом остается единственной энерготехнологией, которая способна стабильно поставлять в энергосистему большие объемы безуглеродной электроэнергии. С другой стороны, инвестиции в новые проекты АЭС весьма велики, что смещает интерес к атомной генерации в растущие экономики стран Азии, которым требуются все большие объемы электроэнергии.

До 11 марта 2011 года, когда вызванное землетрясением сильнейшее цунами разрушило резервную систему энергоснабжения на японской АЭС «Фукусима-1», общую ситуацию в атомной энергетике было принято называть «ядерным ренессансом». На тот момент АЭС давали около 15 % от всей электроэнергии, производимой в мире. А новые атомные энергоблоки вводились по большей части не в Европе

391 *ГВт*

мировая мощность ядерной энергетики в конце 2019 года

на **4,5** *ГВт*

меньше, чем годом ранее

10 %

всей электроэнергии, производимой в мире

33 %

от электроэнергии с низким содержанием углерода

443

действующих реактора

в **30**

странах

и США, где уже существовал свой парк действующих АЭС, а в странах Азии. Там наиболее маржинальными и перспективными рынками для мирного атома считались Китай, Индия и Южная Корея, а также целый ряд арабских нефтедобывающих стран.

Инцидент в Японии в начале 2010-х годов усилил позиции «атомных скептиков»: окрепли критические настроения в отношении ускоренного развития атомной энергетики в мире. Многие ожидали, что сектор ждет та же «атомная пауза», которая возникла после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. И действительно, поначалу скептицизм оправдывался: после «Фукусимы» ряд стран почти сразу наложил вето на развитие атомной генерации. Канцлер Германии Ангела Меркель заявляла, что авария в Японии «изменила в Германии все», и с тех пор Берлин придерживается наиболее радикальной позиции относительно закрытия атомных энергоблоков. Страна, в течение многих лет являвшаяся одним из лидеров атомной индустрии, намерена теперь к 2030 году довести долю зеленой энергетики в своем энергобалансе до 65 % и при этом вывести в совокупности до 24 ГВт ядерной и угольной генерации уже к 2025 году.

В 2017 году Швейцария провела успешный для противников мирного атома референдум об отказе от использования АЭС: было решено, что страна больше не будет строить новые атомные энергоблоки и выведет из эксплуатации существующие реакторы по истечении срока их службы. Даже Франция, являющаяся крупнейшим нетто-экспортером атомной энергии в Европе, спустя годы после аварии на «Фукусиме» после длительной дискуссии приняла решение о сокращении производства энергии на АЭС на 50 % к 2035 году и закрытию 14 атомных реакторов в пользу строительства возобновляемой энергетики.

Впрочем, неверно связывать скепсис в отношении АЭС только с ростом антиатомных настроений после марта 2011 года. Даже в дофукусимский период конкурентоспособность атомной энергетики регулярно ставилась под сомнение из-за существенных первоначальных инвестиционных затрат. На тот момент практически единственными конкурентами атомным энергоблокам являлись газовые электростанции. И, согласно расчетам экспертов, рентабельность строительства АЭС, например, в США или России, где происходил значительный рост добычи газа, была ниже. В мире на тот момент в огромных количествах еще строились новые парогазовые энергоблоки ТЭС (КПД этой технологии, объединяющей газовую и паровую турбины, превышает 50 %). В России, например, после реформы РАО «ЕЭС России» реализация обязательных инвестпрограмм тепловых генерирующих компаний обеспечила стабильными заказами мировых производителей газовых турбин. Эти технологии дешевели с каждым годом, и постепенно высокоманевренные ТЭС с парогазовыми блоками заняли доминирующую долю в отечественном энергобалансе.

В то же время определенные опасения вызывало и введение более строгих мер безопасности в атомной энергетике. После аварии на «Фукусиме-1» регулирующие ведомства по требованиям зеленых движений запустили массовую проверку АЭС и стали гораздо жестче подходить к вопросу безопасности реакторов, отдавая предпочтение более безопасным АЭС третьего поколения. Ключевым остается и вопрос о способах утилизации радиоактивных отходов, обращении с отработанным ядерным топливом. Соответственно, цены новых атомных энергоблоков либо росли, либо как минимум не снижались. Кроме того, на строительство АЭС с учетом сложности получения разрешений и реализации новых технологических решений иногда уходило и более десятилетия, в то время как парогазовые блоки могут быть построены и за год-полтора.

Кто продолжает строить атом

Но, как оказалось, отказы от мирного атома последовали только в странах Евросоюза, в то время как на атомном рынке был пул новых участников, которых постфукусимская паника не затронула. Фактически сразу после аварии страны Персидского залива — Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ) и Саудовская Аравия — на фоне быстро растущего потребления электроэнергии в регионе заявили о намерении диверсифицировать портфель внутренних источников энергии, построив большое количество АЭС. В августе 2020 года ОАЭ запустили первый атомный реактор на построенной южнокорейцами АЭС «Барака-1», в планах еще три станции

совокупной мощностью 5,6 ГВт, саудиты говорили о намерении построить 16 АЭС мощностью 17 ГВт. Не так давно даже Польша — одна из немногих крупных стран Европы, ранее не имевших опыта обращения с мирным атомом,— заговорила о желании начать масштабное строительство атомных энергоблоков. На фоне неизбежных проблем, с которыми столкнется знаменитая польская угольная промышленность при дальнейшем переходе ЕС на безуглеродные энергетические технологии, Варшава готова инвестировать до 150 млрд злотых на создание 6–9 ГВт ядерных мощностей поколения 3 и 3+ к 2043 году. Правительство страны считает, что развитие атомных мощностей необходимо для удовлетворения прогнозируемого роста спроса на электроэнергию и обеспечения стабильного предложения.

В Индии уже построено более двух десятков атомных энергоблоков общей мощностью свыше 6 ГВт, ведется строительство еще 6 ГВт мощности, а планируется создать еще около 20 ГВт. У второй по численности населения страны мира (и в перспективе первой: Индия сохраняет высокие темпы рождаемости, в отличие от притормозившего Китая) есть значительный резерв для создания любой генерации. АЭС пока занимают в энергобалансе Индии около 3 %. Наиболее быстро строительство АЭС идет по традиции в КНР, где уже 47 атомных электростанций, а в стадии возведения находятся еще 11. В целом же на долю Китая сейчас приходится более половины выработки электроэнергии на АЭС среди стран Азии.

В процессе строительства на 2019 год находилось более 57,4 ГВт АЭС, или 54 энергоблока. Из них, по данным МАГАТЭ, около 36,5 ГВт (35 реакторов), возводились в Азии. По данным агентства, «мощность атомной энергетики с 2011 года демонстрирует постепенный рост», включая 23,2 ГВт новой мощности, «добавленной за счет подключения новых блоков к сети или модернизации существующих реакторов». Интерес к атомной энергетике сейчас проявляют Алжир, Бразилия, Египет, Гана, Индия, Иордания, Кения, Мексика, Марокко, Нигер, Нигерия, Румыния, Южная Африка, Судан, Тунис, Уганда, Украина, Вьетнам и т. д.

Алексей Жихарев из Vygon Consulting замечает, что за последние пять лет в мире было введено в эксплуатацию более 30 ГВт атомных блоков, из которых 15 % пришлось на Россию. Несмотря на то, что на следующую пятилетку российские темпы ввода в секторе несколько сократятся, в других странах объемы строительства сохранятся. Но отсутствие долгосрочных устойчивых и амбициозных планов в атомном секторе, по его мнению, отнюдь не говорит о закате. «Скорее это более аккуратное планирование на фоне частого переноса сроков большинства реализуемых проектов в силу ряда причин, среди которых снижение темпов роста потребления»,— считает он.

Конкуренция с ВИЭ

Росту интереса к атомной энергетике может способствовать и то, что это единственный доступный на сегодня стабильный источник энергии, готовый к быстрому развертыванию и не выделяющий в атмосферу опасный для мирового климата углекислый газ. С активным строительством возобновляемой энергетики, чья выработка нестабильна без накопителей (а этой технологии для промышленных масштабов производства электроэнергии пока нет), региональные энергосистемы все равно нуждаются в базовой мощности. При росте доли ВИЭ требуются энергоисточники, способные покрывать основную нагрузку энергосистемы, и здесь именно безуглеродные АЭС могли бы оказаться идеальным партнером для зеленой генерации. Таким образом, атомная генерация с ее существенными и бесперебойными объемами выработки была бы страховкой от колебаний выработки. Впрочем, неясно, насколько страны-лидеры в развитии ВИЭ готовы признать АЭС достойным партнером для зеленых энерготехнологий: в Евросоюзе, допустим, так и не сформировалось отношение к мирному атому как к безопасному для климата, то есть достаточно зеленому источнику энергии.

Против атомной генерации также играет и ее стоимость: строить большие АЭС по-прежнему дорого и долго, решиться на подобные проекты могут только инвесторы и государства, готовые к долгосрочному планированию в развитии инфраструктуры. В то же время выработка и стоимость возведения ВИЭ-генерации в последние десять лет стремительно дешевела и продолжает снижаться. Так, по расчетам аналитиков Lazard, на основе энергетики США в 2019 году одноставочная цена

Алексей Хохлов,
руководитель направления «Электроэнергетика» Центра энергетики Московской школы управления «Сколково»

«На будущее атомной энергетики будет влиять целый ряд факторов»

На самом деле я не могу согласиться с тезисом про «отсутствие новых атомных проектов». Согласно данным WNA, в настоящее время в мире сооружается 53 реактора. Да, некоторые страны приняли решение об отказе от атомной энергетики, а ряд стран решили сократить долю АЭС в собственном энергобалансе. При этом за последние 10–15 лет мы наблюдали запуск реальных проектов в так называемых странах-новичках (ОАЭ, Турция, Египет, Бангладеш и другие), сохраняется интерес в странах Азии и Африки, активно развивает свою атомную энергетику Китай.

В своем последнем прогнозе развития атомной энергетики до 2050 года, опубликованном год назад, МАГАТЭ обновила два разнонаправленных сценария. В одном из них (низком) установленная мощность АЭС в мире снижается на горизонте 2040 года, а затем это падение частично компенсируется, и к 2050 году мощность достигает 371 ГВт. Во втором (высоком) сценарии установленная мощность последовательно растет — к 2030 году на четверть, до 496 ГВт, а к 2050 году она почти удваивается и достигает 715 ГВт. Таким образом, эти два сценария установленной мощности АЭС в 2050 году отличаются между собой практически в два раза.

Фактический уровень установленной мощности АЭС в мире будет зависеть не только от темпов вводов новых блоков, но и от возможности продления срока эксплуатации действующих реакторов. При этом и в нижнем, и в верхнем сценариях ожидаются вводы новых блоков — 85 ГВт vs 148 ГВт до 2030 года и 179 ГВт vs 356 ГВт между 2030 и 2050 годами.

На будущее атомной энергетики будет влиять целый ряд факторов. Продолжится конкурентное давление со стороны альтернативных способов генерации электроэнергии — государственная поддержка и продолжающееся снижение стоимости технологий возобновляемых источников энергии (ВИЭ), сравнительно низкие цены на природный газ. Также не в пользу атомной энергетики выступают продолжительные сроки сооружения АЭС, высокая стоимость единичного проекта и сложность реализации, приводящая к рискам превышения плановых бюджетов и удлинению фактических сроков.

С другой стороны, атомная энергетика открывает перед развивающимися странами и новые возможности не только в области непосредственной выработки электричества — развитие новых высокотехнологических производств, привлечение в страну инвестиций, развитие локального персонала.

На будущее развития атомной энергетики будет также влиять способность отрасли удовлетворять всем требованиям по безопасности и избегать аварий, а также возможность решения вопросов обращения с отработанным ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами, например, путем коммерчески эффективного замыкания ядерного цикла. Также немаловажным фактором будет возможность позитивного вклада атомной энергетики в решение проблемы изменения климата и достижение амбициозных целей Парижского соглашения по снижению выбросов парниковых газов.

на электроэнергию (LCOE — показатель, рассчитывающий себестоимость выработки с учетом инвестиций и полного срока службы) АЭС колеблется от $118 до $192 за МВт·ч против $28–54 за МВт·ч для ветровой генерации. При этом в случае новых АЭС основная доля ценовой нагрузки образуется за счет существенных первоначальных затрат на строительство. У уже действующих АЭС, для которых не учитывается возврат инвестиций в проект, себестоимость выработки, по данным Lazard, падает сразу в несколько раз — до $27–31 за МВт·ч.

По мнению Владимира Скляра из «ВТБ Капитал», в комбинации АЭС/ГЭС и ВИЭ с добавлением маневренных газовых ПГУ состоит идеальная модель безуглеродной энергосистемы будущего, к чему стремятся многие страны. Роль АЭС в этой парадигме, по мнению аналитика, конечно, бесспорна особенно в странах с ограниченным водным потенциалом, но неоднозначна — после катастроф в Чернобыле и Фукусиме многие в мире на самом высоком политическом уровне относятся к АЭС с большой настороженностью, а в некоторых странах — даже негативно, считая, что атомная энергетика несет существенные социальные риски, которые могут быть важнее экономических и климатических факторов. Более того, учитывая возрастающие требования по безопасности и соответствующие расходы, атомная энергетика — единственный источник энергии, который не подешевел за последние 30 лет, в то время как другие источники снизили ценник в два-шесть раз за тот же период, отмечает Скляр. «В этих условиях АЭС становится привлекательной для относительно ограниченного числа стран, где нет политической аллергии к атомной энергии, которые стремятся построить безуглеродную энергосистему и находятся в фазе роста спроса для обоснования существенных инвестиций в большую АЭС,— считает аналитик.— Юго-Восточная Азия, Ближний Восток и Африка видятся основным рынком будущего для АЭС». Алексей Жихарев прогнозирует, что хоть АЭС и начинают проигрывать возобновляемой энергетике по стоимости электроэнергии, но до появления дешевых решений хранения энергии не уступят свои позиции в энергобалансе. Скорее атомная энергетика будет превалировать в нем параллельно с возобновляемой в долгосрочной перспективе.

Фото: «Росатом»

Нововоронежская АЭС (НВАЭС)

Строительство Нововоронежской АЭС. Монтаж камеры переключения

Первая атомная электростанция в стране с водо-водяным реактором (ВВЭР), который сейчас является основной отечественной технологией для строительства новых АЭС. Первый блок (ВВЭР-210) мощностью 210 МВт строился в 1957–1964 годах, выведен из эксплуатации в 1988 году. В 1970–1973 годах в Нововоронеже было введено еще три блока разной мощности, а в 1981 году — пятый блок, мощность которого составила уже 1 ГВт. В 2008 году началось строительство Нововоронежской АЭС-2, первые два блока с реакторами ВВЭР-1200 поколения 3+ сданы в 2018–2019 годах.

3,75 *ГВт*

текущая мощность НВАЭС с учетом НВАЭС-2

21,4 *млрд КВт·ч*

выработка электроэнергии в 2019 году

24 *года*

срок службы первого энергоблока НВАЭС

60 *лет*

плановый срок службы блоков ВВЭР-1200

Фото: «Росатом»

Белоярская АЭС

Включение в сеть реактора БН-800

Единственная АЭС России с реакторами на быстрых нейтронах. Расположена у города Заречный в Свердловской области. Состоит из двух блоков с реакторами БН-600 и БН-800 общей мощностью 1485 МВт (первые два блока АЭС с реакторами АМБ закрыты в 1981 и 1989 годах). Четвертый блок (БН-800) является самым мощным в мире энергоблоком с быстрым реактором. В будущем на Белоярской АЭС может быть построен блок с реактором БН-1200.

1485 *МВт*

текущая мощность

1958 *год*

начало строительства

885 *МВт*

мощность четвертого блока с реактором БН-800

9,78 *млрд кВт·ч*

выработка электроэнергии в 2019 году

75,17 %

коэффициент использования установленной мощности в 2019 году

16 %

от потребности в электроэнергии Свердловской области

40 *лет*

уже проработал третий блок с реактором БН-600

Настоящее и будущее

Текст: Александр Уваров, главный редактор независимого издания AtomInfo.Ru
Фото: «Росатом», Flickr.com/IAEA, Nuscale.com

На фото

Физический пуск Белорусской АЭС. Август 2020 года

Стройтесь, реакторы, большие и малые

На какие реакторные технологии делают ставку зарубежные игроки

К третьему десятилетию третьего тысячелетия нашей эры мирный атом в зарубежных странах подошел с хорошей инерцией. Наиболее полную статистику по строящимся в мире атомным энергоблокам ведет база PRIS, поддерживаемая МАГАТЭ. Если верить базе, то дела у отрасли обстоят неплохо — статус сооружаемых сегодня имеют 53 блока. При этом значительную долю этого рынка заслуженно отвоевал себе «Росатом». Но реальность более сурова, потому что активное строительство атомных мощностей ведется всего в нескольких странах. Более того, ряд традиционных лидеров отрасли до сих пор не уверены, нужна ли им атомная энергетика, а если нужна — то с какими именно технологиями.

Поступь китайских «Драконов»

КНР — страна, в которой мирный атом переживает если не расцвет, то как минимум бабье лето. Первый китайский атомный энергоблок «Циньшань-1» был подключен к сети всего лишь около 30 лет назад, в декабре 1991 года. Сейчас в Китае работает 49 блоков АЭС, а их общая мощность составляет 46,5 ГВт. Среди атомных держав страна уверенно занимает третье место, но Коммунистическая партия Китая и правительство требуют от атомщиков большего — догнать и перегнать Америку и сделать атомный парк народной республики самым мощным в мире.

На ранних стадиях к китайской атомной энергетике лучше всего подходило определение «зоопарк».

водо-водяной под давлением

тип реактора

~1150–1200 *МВт*

электрическая мощность

более 90 %

КИУМ (коэффициент использования установленной мощности)

Строящиеся блоки с реакторами HPR-1000 и даты начала строительства

- «Фуцин-5» — *май 2015*
- «Карачи-2» (Пакистан) — август 2015
- «Фуцин-6» — декабрь 2015
- «Фанчэнган-3» — декабрь 2015
- «Карачи-3» (Пакистан) — май 2016
- «Фанчэнган-4» — декабрь 2016
- «Чжанчжоу-1» — октябрь 2019
- «Тайпинлин-1» — декабрь 2019
- «Чжанчжоу-2» — сентябрь 2020

18 *месяцев*

топливный цикл

60 *лет*

проектный срок службы

3

число петель

177

число топливных кассет в активной зоне

Китайцы строили все реакторы, какие только могли получить: российские ВВЭРы, канадские CANDU, французские M310, позднее французские EPR и американские AP-1000. Со временем M310 был творчески переработан в китайский проект CPR-1000, на который в Пекине попытались сделать основную ставку, но в 2011 году случилась авария на японской АЭС «Фукусима-1», и CPR-1000 как реактор 2 поколения был признан не имеющим перспектив.

Китайской атомной отрасли срочно потребовался реактор 3 поколения, отвечающий современным требованиям по ядерной безопасности и обладающий лицензионной чистотой для возможного экспорта. Проект такого реактора появился в конце 2015 года, это реактор HPR-1000, известный также как «Хуалун-1», что в переводе означает «Китайский дракон». Но Китай не был бы Китаем, если бы не постарался удивить весь мир. Одного «Дракона» китайцам оказалось мало: почти одновременно они создали под этим именем два конкурирующих проекта.

Организационная структура атомной отрасли КНР во многом скопирована со структуры «Росатома», но с важным отличием. У Китая есть не один аналог российской госкорпорации, а два. От министерских времен свою родословную ведет корпорация China National Nuclear Corporation — CNNC (ее так неформально и называют — «малое министерство»). Конкуренцию ей составляет созданная в провинции Гуандун с подачи лично Дэн Сяопина на заре либерализации экономики корпорация CGN (China General Nuclear Power Group — «народная корпорация», по словам китайцев). Естественно, как только появился запрос на реактор 3 поколения, обе корпорации поспешили представить собственные проекты.

В Пекине постановили, что конкуренция — это хорошо, но два враждующих друг с другом реакторных проекта с одним и тем же именем — это слишком, и приняли соломоново решение. Обеим корпорациям было разрешено построить на территории Китая по два блока по своим проектам, а для дальнейшего строительства должен быть выбран объединенный (унифицированный) проект HPR-1000.

Строгому указанию по партийной линии корпорации, естественно, подчинились, но определенные лазейки для себя оставили. CNNC задним числом переименовала в HPR-1000 два блока, которые она строит в Пакистане на АЭС «Карачи»; таким образом, у этой корпорации первый экспортный блок войдет в строй практически сразу после головного блока в Китае. В свою очередь, CGN подала свой проект на сертификацию в Британии, имея в виду будущее строительство в этой стране блоков с «Китайскими драконами».

На сегодняшний день в Китае на стадии строительства находятся семь энергоблоков с реакторами HPR-1000, причем первый из них, «Фуцин-5», вплотную подошел к пусковым этапам и до конца 2020 года может быть введен в эксплуатацию. Также два «Дракона» строятся в Пакистане, а в Китае имеются разрешения властей на строительство еще как минимум пяти «Драконов».

Атомные жертвы войны Трампа

Той уверенностью в завтрашнем дне, которую испытывают сегодня китайские «Драконы», они обязаны,

Основные параметры реактора CAP-1400

водо-водяной под давлением

тип реактора

~1500 *МВт(э)*

электрическая мощность

Построенные в Китае блоки с реакторами AP-1000 и даты начала строительства и ввода в эксплуатацию

- *«Саньмэнь-1» — апрель 2009 / сентябрь 2018*
- *«Хайян-1» — сентябрь 2009 / октябрь 2018*
- *«Саньмэнь-2» — декабрь 2009 / ноябрь 2018*
- *«Хайян-2» — июнь 2010 / январь 2019*

***более* 93 %**

КИУМ

60 *лет*

проектный срок службы

2

число петель

193

число топливных кассет в активной зоне

18 *месяцев*

топливный цикл

***до* 50 %**

активной зоны — загрузка МОХ-кассет

по крайней мере частично, президенту США Дональду Трампу, развязавшему с Китаем торговую войну. Если бы не она, то серьезную конкуренцию «Драконам» составили бы американские реакторы AP-1000 и их китайские модификации.

Американская компания Westinghouse, разработчик проекта AP-1000, вплотную заинтересовалась китайским рынком в середине нулевых годов. Трудно поверить, но было время, когда менеджеры Westinghouse рассуждали о перспективах построить в КНР под сотню блоков с AP-1000. Для начала американский проект было решено применить на четырех блоках на двух площадках — «Саньмэнь» и «Хайян», причем на условиях трансфера технологии в Китай.

Строительство первых блоков проходило сложно. Американский проект, красивый в презентациях, оказался сырым, и доводить его до ума пришлось совместными усилиями китайских и американских инженеров, что само по себе представляло сложную в организационном плане задачу. Один только пример: по состоянию на август 2017 года в проектную документацию блока «Саньмэнь-1» было внесено 3100 изменений.

Для локализации, адаптации и развития технологии AP в Китае была создана компания SNPTC, которую впоследствии поглотил энергетический гигант SPIC. Главный конструктор компании Чжэн Мингуан не устает расхваливать получившиеся в итоге четыре блока с AP-1000. Они работают эффективно и надежно, но с одной оговоркой: «Если работают». Китайские AP-1000 в чем-то напоминают пресловутого пожарного из анекдота, которого всё устраивало на службе, кроме собственно пожаров, когда «хоть увольняйся». Такой пожар (в переносном смысле, конечно) приключился на блоке «Саньмэнь-2». В начале 2019 года стало известно о технических проблемах на одном из четырех главных циркуляционных насосов (ГЦН). Рутинный, казалось бы, ремонт превратился в эпопею с почти годовым простоем энергоблока. Виной тому стала забывчивость конструкторов о потребностях ремонтного персонала.

Полученный опыт строительства и эксплуатации (в том числе негативный) позволил китайским атомщикам из SNPTC создать клон AP-1000 под названием CAP-1000, где литера «C» означает «Китай». У Westinghouse и других американских компаний в проекте-клоне сохранился значительный объем работ, а в Пекине у CAP-1000 нашлись влиятельные лоббисты. В теории технология CAP-1000 могла рассчитывать на шесть первых бетонов в год, оттеснив «Драконов» на задний план. Более того, в SNPTC разработали проект реактора повышенной мощности CAP-1400, использующий многие технические решения из проекта AP-1000, но при этом лицензионно-чистый (по утверждению китайской стороны), то есть пригодный к экспорту без каких-либо ограничений со стороны США.

Но внезапно грянула торговая война. Администрация Дональда Трампа ввела санкции против атомной отрасли Китая, ударив, в частности, по китайским экспортным проектам («Дракон» и CAP-1400). Неофициальным ответом Пекина стал отказ от строительства блоков с CAP-1000, а выделенные под них площадки переориентируются на размещение «Драконов».

На фото:

CAP1400 — строительная площадка 17 октября 2014

Остается загадкой, что ожидает проект CAP-1400. Первый блок (или два блока) с этим реактором предполагалось построить в провинции Шаньдун на площадке с пафосным названием Guohe No.1 (примерный перевод на русский — «государственная гармония номер один»). По неофициальной информации, разрешение на начало строительства было выдано в начале 2019 или конце 2018 года (официально до сих пор не сообщалось). По косвенным признакам, первый бетон там состоялся, но подтверждать это Китай не спешит.

Малый китайский резерв

Помимо блоков с легководными реакторами большой мощности, в КНР, как в старые добрые времена в СССР и США, строятся и другие проекты. Близится к завершению сооружение первого в Китае коммерческого блока с высокотемпературными реакторами (два реактора на одну турбину). Совместно с Россией возводится блок с быстрым натриевым реактором. В пустыне Гоби после полученного от даосских монахов благословения приступили к сооружению демонстрационных жидкосолевых реакторов. И, разумеется, не обошли вниманием в Китае и модное сегодня направление малой атомной энергетики.

В гонке за государственные заказы на малые реакторы принимают участие все три реакторных разработчика Китая — CNNC, CGN и SNPTC. В стороне стоит университет Циньхуа, явно держащий в уме намерение продать свои проекты кому-то из крупных игроков.

Малые реакторы могут быть наземного размещения, плавучими станциями, могут вырабатывать промышленное тепло или обеспечивать районное теплоснабжение. Такое впечатление, что в Китае собираются закрыть весь «стол». Пожалуй, в многообразии китайских малых проектов не хватает только подводного малого реактора наподобие российского «Шельфа» или французского Flexblue.

Дальше всех конкурентов продвинулась CNNC. Проект малого реактора ACP-100, который иногда называют малым «Драконом», прошел независимую проверку безопасности в МАГАТЭ (это первый в мире малый реактор, успешно пробившийся через эту процедуру), а в Китае весной 2020 года было предварительно одобрено его строительство на острове Хайнань. Также у CNNC есть плавучий вариант ACP-100S, причем, по некоторым сведениям, работы по его сооружению на верфи «Цзяодун» начались в 2018 году. Есть у корпорации вариант плавучей АЭС меньшей мощности — 25 МВт, а также проект реактора DHR-40, предназначенного для снабжения городов горячей водой.

У гуандунской CGN список известных малых проектов состоит из единственного пункта — реактора ACPR-50S для размещения на плавучей АЭС. По состоянию на сегодня проект еще не готов. SPIC (SNPTC) одновременно идет и по пути создания малых реакторов CAP (CAP-150, CAP-200), и по пути проектирования реакторов для теплоснабжения — HAPPY-200 для коммунальных нужд и LandStar для промышленных. В университете Циньхуа работают по направлению небольших высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов (ВТГР), а также над реактором районного теплоснабжения NHR-200.

Несмотря на столь большое количество проектов малых реакторов, переходить к их массовому строительству Китай не спешит. Не последнюю роль здесь играет то, что до сих пор отсутствует понимание места

малых реакторов в атомной энергетике XXI века. Например, замена малыми реакторами угольных ТЭЦ, обеспечивающих китайские города теплом и горячей водой, выглядит заманчиво с точки зрения экологии, но власти КНР справедливо опасаются, что горожане не примут близкого соседства с ядерным реактором, каким бы безопасным он ни был.

Второе объяснение, почему Китай держит эти проекты в «горячем резерве», также выглядит логичным. В Пекине предпочитают выждать и посмотреть, что получится у страны-апологета малой атомной энергетики, а именно у США. Если американский опыт внедрения малых реакторов будет признан успешным, то Китай зажжет перед своими малыми реакторами зеленый свет.

Новая парадигма по-американски

Соединенные Штаты по-прежнему остаются страной номер один, когда речь заходит о величине атомного парка (95 энергоблоков). По числу строящихся блоков США в аутсайдерах (2 энергоблока). По уровню информационного шума вокруг атомной энергетики Америка — мировой лидер.

До аварии на «Фукусиме-1» в США намечался грандиозный ядерный ренессанс, речь шла о возможном строительстве двух-трех десятков новых блоков с реакторами большой мощности. До первого бетона добрались всего четыре блока, все с реакторами AP-1000. Направление в 2017 году Westinghouse на процедуру управляемого банкротства повлекло за собой прекращение строительства двух блоков на АЭС Virgil C. Summer, сейчас там владельцы станции и Westinghouse делят имущество, а компетентные органы расследуют дела о коррупции. Реально к финишу дойдут только два блока на АЭС Vogtle, пуск первого из них ожидается в 2021 году.

Срыв программы строительства больших блоков побудил США сменить парадигму. Отныне американская атомная отрасль ориентируется на так называемые перспективные реакторы, под которыми они понимают малые модульные реакторы (ММР) и микрореакторы. Задача действующего парка больших АЭС — выиграть время, необходимое для появления небольших коммерческих проектов. «Поддержание нашего действующего парка АЭС дает время для перехода на новые технологии, такие как ММР и микрореакторы, которые в конечном счете станут более дешевыми в строительстве и эксплуатации, а это даст потребителям больший выбор продукции и больший доступ к чистой и надежной атомной энергии»,— разъясняла американскую стратегию помощник по атомной энергии министра энергетики США Рита Баранвал.

В начале сентября по СМИ пронеслась новость о том, что первый пригодный к строительству в США малый реактор NuScale уже появился. Стоит внести ясность. Действительно, в комиссии по ядерному регулированию США на финишную прямую вышел процесс сертифицирования стандартного проекта реактора малой мощности NuScale. Но строить именно этот реактор в США никто не собирается. Единственный имеющийся заказчик на продукцию компании NuScale Power — муниципальная ассоциация UAMPS штата Юта — намерен приобрести реакторы другого проекта, а именно NuScale720, к сертификации которого еще не приступали. В коммерческую эксплуатацию по текущим ожиданиям заказчика эти реакторы будут введены в 2029–2030 годах.

NuScale и NuScale720 — реакторы не просто малые, но еще и модульные. На одной площадке может работать от одного до двенадцати модулей, у каждого из которых есть свои реакторная установка и турбина. Ассоциация UAMPS намерена приобрести станцию в полном сборе, то есть 12 модулей NuScale720. Ее мощность составит 684 МВт без учета затрат на собственные нужды, а стоимость оценивается в $5–6 млрд с перспективой роста по мере перехода от бумажной стадии проекта к «железу». Экономическая целесообразность приобретения станции вызывает вопросы не только у сторонних экспертов, но и у заказчика. Входящий в ассоциацию UAMPS город Логан приступил к процедуре выхода из проекта, на его долю в будущей станции приходится 30 МВт, или половина мощности одного из модулей.

Пока NuScale Power занята празднованием локального успеха с сертификацией, их без лишнего шума обгоняет компания Oklo, подавшая заявку в комиссию по ядерному регулированию на строительство и эксплуатацию микрореактора Aurora. Oklo возглавляет Джейкоб Девитт, чья любовь к мирному атому уходит корнями в детство. Как истинный патриот атомной энергетики он предлагает по-настоящему красивый проект.

Мощность Aurora небольшая — 1,5 МВт. Он может работать в одиночестве, снабжая электроэнергией небольшие поселения в удаленных районах, но основная его задача заключается во встраивании в комбинированные сети с возобновляемыми энергоисточниками (ВИЭ), где реактор должен обеспечивать стабильность базовой составляющей генерации.

Aurora — реактор на быстрых нейтронах, в качестве топлива он использует металлический уран U-Zr. Тепло от активной зоны передается в теплообменники посредством тепловых трубок. Всего имеется шесть теплообменников, рабочее тело второго контура — сверхкритический диоксид углерода s-CO_2 (состояние сверхкритической жидкости достигается при высоких температурах и давлении, когда вещество приобретает свойства как газа, так и жидкости).

Кроме технических новинок, в проекте Aurora много интересных решений организационного плана. Так, численность сменного персонала минимизирована (для экономики малых и микрореакторов это важно), но сделано это с умом. У реактора Aurora не будет операторов. Вместо них на пульте управления будут пребывать два наблюдателя (монитора). В связи с тем, что активных действий по управлению реактором от наблюдателей не ожидается, им

Основные параметры реактора NuScale

водо-водяной под давлением	***более 95 %***	***до 24 месяцев***
тип реактора	КИУМ	топливный цикл
50 МВт брутто	***от 1 до 12***	***заводское***
электрическая мощность (у NuScale720–60 МВт брутто)	число модулей на станции	изготовление модулей
LWR17×17	***2 м***	***менее 5 %***
топливо — стандартное	длина кассеты	обогащение

можно поручить определенные функции по физической защите, сократив тем самым численность вооруженной охраны.

Заявку на получение комбинированной (строительство и эксплуатация) лицензии для первого реактора Aurora Oklo подала 11 марта 2020 года, в годовщину аварии на «Фукусиме». Для строительства выбрана площадка на территории национальной лаборатории Айдахо. Она же, кстати, выдаст реактору в аренду ядерное топливо.

Окраины атомной географии

Китай и Россия — страны, активно строящие атомные энергоблоки. Соединенные Штаты — страна, громко рассуждающая о том, как она будет строить реакторы нового поколения. Что до остальных государств, то у них и дела немного, и шума почти не слышно.

Некогда боровшаяся за мировое лидерство в инновационных ядерных технологиях Франция столкнулась с тем, что новые АЭС ей просто не нужны. С последним продуктом французских атомщиков, реактором EPR, построено и строится шесть энергоблоков, и лишь один из них, «Фламанвиль-3», во Франции. Причем дела на стройке идут ни шатко ни валко — первый бетон был в 2007 году, а до пуска еще далеко.

Надежды французского атома связаны сейчас с Великобританией, которой срочно требуются новые энергоблоки на замену закрываемым АЭС с графитовыми реакторами. К строительству первых двух блоков замены с реакторами EPR на АЭС Hinkley Point C французы уже приступили и обсуждают с Лондоном вторую площадку. Но есть проблема — деньги. Работы на Hinkley Point C смогли начаться благодаря китайскому капиталу, CGN имеет в этом проекте 33,5 % акций. Однако политические отношения между Лондоном и Пекином ухудшаются буквально с каждым днем, и перспективы дальнейшего вкладывания китайских денег в британские энергоблоки с реакторами EPR становятся всё более туманными.

Теоретически китайские средства можно заменить за счет досрочных сборов с будущих потребителей, но для этого нужно согласие британских властей.

В этом году после долгого перерыва напомнила о себе Индия. Собственная ядерная программа этой страны (не считая АЭС «Куданкулам» с российскими ВВЭР) базируется на тяжеловодных реакторах, и последний по времени энергопуск блока-тяжеловодника («Кайга-4») датируется январем 2011 года. Есть шансы, что вскоре индийский парк пополнится новым блоком «Какрапар-3», реакторная установка которого в июле 2020 года была выведена на минимально контролируемый уровень.

Отдельного разговора заслуживает Южная Корея. В этой стране взят курс на постепенное сворачивание атомной энергетики при одновременном поощрении экспорта южнокорейских реакторных технологий. Четыре блока с южнокорейскими реакторами строятся в ОАЭ (первый из них уже пущен). Компании из Южной Кореи планируют принять участие в тендере, который может быть объявлен в Чехии на строительство нового блока на АЭС «Дукованы».

Великое атомное прошлое

1946

Реактор в лаборатории

25 декабря 1946 года под руководством Игоря Курчатова на реакторе Ф-1, построенном в Москве в Лаборатории № 2 (сейчас Курчатовский институт) была проведена первая в СССР управляемая цепная реакция деления ядер урана. Это был ключевой шаг к созданию промышленного атомного реактора, необходимого для наработки оружейного плутония. Первые атомные реакторы были частью оружейной программы: Советскому Союзу необходимо было догнать США, уже имевшие технологии атомной бомбы и применившие это оружие против Японии в конце Второй мировой войны.

А в июне 1948 года на комбинате № 817 в Челябинской области (сейчас ПО «Маяк» в Озерске) заработал на полной мощности первый отечественный промышленный реактор «А» — «Аннушка». Первая реакция началась 8 июня, а 22 июня «Аннушка» вышла на проектную мощность. Первый атомный заряд для бомбы РДС-1 был получен через год — к июлю 1949 года.

1953

Рождение Минсредмаша

26 июня 1953 года в СССР было создано единое атомное ведомство — Министерство среднего машиностроения, объединившее Первое главное управление, занимавшееся атомной тематикой, и Третье главное управление, специализировавшееся на ракетной технике.

Минсредмаш просуществовал до 1989 года, в его структуру входили десятки НИИ, заводов и закрытые города атомной отрасли, где разрабатывалось не только ядерное оружие, но и АЭС, атомные подлодки и ледоколы, другие технологии мирного атома. Почти вся эпоха Минсредмаша связана с именем Ефима Павловича Славского, возглавлявшего атомное министерство с 1957 по 1986 год.

1954

Первая АЭС

26 июня 1954 года был проведен энергетический пуск первой в мире Обнинской АЭС, была достигнута мощность в 1500 кВт. Станция была построена менее чем за три года, реактор был разработан АО «НИИхиммаш», которое возглавлял Николай Доллежаль. Полная мощность Обнинской АЭС составила 5 МВт. Станция проработала почти полвека и была закрыта в апреле 2002 года.

А осенью 1954 года советское правительство приняло первую программу строительства АЭС в стране до 1960 года. В нее уже входили Нововоронежская и Белоярская АЭС.

1957

Старт МАГАТЭ

29 июля 1957 года в ООН было образовано международное агентство по атомной энергии — МАГАТЭ. Оно регулирует мирное использование атомной энергии, в него входит 171 страна. Россия является членом МАГАТЭ с момента его основания (формально в 1957 году от СССР в агентство вступили РСФСР, Украинская и Белорусская ССР).

Штаб-квартира МАГАТЭ базируется в Вене, различные структуры агентства есть в Торонто, Токио, Нью-Йорке, Женеве и других городах. С 2019 года гендиректором МАГАТЭ является аргентинец Рафаэль Мариано Гросси.

1957

Атом под водой

12 августа 1957 года на «Севмаше» была спущена на воду первая отечественная атомная подводная лодка К-3 проекта 627. В 1962 году АПЛ получила название «Ленинский комсомол»; достигла района Северного полюса, пройдя подо льдами Северного Ледовитого океана, и всплыла в районе 84-й параллели. Первая советская атомная субмарина прослужила до 1987 года.

1966

АЭС на экспорт

С 1966 года началась работа АЭС отечественного дизайна за рубежом: в ГДР рядом с городом Райнсберг был пущен энергоблок с водо-водяным реактором ВВЭР-210. Станция проработала до 1 июня 1990 года: при объединении Германии советские АЭС были остановлены. Экспорт советских АЭС шел в основном по странам соцлагеря — в Венгрию, Болгарию, Чехословакию, также была построена станция в Финляндии.

В постсоветскую эру география атомного строительства расширилась, новые АЭС по отечественным проектам стали возводиться в развивающихся странах Азии и Африки — КНР, Индии, Турции, Египте и других.

1973

Реактор-миллионник

12 сентября 1973 года осуществлен физический пуск первого атомного реактора РБМК-1000 мощностью 1 ГВт (1 млн кВт). Он заработал на первом блоке Ленинградской АЭС. Всего на этой АЭС к началу 1980-х годов было возведено четыре блока с такими реакторами, станция на тот момент стала самой мощной в стране.

В последние десятилетия XX века и в начале XXI столетия реакторы мощностью 1 ГВт и выше стали ключевыми проектами для новых атомных строек. Первый реактор-миллионник проработал на ЛАЭС до 2018 года, выработав 264,9 млрд кВт•ч электроэнергии.

1976

Пуск «Атоммаша»

27 декабря 1976 года в Волгодонске был пущен первый производственный комплекс «Атоммаша» — крупнейшего завода атомного машиностроения. «Атоммаш» был рассчитан на создание восьми комплектов оборудования для АЭС в год: по планам правительства СССР атомная отрасль должна была достичь таких и даже более высоких темпов строительства атомной энергетики.

В постсоветское время на фоне падения атомных заказов «Атоммаш» перешел в частные руки и стал обычным машиностроительным заводом. В состав «Росатома» и атомной отрасли «Атоммаш» вернулся в 2012 году.

1977

«Арктика» на полюсе

17 августа 1977 года впервые в мире надводное судно дошло до Северного полюса: выйдя из Мурманска, атомный ледокол «Арктика» менее чем за восемь суток смог достичь широты в 90°. Толщина льда, с которым столкнулась «Арктика», достигала трех метров.

Поход на полюс был демонстрацией мощи атомного флота СССР. Пик строительства ледоколов пришелся на 80–90-е годы прошлого века: к 1993 году у России было восемь арктических атомных судов. Это позволяло обеспечить стабильные перевозки в период навигации.

1983

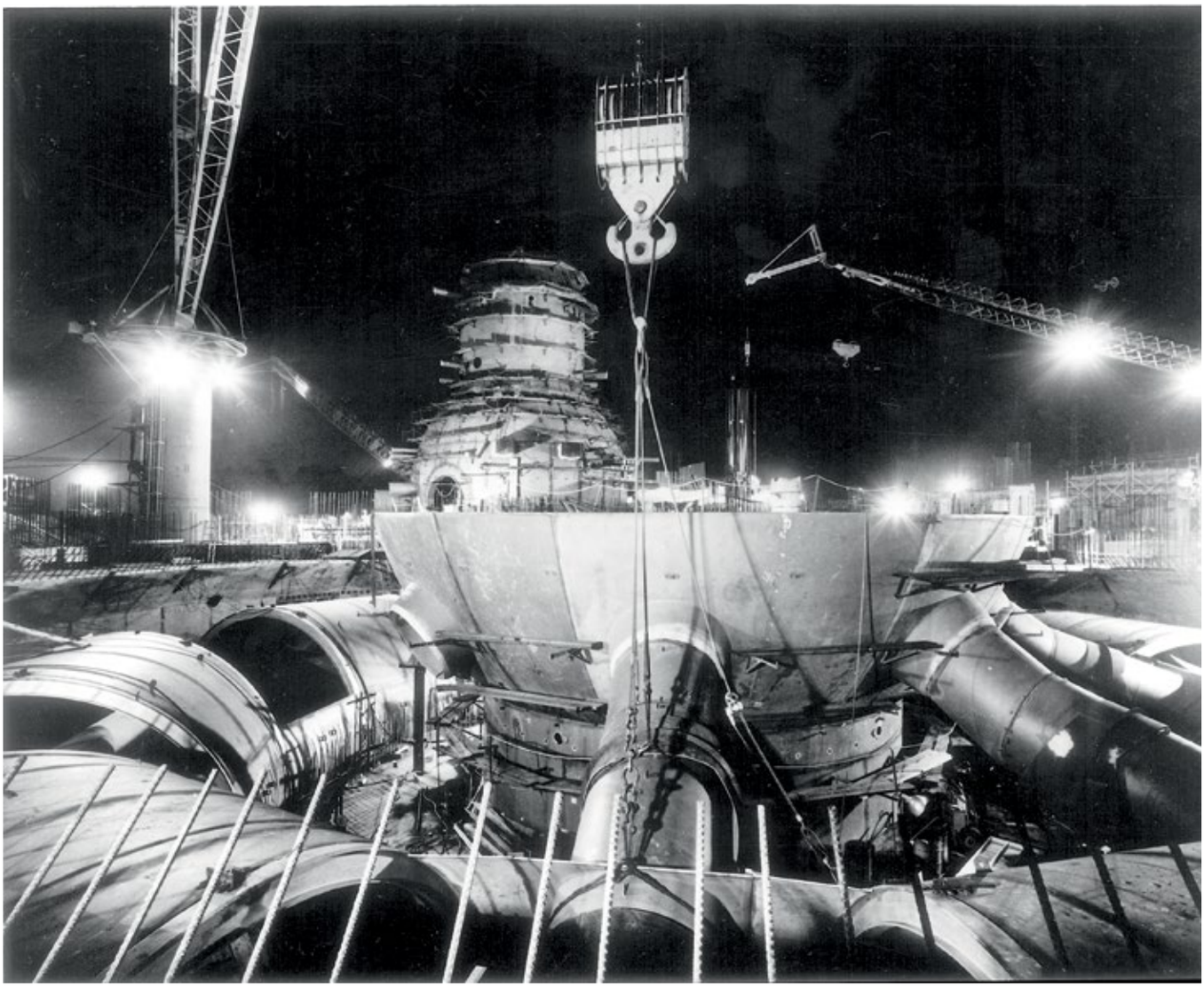
Полтора миллиона кВт

31 декабря на Игналинской АЭС в Литовской ССР пущен самый мощный в отечественной истории энергоблок с реактором РБМК-1500 мощностью 1,5 ГВт (1,5 млн кВт). Это было пиком развития технологии уранграфитовых канальных реакторов, позднее в основном строились АЭС с водо-водяными реакторами типа ВВЭР. В России энергоблоки с РБМК продолжают свою работу, Литва же обменяла свою энергонезависимость на членство в Евросоюзе: по требованию Брюсселя Игналинская АЭС была закрыта в 2009 году.

Текст: Владимир Тесленко
Фото: ТАСС, Flickr.com/ U.S. Department of Energy

На фото

Строительство второй по мощности АЭС США Brown Ferry с кипящими реакторами. Алабама, 1970 год



Несоветские атомные проекты

Как развивалась отрасль за рубежом в эру атомного романтизма

Первые десятилетия развития атомной отрасли — до середины 1980-х годов и аварии на Чернобыльской АЭС — часто называют временем атомного романтизма. На фоне холодной войны, роста ядерных арсеналов противоборствующих блоков, непродолжительных периодов разрядки гражданская атомная индустрия демонстрировала впечатляющий рост. В 1954 году в Обнинске начала работу первая промышленная АЭС, в 1960–70-х годах атомная генерация стала строиться сразу в нескольких странах мира, владевших ядерными технологиями, к концу периода сложилась коммерческая система экспорта атомных технологий: СССР, США, Германия, Франция и другие страны были готовы строить АЭС под заказ в любой дружественной стране.

История советского атомного проекта известна у нас по понятным причинам гораздо лучше. Но не менее интересно и то, как шло распространение западных атомных технологий, как формировались ключевые отраслевые игроки, с каким результатом пришли зарубежные страны к атомной паузе 1990-х годов.

На фото

Строительство одной из первых АЭС Великобритании Hinkley Point A. 1959 год

Бизнес-цепочки холодной войны

Подавляющее большинство АЭС сейчас находится в Европе, Северной Америке, странах Дальнего Востока, в то время как в Африке и Южной Америке их почти нет, а в Австралии и Океании нет вообще. Это в значительной мере можно считать наследием развития мирного атома в XX веке: после Второй мировой войны отрасль активно шла вперед именно в развитых странах Запада, в СССР и в социалистическом лагере.

В США одним из триггеров развития мирного атома была подписанная президентом Дуайтом Эйзенхауэром в 1953 году особая программа развития атомной энергетики Atoms for Peace.

В 1960–1970-е годы началось строительство десятков атомных энергоблоков в странах Запада и Японии. При этом державы сохраняли активное присутствие в этой индустрии. Государственные регуляторы строго подходили к разрешениям на строительство АЭС и инспекциям атомных объектов. Для строительства и эксплуатации АЭС, для операций с отработанным ядерным топливом (ОЯТ) и демонтажа атомных объектов практиковалось частно-государственное партнерство с разной долей государства.

За несколько десятилетий произошло формирование западных технологических цепочек, включающих все звенья атомного цикла: разведку и добычу урана и тория, переработку, обогащение и конверсию урана, производство ядерного топлива и оборудования для АЭС, строительство самих станций. Произошло и международное разделение труда в основном под контролем компаний из США.

Сформировалась система контроля за делящимися материалами и технологиями. Хотя природный уран воспринимался на Западе как обычное твердое ископаемое, часто добываемое попутно с другими ископаемыми, его поставки шли только союзным потребителям. Тем не менее во время атомного романтизма была разведана минерально-сырьевая база урана, достаточная для атомной энергетики на 100 лет вперед. Добычу урана осуществляли десятки частных и государственных компаний со штаб-квартирами в США, Канаде, Австралии, Франции. Крупнейшими были французская Areva (сейчас называется Orano) и канадская Cameco. Но обогащение и конверсия урана, производство ядерного топлива находились под контролем США и стран НАТО, там же находились и ключевые технологические центры западного ядерного топливного цикла.

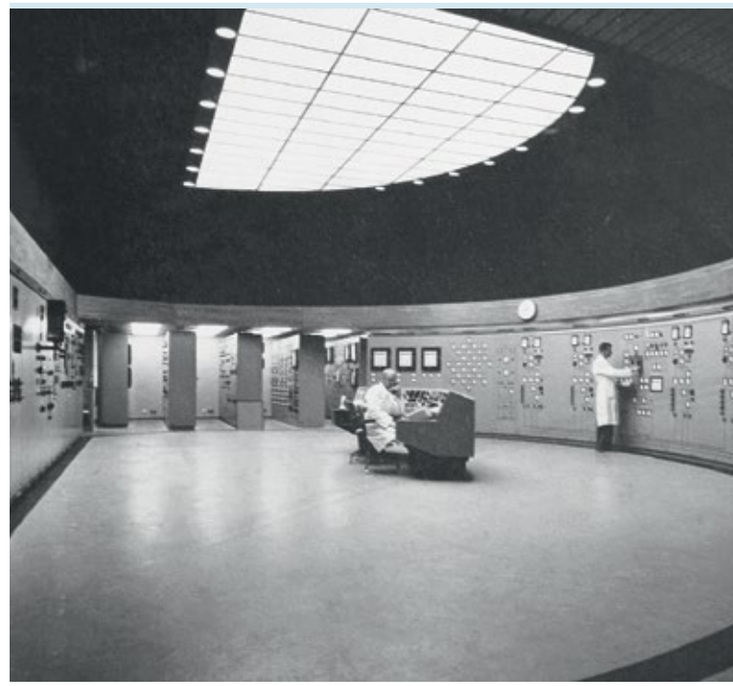
Реакторные лидеры

В странах Запада использовалось несколько конструкций АЭС, большинство производителей применяло в качестве топлива обогащенный уран и водяной теплоноситель. В США у истоков атомной энергетики стояли General Electric (GE), Westinghouse Electric, Combustion Engineering, Babcock & Wilcox и другие компании. Westinghouse в 1950-х годах сконструировала тип реактора PWR (реактор с водой под давлением), затем за десятилетия работы на атомном рынке был разработан целый ряд реакторных конструкций, преимущественно двух-, трех- и четырехпетлевых PWR. Кроме того, при слияниях и поглощениях Westinghouse получила и другие технологии, в частности, линейку PWR Combustion Engineering, интеллектуальные права на некоторые южнокорейские конструкции и так далее. Однако компания сделала основную ставку на собственную конструкцию — двухпетлевой реактор AP-1000 с развитой пассивной циркуляцией в некоторых режимах работы.

Тип реактора BWR (кипящий реактор) был создан в General Electric: в 1950–1970-х годах GE создала ряд экспериментальных моделей BWR, сильно отличающихся от современной конструкции, а также шесть базовых моделей, более 90 экземпляров которых были внедрены в США, Японии, Нидерландах, Германии, Индии, Испании, Мексике, Италии, Швейцарии, на Тайване. Впоследствии в Германии и Японии создавались собственные версии BWR и местные компании теснили GE на национальных рынках, а кое-где и составляли конкуренцию за рубежом. С 1978 года GE в сотрудничестве с Toshiba, Hitachi, ASEA Atom и итальянской Ansaldo начали разработку реактора третьего поколения ABWR мощностью более 1300 МВт.

На фото

1. Одна из крупнейших АЭС Германии «Гундремминген». Последний энергоблок мощностью 1344 МВт должен быть закрыт в 2021 году
2. АЭС «Рингхальс» под Гетеборгом, Швеция



Французская компания Framatome/Areva/Orano за более чем полвека создала целый ряд реакторов, внедрив около 70 конструкций. С 1960-х Framatome создала три основных серии легководных реакторов второго поколения: трехпетлевой CPY (M310) первоначальной мощностью свыше 900 МВт, а также четырехпетлевые P4 (около 1300 МВт) и N4 (порядка 1450 МВт). 34 реактора мощностью 900 МВт на основе конструкции Westinghouse были построены в нескольких модификациях во Франции, а также в ЮАР, Китае, Южной Корее, Бельгии. Другие модели строились только во Франции (20 экземпляров P4 и четыре — N4). К 1990-м годам Framatome/Areva/Orano и Siemens разработали реактор EPR на основе немецкой конструкции Konvoi и французской серии N4.

Канадский поставщик Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL) в середине 1950-х годов разработал и построил в сотрудничестве с энергокомпанией Ontario Hydro и Canadian General Electric опытный тяжеловодный канальный реактор на первой в стране опытной АЭС «Ролфтон». Он стал прообразом целой линейки канадских установок, известных под названием CANDU. Десятки канадских тяжеловодных реакторов были построены в Канаде, Индии, Пакистане, Румынии, Аргентине, Южной Корее, Китае. Эту технологию также использовала Индия как основу для развития собственных модификаций тяжеловодных реакторов. Но в нынешнем столетии спрос на тяжеловодную технологию снизился.

В Британии в 1954 году создали госструктуру — Управление по атомной энергии Соединенного Королевства (UKAEA), которой передали основные аспекты ядерной программы, в том числе обогащение урана, фабрикацию топлива для АЭС, переработку ОЯТ, а также реакторы Magnox. Сначала UKAEA сама поставляла реакторы, но затем большинство их проектировалось и строилось консорциумами преимущественно из британских частных компаний. В силу этого британские газоохлаждаемые реакторные установки отличаются очень низкой степенью унификации. В 1971 году Лондон разделил атомные активы, выделив коммерческую и производственно-технологическую гражданские составляющие в компанию British Nuclear Fuels Ltd (BNFL). В 1990-м и начале 2000-х годов BNFL создавала дочерние структуры в США и расширяла там бизнес, участвовала в проектах в ЮАР, но к середине первого десятилетия XXI века Великобритания пересмотрела стратегические приоритеты, отказавшись от расширения атомной энергетики и экспансии на рынке ядерных технологий. Предпочтение было отдано финансовой оптимизации государственной части отрасли и решению проблем ядерного наследия. В результате реструктуризации BNFL значительная часть активов приватизирована.

«Разнообразие платформ АЭС вызвано стремлением выйти на ценовые показатели тепловой энергетики, уже использующей воду со сверхкритическими параметрами, по сути, водный газ»,— говорит старший научный сотрудник СПбГТИ (ТУ) Александр Чугунов. Газовые турбины значительно экономичней турбин насыщенного пара, а если принять во внимание, что основная масса ТЭС в те годы была угольной, то их замена чистыми АЭС казалась

панацеей, при условии сравнимой себестоимости электроэнергии. По словам ученого, поэтому и шел процесс отработки архитектуры блоков, пригодных в качестве платформы.

АЭС обустраиваются в энергобалансе

В прошлом веке за рубежом было несколько стратегий развития атомной энергетики. Ряд государств ставили АЭС в центр энергобаланса (Франция, Япония), другие сохраняли относительно небольшую долю мирного атома в энергетике. Так, на пике развития атомной генерации ее доля во Франции составляла 78 %, в Бельгии и Швеции — по 55 %, в Швейцарии — 40 %, в Финляндии — 27 %, в Великобритании и Испании — по 20 %.

Лидерство в атомной электрогенерации традиционно принадлежит США: здесь на пике в 1991 году функционировало 111 атомных энергоблоков, которые выдавали 22 % всей электроэнергии страны. Формирование мирного атома в США происходило в основном усилиями региональных энергетических компаний.

Развитие индустрии в ФРГ и ГДР шло разными путями. В Западной Германии первыми реакторами были американские: в 1961 году была пущена ядерная установка типа BWR. В ГДР строились АЭС советского дизайна с водо-водяными реакторами типа ВВЭР, закрытые после объединения Германии. Япония также использовала ядерные технологии из США, сложились деловые американо-японские альянсы, например General Electric/Hitachi и т. д. Турция начала разговоры об АЭС еще в 1970 году, а в 1973 году было решено построить демонстрационный реактор мощностью 60 МВт, но проект так и не дошел до тендера (первую АЭС в Турции в XXI веке будет строить «Росатом»).

В Европе наиболее любопытна история французского атомного романтизма: по масштабу, независимости и разнообразию ядерных технологий Франция входит в тройку мировых лидеров. У страны есть практически полный комплект ядерной производственной цепочки: например, Areva/Orano владела урановыми рудниками в Африке и Америке, Alstom производила турбогенераторы, Creusot — крупногабаритные поковки и литье, JSPM — циркуляционные насосы и сопутствующее оборудование; конверсия урана осуществлялась Comurhex на двух площадках во Франции; имелись собственные обогатительные мощности; была освоена фабрикация ядерного топлива и переработка радиоактивных отходов.

Французская атомная программа была ориентирована на создание собственного ядерного оружия. С этой целью в 1950–1960-х годах построены 10 газоохлаждаемых реакторов с графитовым замедлителем UNGG, схожие с британскими Magnox. Они создавались как двухцелевые: наработка плутония и производство энергии. Их мощность составляла 70–540 МВт, и они занимали второстепенное место

Справка

Небыстрые разработки быстрых реакторов

Первые ядерные романтики, работавшие в США,— итальянец Энрико Ферми, венгры Лео Сциллард и Юджин Вигнер, американец с белорусскими корнями Элвин Вайнберг, канадец Уолтер Зинн — предложили в 1944 году идею «размножающего реактора» на быстрых нейтронах, который должен стать основой мирной ядерной энергетики с практически неограниченным топливным ресурсом. Символично, что первым в мире реактором, который 20 декабря 1951 года зажег четыре электролампы по 200 Вт каждая, стал именно реактор на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением EBR-1 тепловой мощностью 1,2 МВт. Реактор построен под руководством Уолтера Зинна — близкого коллеги Энрико Ферми.

Однако быстрого развития ядерной энергетики на быстрых нейтронах не произошло. Более того, из 440 энергетических реакторов в мире только два относятся к прототипам будущих коммерческих быстрых реакторов. Это реакторы БН-600 и БН-800 на Белоярской АЭС в России.

Современные ядерные романтики из России, продолжающие дело Энрико Ферми и его коллег, предложили программу двухкомпонентной ядерной энергетики с постепенным переходом от реакторов на тепловых нейтронах к реакторам на быстрых нейтронах (РБН). Эта программа получила первый приоритет в указе президента России от 16 апреля 2020 года № 270 «О развитии техники, технологии и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации». Но ожидаемое (по сценариям двухкомпонентной ядерной энергетики) влияние РБН проявится не ранее 50-х годов XXI века. То есть, существуют факторы, затормозившие на 100 лет коммерциализацию РБН и «плутониевую экономику».

Тем не менее, 18 западных ученых еще в 2017 году в ответ на растущие тревоги по поводу изменения климата и на призывы к безуглеродной энергетике также предложили полностью исключить использование угля, нефти и газа в энергетике и заменить их двухкомпонентной ядерной энергетикой в мировом масштабе. Для этого потребуется построить к 2100 году почти 20 тысяч реакторов мощностью по 1200 МВт каждый. То есть нужно иметь в 50 раз больше реакторов, чем сейчас. Если насобирать уран со всех мыслимых сусеков, то его едва хватит на строительство 100 реакторов ежегодно в течение 20 лет (с 2020 по 2040 год). В это же время надо развивать промышленность по сооружению РБН и строить не менее семи быстрых реакторов в год. А с 2040 до 2100 года строить только РБН по 300 штук в год.

Владимир Харитонов, профессор НИЯУ МИФИ, д-р физ.-мат. наук

Экспорт атомных технологий странами Запада в 1950–1970 годах

Страна происхождения, поставщики технологии	Тип реактора	Страна внедрения, площадка/объект	Год начала строительства
США, Westinghouse / ANL	PWR	Бельгия, реактор BR-3	1957
США, Westinghouse	PWR	Италия, АЭС «Энрико Ферми»	1961
США, Westinghouse	PWR	Франция, АЭС «Шуз-А»	1962
США, Westinghouse	PWR	Испания, АЭС «Хосе Кабрера»	1964
США, Westinghouse	PWR	Швейцария, АЭС «Бецнау»	1965
США, Westinghouse	PWR	Япония, АЭС «Михама»	1967
США, Westinghouse	PWR	Бельгия, АЭС «Дул»	1969
США, Westinghouse	PWR	Швеция, АЭС «Рингхальс»	1970
США, General Electric / ANL	BWR	Германия, АЭС «Каль»	1958
США, General Electric	BWR	Италия, АЭС «Гарильяно»	1959
США, General Electric	BWR	Япония, JPDR	1960
США, General Electric	BWR	Германия, АЭС «Гундреминген-А»	1962
США, General Electric	BWR	Индия, АЭС «Тарапур»	1964
США, General Electric	BWR	Нидерланды, АЭС «Додевард»	1965
США, General Electric	BWR	Япония, АЭС «Цуруга»	1966
США, General Electric	BWR	Испания, АЭС «Санта Мария де Гаронья»	1966
США, General Electric	BWR	Япония, «Фукусима-I»	1967
США, General Electric	BWR	Швейцария, АЭС «Мюлеберг»	1967
СССР, Минсредмаш / ИТЭФ АН СССР	тяжеловодный газоохлаждаемый	Словакия (Чехословакия), АЭС «Бугунице-А1»	1958
СССР, Минсредмаш / ИАЭ АН СССР	ВВЭР	Германия (ГДР), АЭС «Рейнсберг»	1960
СССР, Минсредмаш / ИАЭ АН СССР	ВВЭР	Германия (ГДР), АЭС «Грайфсвальд»	1970
Великобритания, The Nuclear Power Group (TNPG) / UKAEA	газографитовый	Италия, АЭС «Латина»	1958
Великобритания, General Electric Company (GEC) / UKAEA	газографитовый	Япония, АЭС «Токай»	1963
Канада, AECL	тяжеловодный	Индия, АЭС «Раджастан»	1965
Канада, CGE/AECL	тяжеловодный	Пакистан, АЭС «Карачи»	1966
Франция, CEA	газографитовый	Испания, АЭС «Вандельос»	1968

Источник: «Атомный Эксперт» №7, 2016 г.

в энергетике страны. Но в 1969 году Париж решил окончательно отказаться от газографитовых реакторов для АЭС и полностью перейти на американские PWR. В США было заказано четыре блока АЭС по 500–1100 МВт.

В 1973 году на фоне нефтяного кризиса произошел перелом в отношении к атомной энергетике: Франция решила развивать АЭС ускоренными темпами, сделав ее основой электроэнергетики. В течение 25 лет, начиная с пуска в 1978 году двух блоков на АЭС «Фессенхайм», во Франции было построено 19 АЭС с 58 реакторами PWR общей мощностью 63,1 МВт. В итоге по размеру парка АЭС страна сегодня уступает только США.

Лишь в нынешнем столетии власти Франции решили снижать долю атомной генерации в энергобалансе. Как отметил декан факультета бизнес-информатики и управления комплексными системами МИФИ

Александр Путилов, во Франции была очень грамотная техническая политика — около 75 % атомной генерации, и именно поэтому «зеленое лобби» требует снизить процент атомной энергетики до 50 % не за счет создания возобновляемой, а за счет снижения атомной доли. «Это же чистой воды протекционизм и выкачивание из бюджета и потребителей невероятных средств на поддержку ВИЭ»,— считает он.

Для Франции также характерна высокая централизация мирного атома под контролем государства. Основные поставщики технологий — государственный Комиссариат по атомной и альтернативным источникам энергии (CEA) и Orano SA (до 2018 года Areva), подконтрольная правительству. Владелец АЭС тоже подконтрольная государству Electricite de France SA (EdF).

Блоковый экспорт атомных технологий

Стратегическое военное значение атомной отрасли во времена холодной войны 1946–1991 годов предопределило и блоковую систему экспорта гражданских атомных технологий. СССР поставлял АЭС в социалистические страны Варшавского договора, а также в нейтральную Финляндию, с которой Москва наладила активные коммерческие связи (финская АЭС «Ловииза» пущена в 1977–1980 годах по советскому проекту). США и их союзники по НАТО осуществляли экспорт в капиталистические страны и страны третьего мира. Наряду с Финляндией, исключением были проводившая самостоятельную политику социалистическая Югославия (АЭС «Кршко» в Словении построена в 1975–1981 годах с реактором Westinghouse) и Румыния (на АЭС «Чернавода» стоял водо-водяной реактор канадской AECL).

В первые два десятилетия развития атомной отрасли западными лидерами в области экспорта мирного атома стали США, Великобритания и Канада. В последующие десятилетия зарубежная экспансия поставщиков первой волны из США и Канады продолжилась, но у них появились сильные конкуренты: с конца 1960-х годов в клуб поставщиков реакторных технологий вступили Германия, Франция, Япония, Швеция. Французский CEA внедрил газоохлаждаемый реактор на АЭС «Вандельос» в Испании, а немецкая Kraftwerk Union AG (KWU) впервые поставила свою PWR-конструкцию на АЭС «Борселе» в Нидерланды. В 1970-х годах компании ФРГ заключали контракты на поставки ядерных технологий в Бразилию (АЭС «Ангра»), Аргентину (АЭС «Атуча»), Иран (АЭС «Бушер»), Швейцарию (АЭС «Гёсген»), Испанию (АЭС «Трильо»), Австрию (АЭС «Цвентендорф»). В этих странах началось строительство западногерманских конструкций PWR, BWR и тяжеловодных реакторов, заключались контракты на полное обеспечение станций топливом в течение 10–20 лет (например, в Иране) или поставку широкого спектра технологий ядерно-топливного цикла. В том же десятилетии Framatome поставила реакторную технологию PWR в Бельгию (для блоков АЭС «Тианж» и АЭС «Дул») и в ЮАР (на АЭС «Коберг»), а шведская ASEA-Atom внедрила в Финляндии кипящие реакторы собственной разработки.

Что касается японских поставщиков Hitachi, Toshiba, Mitsubishi, то они в первые десятилетия развития своих атомных технологий сосредоточились на внутреннем рынке, построив там десятки энергоблоков АЭС. За пределы Японии экспортировались лишь отдельные компоненты и оборудование.

К 1980–1990-м годам в большинстве стран второй волны была достигнута значительная независимость в реакторных технологиях от первоначальных разработчиков, прежде всего из США. В этих государствах формировались один или несколько холдингов, способных разрабатывать и изготавливать большую часть основного оборудования АЭС, а также собственные поставщики топлива. Но ряд поставщиков технологий первой и второй волн к 2000-м годам не удержались на рынке, некоторые из них практически сошли со сцены (прежде всего, это касается Великобритании и Германии).

Атомные технологии за пределами АЭС

История попыток применения атомной тяги на транспорте в СССР широко известна. Помимо атомных подводных лодок, надводных кораблей ВМФ и атомных ледоколов, реакторы пытались поставить на другой крупный транспорт, включая локомотивы для железных дорог и самолеты. В 1956 году Совет Министров СССР постановил начать проектирование летающей лаборатории на базе серийного самолета Ту-95 для исследований влияния излучения авиационного ядерного реактора на бортовое оборудование, а также вопросов, связанных с радиационной защитой экипажа

Реакторные изотопы в медицине

Ежегодно проводится более 40 млн процедур ядерной медицины, а спрос на радиоизотопы увеличивается до 5 % в год. В странах Запада диагностической ядерной медициной ежегодно пользуется примерно один человек из 50, а частота терапии радиоизотопами составляет около одной десятой от этой величины. Более 10 тысяч больниц по всему миру используют радиоизотопы в медицине, и около 90 % процедур предназначены для диагностики.

Сверхдолгим драйвером изотопной медицины (100 лет и больше) является рост числа раковых заболеваний в мире, что обусловлено ростом населения планеты, увеличением продолжительности жизни людей, появлением новых канцерогенов. Стабильно растущая отрасль изотопной медицины привлекает серьезные инвестиции в разработку, только в последние годы появилось около 10 изотопных препаратов. Среди более 30 радионуклидов, использующихся в терапии, наибольшее распространение в 1970-е годы получили методики лечения с ^{32}P, ^{131}I (подавляющее большинство) и 90Y. Вместе с тем к настоящему времени перечень нуклидов, используемых в лечебных целях, значительно расширился. Сегодня широко применяются ^{89}Sr, ^{153}Sm, ^{186,188}Re. Интенсивные поисковые исследования ведутся в области получения и использования препаратов ^{67}Cu, ^{117m}Sn, ^{124}I, ^{166}Ho, ^{177}Lu, ^{211}At, ^{212}Bi, ^{225}Ac (^{213}Bi) и др.

и особенностей эксплуатации самолета с ядерным реактором. Также существовали проекты термоэмиссионных ядерных энергетических установок для морских нефтегазодобывающих платформ.

На западе также существовали подобные идеи. Впрочем, на транспорте мирный атом за рубежом сейчас используется только в военной сфере — на атомных субмаринах и крупных кораблях на атомной тяге. Американская подлодка «Наутилус», спущенная на воду в 1954 году, стала первым атомным кораблем в мире (а в 1958 году эта субмарина подо льдами Северного Ледовитого океана первой достигла Северного полюса). США также построили и первый в мире надводный атомоход, им стал крейсер Long Beach, спущенный на воду в 1961 году.

В гражданском судостроении за рубежом было несколько попыток создать проект надводного атомохода. Первым таким экспериментом была Savanna — грузопассажирское судно, спущенное на воду в 1950-х годах в США. Целью его строительства была демонстрация технологий. Но проект вышел не слишком удачным: при большой мощности в 74 МВт Savanna могла брать лишь 8500 тонн груза. Судно вывели из эксплуатации в 1974 году. Еще две попытки использовать ядерную энергоустановку на гражданских судах предприняли ФРГ и Япония. В Западной Германии в 1968 году спустили на воду торговое и исследовательское судно Otto Hahn, названное в честь известного физика Отто Гана, мощностью 38 МВт. Но оно ходило на атомной тяге лишь до 1979 года, когда реактор был вырезан и заменен на дизельную установку. Еще печальнее была судьба японского атомохода «Муцу», строившегося с 1960-х годов. Его доделали лишь к 1990 году, и «Муцу» выходил только в опытные плавания, а к 1995 году проект признали неудачей. Сейчас, кроме российских атомных ледоколов, ядерной энергоустановкой обладает лишь атомный лихтеровоз «Севморпуть», также принадлежащий «Атомфлоту» «Росатома».

Но есть еще одна гражданская «транспортная» область, в которой атомная энергетика получила весьма широкое применение как в СССР, так и на западе. Речь идет о космических программах: части космических аппаратов, особенно отправляющихся к внешним планетам Солнечной системы, требуются энергоисточники, не зависящие от солнечного света и работающие в течение многих лет полета. Чаще всего в эпоху активного покорения космоса для этого использовалась энергия делящихся материалов.

Атомные технологии были применены первоначально в США для космических программ (СССР также использовал атомные технологии в космосе). В 1961 году навигационный спутник Transit 4A стал первым западным устройством, питаемым атомной энергией. Был использован радиоизотопный термоэлектрический генератор (РИТЭГ) мощностью 2,7 Вт на плутонии-238, разработанный Atomic Energy Commission. На «Аполлонах» лунной программы США применяли солнечные панели, но подогрев их осуществлялся радиоизотопным теплогенератором мощностью 15 Вт.

В 1970-х космические аппараты Pioneer 10 и Pioneer 11 снабжались и РИТЭГ, и теплогенераторами. Атомная энергосистема Pioneer 10 была рассчитана на пять лет, но проработала три десятилетия, у Pioneer 11 — 22 года (сейчас оба аппарата находятся на границе Солнечной системы). Аналогичные системы были у Voyager 1 и Voyager 2, которые проработали примерно по 35 лет. Voyager 2 исследовал Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, он в частности открыл ряд спутников Нептуна и Урана и гейзеры жидкого азота на спутнике Нептуна Тритоне.

Западные страны применяли РИТЭГи и на земле — в навигационных устройствах, на метеостанциях и другом оборудовании, установленном там, где нет возможности использовать другие энергоисточники. В США РИТЭГи использовались также для морских буев и подводных шпионских установок. Например, в 1988 году СССР обнаружил два американских РИТЭГа рядом с советскими кабелями связи в Охотском море.

США прорабатывал и ядерные ракетные двигатели. Национальная программа ROVER/NERVA в 1959–1972 годах позволила испытать около 40 установок с космическими реакторами (Phoebus, Pewee, NF1). За основу конструкции был принят гомогенный реактор с активной зоной из графита и осевым течением водорода.

Конец атомного романтизма

Аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд» (США), Чернобыльской (СССР) и «Фукусима-1» (Япония) вошли в историю как примеры человеческих ошибок, несовершенных технических устройств, каждый раз усиливавших в мире скепсис в отношении атомных технологий. Была, впрочем, и польза: специалисты, атомные компании, государственные регуляторы, МАГАТЭ пересматривали нормы и стандарты безопасности АЭС в сторону ужесточения. Но параллельно возникали и массовые фобии против любых атомных станций.

Эти эффекты сложились в конце 1980-х годов в один мощный фактор негативного свойства для отрасли. Производственные затраты возросли, перспективы возврата инвестиций во многих проектах новых АЭС усложнились. Новых проектов АЭС стало значительно меньше, но парадоксальным образом это помогло инженерно-технически обоснованному продлению сроков эксплуатации старых блоков с первоначальных 30–40 до 60–80 лет.

Возобновление интереса к мирному атому началось лишь на рубеже веков и получило условное наименование «атомный ренессанс». Но ключевые зарубежные игроки глобального рынка атомных технологий к этому моменту уже начали меняться. Европа, США и Япония отходили на второй план, а в лидеры вырывались Россия, Китай, Индия, Южная Корея.

Текст: Владимир Лукин, канд. биол. наук, директор группы операционных рисков и устойчивого развития КПМГ в России и СНГ
Фото: ТАСС

Углеродный гамбит

Какую цену заплатит бизнес за климатические амбиции Евросоюза

От редакции:
О проблемах и возможностях для бизнеса, которые связаны с ужесточением экологических норм, «Вестник атомпрома» подробно рассказывал в майском номере. Сейчас Евросоюз готовится к новому витку запретов на выбросы парниковых газов, и мы решили вернуться к обсуждению того, чем это грозит промышленным отраслям.

Предпосылки и цели трансграничного углеродного регулирования

В сентябре 2019 году глава Еврокомиссии Урсула Гертруда фон дер Ляйен анонсировала задачи по скорейшему достижению целей декарбонизации в Евросоюзе, в том числе достижение углеродной нейтральности ЕС к 2050 году. Основанием для данного заявления стало принятие на себя соответствующих обязательств рядом стран ЕС, а также утверждение в ноябре 2018 года стратегии перехода к углеродно-нейтральной экономике.

Реализация стратегии декарбонизации и связанное с ней ужесточение мер по регулированию выбросов парниковых газов внутри ЕС оказывает негативное влияние на европейских производителей. В частности, в фокусе регуляторного воздействия оказываются наиболее углеродоемкие отрасли промышленности. Это стимулирует процессы перемещения таких производств из ЕС в регионы с более мягким регуляторным ландшафтом. По сравнению с 2003 годом, по данным World Steel Association, внутреннее производство чугуна и металлопроката в ЕС сократилось на 20 и 9 % соответственно, при этом импорт чугуна за тот же период увеличился вдвое, а импорт металлопроката возрос на 18 %. Аналогичная ситуация наблюдается в производстве алюминия и в ряде других отраслей.

Делокализация (перемещение) углеродоемких производств из ЕС получила название «утечка углерода». Помимо негативных экономических последствий данное явление фактически сводит к нулю глобальный эффект регулирования. Дело в том, что в глобальном масштабе общий объем нетто-эмиссий парниковых газов при производстве данной продукции не только не снижается, но и может возрастать из-за использования в производстве менее эффективных процессов и технологий, а также за счет дополнительных транспортных эмиссий.

Введение трансграничного углеродного регулирования (ТУР) в рамках общеевропейского проекта Green Deal («Зеленая сделка») предполагает установление дополнительных барьеров для углеродоемкого импорта, которые должны уровнять регуляторную нагрузку для внутренних производителей и экспортеров и таким образом минимизировать риск «утечки углерода». Кроме того, средства, привлеченные в рамках ТУР, должны быть использованы для дополнительного стимулирования и поддержки низкоуглеродных технологий в период выхода из рецессии, связанной с пандемией COVID-19. В частности, по оценкам Еврокомиссии, годовой бюджет ТУР в 2021–2027 годах может составить от €5 млрд до €14 млрд.

Таким образом, основными предпосылками для введения ТУР являются:

1. Обеспечение равенства условий для экспортеров и внутренних европейских производителей в части воздействия мер регулирования выбросов парниковых газов.
2. Стимулирование стран-экспортеров к скорейшему внедрению внутреннего регулирования выбросов парниковых газов и к повышению амбициозности определяемых на национальном уровне вкладов (ОНУВ) в рамках Парижского соглашения.
3. Необходимость поддержки низкоуглеродных технологий и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в период выхода из рецессии.
4. Защита интересов европейских производителей в условиях планомерного сокращения выдачи бесплатных углеродных квот в европейской системе торговли квотами на выбросы парниковых газов (EU ETS) с 80 % в 2013 году до 30 % в 2020 году и планируемого в 2030 году полного прекращения выдачи бесплатных квот, а также с учетом значительного роста цен на углеродные единицы в EU ETS с €3,44 в 2013 году до €25 в 2020 году.

ТУР может быть реализовано с использованием различных инструментов. В частности, в рамках проводимых Еврокомиссией международных консультаций рассматриваются следующие варианты регулирования:

— введение пограничного налога на импорт отдельных углеродоемких продуктов (его размер будет зависеть от стоимости выбросов CO_2 в рамках EU ETS);
— распространение действия европейской системы торговли квотами на импортные товары. В этом случае зарубежным производителям либо придется приобретать квоты, либо для них специально будет отведено определенное количество.

Правовые аспекты и законодательная база

Законодательной базой ТУР должен стать европейский закон о климате, который предположительно будет принят летом 2021 года. Его введение может рассматриваться как возможная мера по осуществлению пункта 8 статьи 6 Парижского соглашения, где предусмотрена реализация нерыночных механизмов для оказания содействия в осуществлении определяемых на национальном уровне вкладов для достижения целей соглашения. По мнению авторов законопроекта, введение ТУР соответствует пункту 2 статьи 2 Генерального соглашения по тарифам и торговле (ГАТТ 1947), где разрешается введение пошлин на ввоз любого товара, эквивалентных внутреннему налогу. Также в соответствии со статьей 20 ГАТТ возможно применение мер, «относящихся к консервации истощаемых природных ресурсов, если подобные меры проводятся одновременно с ограничением внутреннего производства или потребления».

В то же время инициатива Еврокомиссии является объектом критики со стороны зарубежных компаний и ряда политических деятелей. В частности, наиболее существенной проблемой является гармонизация ТУР с действующим законодательством ЕС и международными соглашениями, включая Рамочную конвенцию ООН об изменении климата (РКИК ООН). Статья 3 часть 5 РКИК ООН не допускает использования мер по борьбе с изменением климата для ограничения международной торговли.

Также зоной неопределенности в отношении юридического статуса ТУР является соответствие п. 1 ст. 11 ГАТТ 1947, который запрещает введение протекционистских тарифов, дискриминацию ввозимых товаров, а также иные скрытые ограничения международной торговли. Эта неопределенность, а также прогнозируемое негативное влияние ТУР на международную торговлю привели к тому, что инициатива не находит поддержку у многих участников данного процесса как в странах ЕС, так и за рубежом. По данным Еврокомиссии, в ходе проведения опроса среди различных участников рынка более трети респондентов высказались против инициативы или выразили поддержку с указанием на возможные проблемные места. В самой ЕК отмечается неопределенность в отношении содержания и объема предполагаемого регулирования. 28 мая сотрудник генерального директората Еврокомиссии по вопросам налогообложения и таможенного союза Висенте Уртадо-Роа заявил, что речь, возможно, будет идти лишь о внедрении отдельных регуляторных мер. Также сдержанную или негативную позицию по отношению к ТУР выражают ряд неевропейских торговых партнеров ЕС. Руководство США в лице министра торговли Уилбура Росса предупредило о возможности ответных мер в отношении ЕС, в случае если предлагаемый трансграничный углеродный налог будет носить протекционистский характер.

На основе собранных Еврокомиссией комментариев и заявлений в отношении ТУР основными проблемными зонами инициативы являются:

Отсутствие единого общепринятого методического подхода к оценке углеродоемкости продукции, в частности, остается открытым вопрос об учете косвенных энергетических выбросов. Неопределенность оценки углеродоемкости обусловлена несогласованностью и разнородностью данных об источниках выбросов в рамках производственных процессов. Также отсутствует единая оценка коэффициентов эмиссии для расчета выбросов от потребляемой электрической и тепловой энергии.

Отсутствие объективной и точной оценки всех возможных эффектов ТУР, в том числе, негативных социально-экономических последствий, которые в итоге могут привести к сворачиванию программ по модернизации и внедрению низкоуглеродных технологий, то есть потенциально могут вызвать рост нетто-эмиссий парниковых газов.

Неопределенность в отношении применимости механизмов компенсации углеродоемкости, в частности, путем реализации проектов, направленных на сокращение выбросов или увеличение поглощения парниковых газов.

Несоответствие требованиям европейского законодательства и международных соглашений при наличии признаков дискриминационного характера ТУР в случае игнорирования локальной специфики экспортеров, определяющей углеродоемкость продукции.

Влияние ТУР на экспорт из России

Евросоюз является важнейшим торговым партнером России, его доля в совокупном экспорте РФ составляет 46% в стоимостном выражении. Наибольшую часть экспорта составляют углеродоемкие товары: нефть, природный газ (в том числе сжиженный), уголь (энергетический и металлургический), цветные металлы (алюминий, никель, медь) и изделия из них, продукция черной металлургии (окатыши, полуфабрикаты и прокат), нефтехимии, минеральные удобрения (азотные и калийные), электроэнергия и другие.

Величина дополнительной финансовой нагрузки, связанной с введением ТУР, а также степень ее негативного влияния на отрасль в отношении экспортируемой продукции определяется следующими ключевыми факторами:

— в среднем более высокой углеродоемкостью российской продукции по отношению к средней углеродоемкости европейских аналогов;
— невозможностью перераспределения многих категорий углеродоемкой продукции на альтернативные экспортные направления.

С учетом этих факторов наибольшее негативное влияние ТУР будет оказывать на природный газ (экспорт в ЕС составляет 80% от объема производства), продукцию черной и цветной металлургии (никель и медь). Товарами, наименее подверженными влиянию ТУР, являются калийные удобрения, окатыши, алюминий и сырая нефть.

На фото

Смог — одна из самых значительных экологических проблем во многих странах мира. Городской округ Наньтун в провинции Цзянсу КНР

Для оценки дополнительной финансовой нагрузки, связанной с введением ТУР, был проведен сценарный анализ, где в качестве переменных параметров были рассмотрены налогооблагаемая база (углеродоемкость при производстве продуктов, отклонение углеродоемкости российских товаров от европейских аналогов) и предполагаемые сроки введения ТУР. Сценарии также учитывали изменение доли регулируемого экспорта и прогнозную среднюю ставку налогообложения, соответствующую ожидаемой стоимости квот в EU ETS с учетом доли платных квот.

Отдельно стоит отметить, что бесплатные квоты на выбросы парниковых газов в EU ETS распределяются преимущественно по отраслям, имеющим высокий риск «утечки углерода». Введение ТУР позволит полностью исключить бесплатные квоты к 2030 году, что может крайне негативно сказаться на европейских производителях.

По результатам анализа ежегодная дополнительная финансовая нагрузка на российский экспорт при введении ТУР в период 2020–2030 годов может составить от €4 млрд до €8 млрд в зависимости от сценария и конкретных механизмов, которые будут реализованы в рамках ТУР. Учитывая общий объем выручки от европейского экспорта, наиболее существенным образом введение ТУР может повлиять на угольную, металлургическую (черная металлургия, производство никеля и меди), нефтегазовую и химическую отрасли (производство азотных удобрений).

В результате сравнительной оценки эффекта ТУР среднегодовая дополнительная нагрузка на российских производителей углеродоемких товаров, экспортируемых в ЕС (€5,3 млрд в год), существенно выше, чем на других экспортеров аналогичных товаров — США (€1,3 млрд), Китай (€1,2 млрд), Саудовскую Аравию (€0,6 млрд) и Катар (€0,3 млрд), что в значительной степени обусловлено структурой российского экспорта.

Основные направления снижения негативного эффекта ТУР

Относительное снижение дополнительной нагрузки, связанной с введением ТУР, на российский экспорт может быть достигнуто при условии активного участия РФ в международном переговорном процессе. Его целью должна быть реализация наиболее благоприятного механизма введения ТУР, учитывающего возможности компенсации углеродоемкости экспортной продукции (в том числе за счет реализации лесоклиматических проектов при условии формирования нормативной и методической базы для их осуществления).

В рамках формирования национальной системы регулирования выбросов парниковых газов наибольшее внимание должно быть уделено следующим аспектам:

1. Развитию системы мониторинга, отчетности и контроля выбросов парниковых газов и ее гармонизации с международными требованиями и стандартами. К этому относится и разработка методической базы для оценки углеродоемкости продукции на отраслевом уровне, включая коэффициенты эмиссии при потреблении электроэнергии.
2. Разработке и внедрению механизмов гибкого финансирования программ по модернизации производства и внедрению низкоуглеродных технологий, направленных на снижение углеродоемкости производства.
3. Разработке и внедрению нормативной базы, обеспечивающей реализацию проектной деятельности, направленной на сокращение выбросов и/или увеличение поглощающей способности естественных поглотителей парниковых газов. Использованию результатов данной проектной деятельности для компенсации углеродоемкости экспортной продукции.
4. Развитию отраслевых низкоуглеродных брендов и систем сертификации низкоуглеродных продуктов, а также стимулированию продвижения данной продукции на европейский рынок.

Данные направления, комплексно реализованные в рамках стратегии низкоуглеродного развития на государственном, отраслевом и корпоративном уровне, позволят не только минимизировать негативный эффект ТУР, но и станут существенным стимулом для модернизации производства и повышения его эффективности за счет внедрения передовых энергосберегающих технологий и эффективного использования ресурсов. Таким образом, новые экономические условия, которые создаются при реализации международных инициатив в области углеродного регулирования, могут стать стимулом технологического развития и экономического роста.

Фото: «Росатом»

Атомный ледокол «Ленин»

Спуск на воду атомного ледокола «Ленин». Ленинград (Санкт-Петербург), 5 декабря 1957 года

Первое в мире надводное судно с ядерной энергоустановкой. Построен на верфях Ленинграда, спущен на воду в 1957 году, начал работу в декабре 1959 года. Изначально получил трехреакторную установку ОК-150, в 1967–1970 годах ее заменили на двухреакторную ОК-900. Проработал на Северном морском пути до 1989 года. В 2009 году был навечно пришвартован в Мурманске, где стал выполнять роль музея. Имеет статус объекта культурного наследия федерального значения.

16 *тыс. тонн*

водоизмещение

134 *метра*

длина корпуса

10,5 *метра*

осадка

32,4 *МВт*

мощность

654 *тыс. миль*

прошел за время эксплуатации

12 *месяцев*

автономность плавания

Фото: «Росатом»

Атомный ледокол «Арктика»

«Тезка» второго советского атомного ледокола, работавшего на Севморпути в 1975–2008 годах. Новая «Арктика» (ЛК-60Я, или проект 22220) заложена на Балтийском заводе в 2013 году, сдача заказчику запланирована на конец 2020 года. Является первым атомным ледоколом, спроектированным в постсоветскую эпоху и головным судном серии. Оборудован ядерной энергоустановкой с двумя реакторами РИТМ-200. Также в 2021–2026 годах должны быть сданы еще четыре аналогичных судна — атомные ледоколы «Сибирь», «Урал», «Якутия» и «Чукотка».

25 540 *тонн*

водоизмещение

2 *реактора*

РИТМ-200 по 175 МВт

173,3 *метра*

длина

10,5 *метра*

осадка по ватерлинии

60 *МВт*

мощность

7 *лет*

Автономность плавания
(по перезагрузке топлива)

2 *узла*

скорость плавания при преодолении льда толщиной два метра

Текст: Евгений Зайнуллин
Фото: «Росатом»

На фото

На подземном урановом руднике ПАО «ППГХО»

Урановые трудности от «Фукусимы» до коронавируса

Добыча урана по-прежнему ждет роста спроса

Уранодобывающий сектор оказался, возможно, наиболее пострадавшим в период охлаждения глобального интереса к атомной энергетике после 2011 года. Снижение спроса на природный уран и падение биржевых цен на товар привели к закрытию многих перспективных проектов начала века. В последние годы спрос на уран немного восстанавливается, эксперты не исключают даже дефицита сырья из-за инвестиционной паузы. Но пока уверенно смотреть в будущее могут лишь проекты с низкой себестоимостью добычи, которых становится все меньше из-за истощения богатых месторождений.

Уранодобывающая отрасль, обеспечивающая сырьем всю атомную производственную цепочку, в последние 10 лет переживает сложные времена. Март 2011 года и авария на японской АЭС «Фукусима-1» превратили уран из товара повышенного спроса в проблемный. Спотовые цены в 2011 году

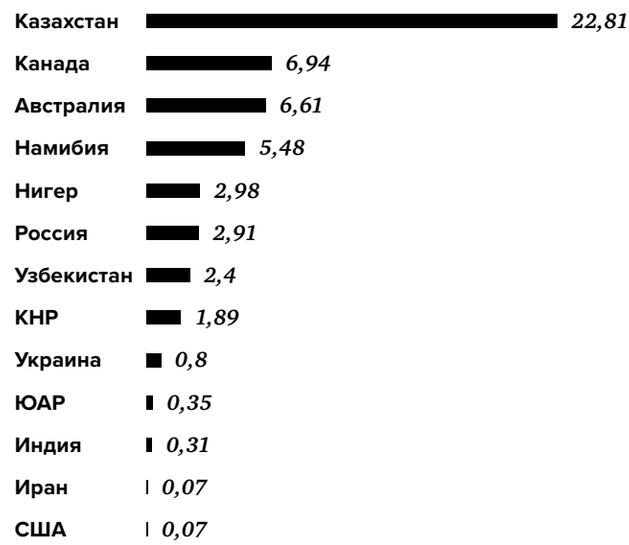
достигали $73 за фунт, но после аварии стали резко падать. Катастрофа на АЭС привела к более жесткому регулированию ядерной отрасли, развитие ядерной энергетики в некоторых регионах мира замедлилось. Япония после Фукусимы приостановила работу всех своих АЭС, в Европе было принято решение о свертывании проектов в Германии, Бельгии и Швейцарии. Некоторые страны, активно интересовавшиеся атомной энергетикой, стали осторожнее присматриваться к этим технологиям.

Еще один удар по ценам нанесли действия двух трейдеров в лице банков Goldman Sachs и Deutsche Bank, которые приняли решение уйти с рынка урана. Трейдеры являлись активными игроками, и с их уходом ликвидность на спотовом рынке уменьшилась. Объемы спотового рынка сравнительно невелики, большая часть урана уходит потребителям по долгосрочным контрактам, не выходя на биржевые торги, но котировки спота учитываются в таких продажах.

Следствием падения спроса на уран стало то, что практически все основные производители столкнулись с проблемами рентабельности добычи. Спотовые котировки на природный уран в течение десятилетия падали ниже отметки $20 за фунт. Уранодобывающие компании объявляли о перспективах снижения добычи, сокращении расходов, отмене или приостановке некоторых проектов, а также о переносе сроков запуска новых месторождений. Например, работы на таких проектах, как Ranger, Honeymoon в Австралии были приостановлены, добыча на месторождении Willow Creek в США снижена, а начало добычи на руднике Imouraren в Нигере отложено. Это затронуло и российскую уранодобывающую отрасль: например, на долгосрочную паузу до улучшения ситуации на рынке пришлось поставить перспективы разработки месторождения Mkuju в Танзании. Права на этот актив горнорудный дивизион «Росатома» «Атомредметзолото» получил в 2011 году при покупке австралийской Mantra Resources.

«Однако уже в 2018 году спрос на уран в гражданской атомной энергетике восстановился и достиг рекордного в истории значения в 85 тысяч тонн за счет ввода новых АЭС в Китае, России, Индии и других странах»,— рассказывает исполнительный директор ЦЭП Газпромбанка Айрат Халиков. Он напоминает, что в настоящее время в мире строится 54 атомных блока общей мощностью 63 ГВт, это позволяет ожидать роста мощностей АЭС на 11 %, до 492 ГВт, в период с 2020 по 2023 год. Кроме того, Япония начала программу возобновления использования атомной энергетики, начав закупки топлива. По словам Максима Худалова из АКРА, в 2020 году восстановление цен на рынке урана больше связано с опасениями возникновения дефицита на рынке в результате пандемии коронавируса. В течение второго квартала на рынке происходил резкий рост спотовой цены на уран: с $27,5 за фунт в начале апреля до $34 за фунт в конце мая. Но с того периода спотовые котировки постепенно снижались. По данным UxC, на 7 сентября фунт U_3O_8 стоил $30,2.

Страны-лидеры по добыче урана в 2019 году (тыс. тонн)



Источник: World Nuclear Association

По прогнозам Айрата Халикова, спотовые цены в 2021–2022 годах продолжат расти из-за увеличивающегося спроса со стороны АЭС, при этом на рынке ожидается ограничение предложения из-за длительного периода низких цен и долгого периода реализации новых месторождений. Спотовые цены природного урана в 2020–2025 годах вырастут более чем на треть, до $45–50 за фунт, считает аналитик.

Добычные надежды

По оценкам аналитиков, одним из серьезных факторов, который будет влиять на добычу урана в будущем, стал длительный период сокращения инвестиций в разведку месторождений. С 2011 по 2019 год объем этих вложений упал на 80 %. Если до японской аварии на фоне уранового ценового бума насчитывалось около 500 таких проектов, то после нее осталось около 90. Отметим, что добыча урана является одним из наиболее конкурентных секторов атомной индустрии. Технологии добычи урана по сложности сопоставимы со многими другими горнорудными проектами для цветной металлургии, инвестиции относительно невелики, ограничений для новых инвесторов во многих странах довольно мало. Кроме того, необогащенный природный уран с точки возможного вреда для экологии или нарушения режима нераспространения ядерного оружия не слишком опасен. Это привело к тому, что в этот добывающий сектор на фоне роста котировок

в начале XX века активно привлекались инвестиции, но большая часть таких проектов не выдержала низких постфукусимских цен.

Ключевым крупным игроком, который в теории способен в ближайшие годы заметно увеличить добычу, является казахстанский «Казатомпром». Страна активно приглашала инвесторов в новые урановые активы и в 2010-х годах оказалась крупнейшим в мире производителем. Считается, что урановые месторождения Казахстана отличаются сравнительно низкой себестоимостью добычи. Так, например, входящий в «Росатом» урановый холдинг Uranium One, владеющий долями в нескольких урановых активах Казахстана, сообщал о снижении в 2019 году себестоимости добычи с $8 до $7 за фунт.

Однако реалии рынка таковы, что в ближайшие два года тот же «Казатомпром» намерен сохранить снижение добычи урана на 20 % от ранее запланированного уровня с целью восстановления баланса спроса и предложения на рынке. Это в результате приведет к исключению до 5,5 тысячи тонн урана из предполагаемого объема мирового первичного производства в 2022 году. Объем производства «Казатомпрома» в 2022 году, в свою очередь, ожидается на уровне 22–22,5 тысячи тонн урана, тогда как плановые уровни контрактов на недропользование составляют около 27,5–28 тысяч тонн урана в год. Что касается планов после 2022 года, то пока решения нет. «При этом возврат к полному объему добычи (в рамках контрактов на недропользование) не ожидается до тех пор, пока рынок не продемонстрирует очевидное устойчивое восстановление, а ситуация между спросом и предложением не просигнализирует о потребности в большем количестве урана»,— заявляли в «Казатомпроме» в августе.

По прогнозам аналитиков, спрос на природный уран начнет расти после 2025 года за счет необходимости обеспечения потребностей Китая, Индии и других стран. Позитивным фактором может стать и усиление экологических требований к источникам электроэнергии, тогда как атомная энергетика является углеродно-нейтральной. Масштабные инвестиции в добыче планирует Индия, правительство которой намерено создавать урановые резервы для своих АЭС.

Другие крупные зарубежные производители в лице канадской компании Cameco и французской Orano также сокращали производство, чтобы поддержать цены. Тем не менее, игроки сохраняют крупные бюджеты на геологоразведку. В последние годы самым большим разведочным бюджетом обладала Orano, которая ведет поисковые работы в Канаде, Монголии, Казахстане и Нигере. Большая часть геолого-разведочных работ проходит в бассейне Атабаски на севере канадской провинции Саскачеван, где есть месторождения с аномально высокими концентрациями урана — более 20 % в руде. Это особенно актуально в свете того, что компания Compagnie miniere d'Akouta — дочерняя компания Orano — объявила, что производство урана на ее урановом руднике в Нигере прекратится в марте 2021 года вследствие истощения запасов и высоких эксплуатационных расходов. Но Cameco сокращала и расходы на геологоразведку. Если в 2018 году компания инвестировала $20 млн, то в 2019 году расходы составили $14 млн, а план на 2020 год — вложить $13 млн. Основное внимание будет уделяться проектам компании в Саскачеване.

Атомная отрасль США почти полностью зависит от внешних поставок урана, в том числе из России, Казахстана и Узбекистана. Как результат, правительство США в качестве ответа на рост зависимости от импортных поставок намерено создавать дополнительные резервы урана с 2021 года. Это означает поддержку американских добывающих компаний, так как резерв будет формироваться за счет прямых закупок у них. Тем не менее американские атомщики пока проигрывают конкуренцию газовым ТЭС, что может привести к сокращению мощностей атомной энергетики. На фоне падения цен на газ себестоимость электроэнергии на АЭС выше в три раза, чем затраты на газовую генерацию. Кроме того, в большинстве штатов отсутствует регулирование на региональных энергорынках. Только на юге они до сих пор регулируются, что позволяет АЭС быть конкурентоспособными.

Планы, спрос и себестоимость

КНР, активно строящая атомные электростанции и нуждающаяся в импортном уране, за последние 19 лет нарастила собственную добычу на 170 %. Правительство ставит задачу сделать Китай самодостаточным не только по мощностям АЭС, но и в производстве топлива. Однако страна по-прежнему в определенной степени полагается на иностранных поставщиков на всех этапах — от добычи урана до производства и переработки. Китай активно инвестирует в добычные проекты в Намибии, Казахстане, Канаде, Узбекистане и Нигере. В планах Пекина треть сырья производить внутри страны, треть — за рубежом, остальное закупать. По данным World Nuclear Association, потребность Китая в уране в 2020 году составит 11 тыс. тонн (при работе 58 реакторов), в 2025 году — около 18,5 тыс. тонн (для 100 реакторов) и в 2030 году — около 24 тыс. тонн урана (для 130 реакторов).

При этом китайские ядерные энергетические компании склоны в большей степени заключать международные договоренности по получению топлива. Дело в том, что по международным стандартам руды в Китае низкосортные, производство является неэффективным, хотя Китай и называет себя «страной, богатой ураном», пишет World Nuclear Association.

В России производство урана в 2019 году составило 2911 тонн, что на 5 % больше плановых показателей. Однако российская добыча урана имеет традиционную схожую с Китаем проблему — высокую себестоимость. Кроме того, заметная часть урановой добычи советского атомного проекта оказалась

за рубежом после распада СССР — в частности, в Узбекистане и на Украине.

Наиболее известным предприятием российской уранодобывающей отрасли является краснокаменский ППГХО, где ведется шахтная добыча. В последние десятилетия АРМЗ динамично развивает и другие активы — «Далур» в Курганской области и «Хиагду» в Бурятии, где используется скважинное подземное выщелачивание. АРМЗ сообщало о планах расширения мощностей. Например, на «Хиагде» сейчас отрабатываются два месторождения — Хиагдинское и Источное, в этом году должно быть введено Вершинное месторождение, а в июле было получено одобрение Роснедр на технические проекты разработки Количиканского и Дыбрынского месторождений Хиагдинского рудного поля. Добыча на Дыбрынском запланирована на 2023 год, на Количиканском — на 2021 год, утверждало АРМЗ.

Уранодобывающие предприятия Uranium One в прошлом году извлекли 4,6 тыс. тонн урана, что на 5 % выше показателя 2018 года. Катализатором роста добычи могут стать экспортные планы «Росатома», цель которого получить половину выручки от экспортируемых товаров и услуг. По итогам 2019 года урановая продукция была поставлена в 16 стран мира для 42 заказчиков. Объем продаж составил порядка $2 млрд. Кроме того, «Техснабэкспорт» заключил 28 сделок с 18 заказчиками из 8 стран, включая дополнения к действующим контрактам. Стоимость заключенных сделок составила порядка $3 млрд.

При этом одной из ключевых проблем урановой отрасли является постепенное исчерпание месторождений с наиболее богатыми рудами. По словам Айрата Халикова, в целом в уранодобывающей отрасли очевиден тренд на повышение себестоимости добычи, который делает малорентабельным разработку новых месторождений при текущих невысоких ценах. В отрасли отмечали, что в ближайшие годы будут практически полностью истощены проекты с себестоимостью добычи ниже $36 за фунт на фоне снижения содержания урана в руде. По расчетам аналитика, на фоне выработки действующих месторождений добыча может снизиться до 54 тысяч тонн в год к 2035 году, что будет означать дефицит сырья на рынке. Однако многие проекты с высокой себестоимостью добычи поддерживаются из-за стратегических целей государства, а компании с госучастием в капитале обеспечивают более 80 % добычи.

По оценкам «Атомредметзолота», в средней и долгосрочной перспективе ожидания на рынке урана остаются благоприятными: увеличение спроса на уран в связи с вводом новых АЭС в мире в сочетании с истощением запасов на действующих месторождениях с низкой себестоимостью будет способствовать росту цен. По текущим оценкам, производство урана в мире может снизиться на 10–15 % по итогам 2020 года, главным образом в связи с сокращением добычи в Канаде и Казахстане. Динамика спотовых цен на уран в ближайшие месяцы будет, по всей видимости, в значительной степени зависеть от дальнейших действий уранодобывающих компаний в условиях пандемии COVID-19, в том числе от масштаба закупок урана производителями на спотовом рынке для выполнения своих контрактных обязательств, что оказывает повышательное давление на котировки.

Cameco на фоне пандемии в марте временно приостанавливала производство на урановом руднике Cigar Lake. В апреле из-за того же коронавируса компания решила, что производство на Cigar Lake должно взять более длительную паузу. Перезапуск добычи возможен в течение сентября. Но ясности до сих пор нет. Аналитики указывают, что себестоимость добычи на руднике ниже затрат на покупку на спотовом рынке и на обслуживание рудника. Однако места для дополнительных объемов добычи на рынке урана нет.

Справка

Как добывают уран

Известны три способа добычи урана. При открытой добыче рудное тело находится близко к поверхности земли. Руду бульдозерами и экскаваторами грузят в самосвалы, которые везут ее к перерабатывающему комплексу. Если руда залегает глубоко, то используется подземный способ добычи. Это дорогостоящий вариант, он подходит при высокой концентрации урана в породе. При подземном способе пробуривается вертикальная шахта, от которой отходят горизонтальные выработки. Глубина шахт может доходить до двух километров.

На перерабатывающем комплексе породу измельчают, смешивают с водой и удаляют ненужные примеси. Дальше проводят выщелачивание концентрата (обычно с помощью серной кислоты). Из раствора посредством ионно-обменных смол выделяется осадок солей урана, имеющих характерный желтый цвет, за что они получили название желтый кек (от англ. yellow cake). Желтый кек содержит еще достаточно примесей, от которых его очищают на аффинажном производстве и после прокаливанием получают закись-окись урана (U_3O_8) — конечный продукт.

Третий способ добычи урана значительно отличается от первых двух. Это скважинное подземное выщелачивание. При нем бурят скважины, через которые в рудное тело закачивают серную кислоту. Другие скважины выкачивают на поверхность раствор, насыщенный солями урана. Продуктивный раствор пропускают через сорбционные колонны, в которых соли урана собираются на специальной смоле. Ее в свою очередь снова обрабатывают серной кислотой, и так несколько раз, пока концентрация урана в растворе не станет достаточной.

Последний способ является наиболее распространенным методом за последние десять лет. Доля урана, добываемого таким образом, выросла с 10 % в 2000 году до 57 % в 2019 году. Себестоимость добычи методов выщелачивания в мире в среднем на 39 % ниже себестоимости добычи на карьерах, на 11 % ниже удельных затрат на добычу в шахтах.

Фото: «Росатом»

Добыча урана в СССР

Установка для добычи урана методом подземного выщелачивания

Уран в Советском Союзе добывался с 1920-х годов, но в небольших объемах. Основные месторождения тогда были обнаружены в Средней Азии. Вопрос о резком увеличении добычи был поднят с началом атомного проекта в 1945 году. По стране были развернуты активные поиски урановых руд. Часть урана СССР получал из Восточной Германии. А в 1963 году в Забайкалье были обнаружены запасы урана, на базе которых в Краснокаменске было построено крупнейшее уранодобывающее предприятие — сейчас ПАО ППГХО, входящее в «Атомредметзолото».

в 28 *странах*

мира осуществляется добыча урана

546 *кг*

весила топливная загрузка первой в СССР Обнинской АЭС

0,7% *урана-235*

содержится в природном уране

30%

советского урана в конце 1980-х годов добывалось в Краснокаменске

2,96 *млн тонн*

урана было добыто в мире с 1945 по 2019 год

165 *тыс. тонн*

урана было добыто на территории России к 2017 году

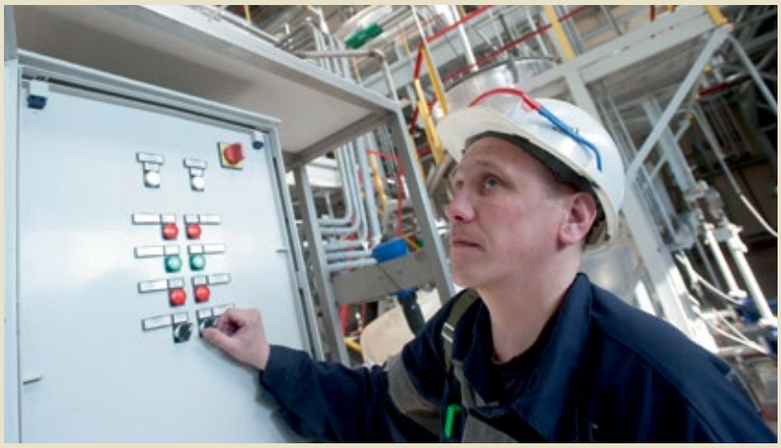
8%

мировых запасов урана приходится на Россию, по оценке WNA

Фото: «Росатом»

Хиагдинское рудное поле

Уран Хиагдинского рудного поля был открыт в 1980-х годах, добыча на Хиагдинском месторождении началась в 1989 году. Позднее на рудном поле были обнаружены и другие месторождения. Работы здесь ведет АО «Хиагда», входящее в горно-рудный дивизион «Росатома» «Атомредметзолото». Добыча идет без вскрытия пластов, способом глубинного подземного выщелачивания.



53,66 *тыс. тонн*

урана добыто в мире в 2019 году

2911 *тонн*

урана добыто в России в 2019 году

1000 *тонн*

урана добыта на «Хиагде» в 2019 году

28,5 *тыс. тонн*

составляют извлекаемые ресурсы «Хиагды»

67,5 *тыс. тонн*

урана требуется в год для работы всех АЭС в мире

6-е *место*

занимает Россия в мире по добыче урана

Повестка диверсификации

Текст: Виктор Туранский, дирекция по ядерному оружейному комплексу «Росатома»
Фото: «Росатом»

На фото

Эксперимент по осветлению имитатора ОЯТ. Подобная переработка необходима для замыкания топливного цикла

Корпорация изобретений

Что и для чего придумывают в «Росатоме»

Атомная индустрия в нашей стране создавалась и развивалась как передовая научная отрасль, постоянно продуцирующая новейшие технологические разработки. Это не претерпело изменений: «Росатом» и сейчас остается одним из лидеров в сфере изобретательства и создания уникальной интеллектуальной собственности.

Одной из приоритетных задач деятельности отраслевых организаций является создание условий инновационного развития. В первую очередь за счет формирования и эффективного использования интеллектуальной собственности, содержащей новые технические решения и приоритетные технологии для наукоемких и высокотехнологичных разработок. Работа по управлению интеллектуальной собственностью в организациях «Росатома» носит системный характер и охватывает все этапы жизненного цикла результатов интеллектуальной деятельности, создаваемых трудом изобретателей и рационализаторов.

Правительство РФ распоряжением от 3 августа 2020 года № 2027-р утвердило план мероприятий («дорожную карту») реализации механизма управления системными изменениями нормативно-правового регулирования предпринимательской деятельности «Трансформация делового климата» «Интеллектуальная собственность». Исторически интеллектуальная собственность была в основном лишь способом формализации результатов

Информация о патентовании объектов промышленной собственности рядом институтов «Росатома» в 2016–2019 годах на основе РИД ВСДН

Институт	Количество полученных РИД / из них изобретений			
	2016	2017	2018	2019
РФЯЦ-ВНИИЭФ	*108/90*	*106/91*	*150/125*	*161/127*
РФЯЦ-ВНИИТФ	*31/23*	*43/34*	*49/29*	*79/44*
ВНИИА	*16/7*	*14/8*	*6/2*	*13/2*

научно-технической деятельности. Сейчас она становится одним из ключевых активов госкорпорации, который обеспечивает достижение ее стратегических целей — технологического лидерства и глобальной экспансии.

Изобретения последних лет

В оборонной сфере деятельности «Росатома» интеллектуальная собственность — это в первую очередь результаты интеллектуальной деятельности (РИД), которые необходимо правильно оформить и защитить права на них. Для госкорпорации, включающей и организации ядерного оружейного комплекса (ЯОК), управление правами на результаты научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (НИОКР) военного, специального и двойного назначения (ВСДН) имеет важнейшее значение для защиты прав и интересов РФ в процессе хозяйственного, экономического или гражданско-правового оборота этих результатов.

«Росатом» ежегодно за счет бюджетных и собственных средств финансирует выполнение огромного количества различных контрактов, в том числе на НИОКР в рамках выполнения государственного оборонного заказа. Ежегодно в ЯОК выполняются более 200 НИОКР ВСДН.

Завершение НИОКР с созданием охраняемых РИД свидетельствует о том, что результаты выполненных работ по своему научно-техническому уровню и технико-экономическим показателям превышают мировой уровень науки, техники или технологий, обладают новизной, реальной или потенциальной коммерческой ценностью и конкурентоспособностью. В конечном итоге это свидетельствует об эффективности использования средств федерального бюджета в сфере обеспечения инновационного развития и финансирования научных исследований и конструкторско-технологических разработок.

По количеству поданных заявок и полученных патентов (свидетельств) на изобретения, полезные модели, промышленные образцы, компьютерные программы, базы данных, топологии интегральных микросхем «Росатом», по информации Роспатента, на протяжении многих лет является одним из лидеров среди министерств и госкомпаний РФ. «Росатом» входит и в тройку лидеров по количеству и качеству регистрации РИД ВСДН в едином реестре результатов НИОКР (наряду с Минобороны и Минпромторгом), демонстрируя лучшее соотношение рассмотренных запросов и выданных свидетельств (отказы составляют около 1%). Ежегодно регистрируется около 300 результатов НИОКР при среднем показателе по РФ на уровне 150.

По итогам 2019 и первой половины 2020 года четыре изобретения организаций «Росатома» включены в список «100 лучших изобретений России» (рейтинг опубликован Роспатентом). Это изобретение АО «ТВЭЛ» «Тепловыделяющая сборка ядерного реактора» и три проекта ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Одна из разработок федерального ядерного центра «Устройство адаптивного преобразования данных в режиме реального времени» обеспечивает мгновенное преобразование данных и возможность встраиваться в любые каналы связи. Оно позволяет адаптироваться к любому существующему криптографическому алгоритму преобразования, дополнительно загружать криптографические модули, конфиденциальные параметры и ключи. Изготовлен опытный образец. В список также вошла «Система контроля уровня жидкости в технологических резервуарах», которая предназначена для оперативного обеспечения персонала АЭС информацией по управлению авариями. Разработка полностью готова к промышленному использованию. Третьим проектом стал «Способ обнаружения нештатной ситуации на многониточном магистральном трубопроводе». Изготовлен опытный образец. Изобретение предназначено для раннего обнаружения нештатных ситуаций на линейной части газопроводов.

По итогам 2016–2018 годов в список «100 лучших изобретений России» были включены пять от госкорпорации:

- «Пластичный взрывчатый состав» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»);
- «Тепловыделяющая сборка и способ ее изготовления» (проект «Прорыв»);
- «Управляющая система безопасности атомной электростанции» (ФГУП «ВНИИА»);
- «Способ когерентного сложения лазерного излучения в многоканальных непрерывных лазерах» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»);
- «Способ создания инверсной заселенности ядерных уровней в материале активной среды и инициирования однопроходного когерентного гамма-излучения» (ФГУП «ВНИИА»).

Атомные исследования для всех

Изобретательская активность в атомной отрасли всегда была и остается на самом высоком

На фото

1. Процесс производства циклотронного оборудования в НИИЭФА
2. Работа отделения автоматизации в НИКИЭТ

уровне — от реализации первого атомного проекта, создания термоядерного заряда и атомных энергосиловых установок различного назначения до современных уникальных образцов вооружения, инновационных атомных электростанций и новых высокотехнологичных продуктов, востребованных на внутреннем и внешнем рынке.

Исследования и эксперименты, проводимые 75 лет назад под руководством основателей атомной отрасли, определили основные подходы к созданию атомного оружия. «Атомщики не просто защитили страну в то чрезвычайно трудное время, они обеспечили глобальный мир на планете. Не мы первые сделали атомную бомбу. Но мы стали первыми, кто построил промышленную атомную электростанцию и атомный ледокольный флот»,— отметил гендиректор «Росатома» Алексей Лихачев в день открытия памятника легендарному министру среднего машиностроения СССР Ефиму Павловичу Славскому.

Оборонное направление отрасли, которое создавало новые технологии, устройства и материалы, активно передавало наработки народному хозяйству. Так, опыт создания первой советской атомной подводной лодки был использован при сооружении гражданских атомных ледоколов.

Многие разработки ученых и специалистов «Росатома», защищенные патентами и свидетельствами, находят свое применение не только в военной, но и в гражданских отраслях. Примером востребованной разработки изобретателей стал аппарат для ингаляционной терапии оксидом азота «Тианокс», созданный в РФЯЦ–ВНИИЭФ (Саров). Аппарат прошел все клинические испытания и получил разрешение Минздрава России на применение при прекапиллярной легочной гипертензии как у взрослых пациентов, так и у детей, включая новорожденных, рекомендован для лечения больных коронавирусной инфекцией. Аппарат защищен двумя патентами на изобретения, патентом на промышленный образец, имеет свидетельство на товарный знак.

Другой важный объект интеллектуальной собственности, созданный специалистами РФЯЦ-ВНИИЭФ,— программный комплекс «Логос», представляющий собой системы математического компьютерного моделирования физических процессов. Результат труда большого коллектива специалистов получил правовую охрану, зарегистрирован в Роспатенте и активно внедряется во многих организациях страны на основе возмездных и безвозмездных лицензионных договоров. Первые вебинары «Дни Логоса» состоялись в апреле и мае 2020 года. Они были посвящены применению «Логоса» для решения инженерных задач в области гидрогазодинамики и теплообмена. В них приняли участие более 60 специалистов стратегических партнеров «Росатома» — госкомпаний ТЭК, участвующих в единой программе сотрудничества. Всего запланировано провести шесть сессий «Дней Логоса» для представителей нескольких индустриальных направлений.

Изобретения отраслевых организаций АО «НИКИЭТ» и «Красная Звезда» позволили создать высокоэффективные и безопасные ядерные энергетические объекты и установки различного назначения.

На их основе разработаны технологии проектирования и создания:

- реакторной установки на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем (БРЕСТ-ОД-300);
- исследовательской ядерной установки МБИР;
- исследовательского жидкосолевого реактора ИЖСР;
- реакторной установки для ядерной энергодвигательной установки для космических аппаратов;
- реакторных установок для атомных станций малой мощности;
- высокотехнологичного оборудования термоядерного экспериментального реактора ИТЭР.

Высокий технический уровень и инновационность патентов корпорации позволяют ей с успехом участвовать в престижных международных выставках и конкурсах.

Золотую, серебряную и бронзовую медали XXII Московского международного салона изобретений и инновационных технологий «Архимед» получили разработки РФЯЦ-ВНИИЭФ. Золота удостоен транспортный упаковочный комплект для перевозки отработанного ядерного топлива ТУК-137Д. Уникальная конструкция контейнера, защищенная тремя российскими патентами, дает возможность использовать его как для вывоза, так и для длительного хранения (не менее 50 лет) отработавших тепловыделяющих сборок реакторов типа ВВЭР-1000/1200.

2

Новый шаг в области безопасной утилизации отработанного ядерного топлива (ОЯТ) — в расширении функциональных возможностей контейнера. Еще одно преимущество — возможность загрузки и разгрузки контейнера ОЯТ как в бассейне выдержки, так и «сухим» способом.

Серебряную медаль получил аппарат «Тианокс». Бронзовой медалью награждена разработка РФЯЦ-ВНИИЭФ в области судостроения, облегчающая передвижение судов в условиях ледяного покрова толщиной до 5 метров. Запатентованный способ разрушения ледяного покрова решает задачу форсирования ледовых участков за счет увеличения ледопроходимости. Прочность льда снижается гидроструями перед оказанием на него воздействия носовой частью судна и созданием выталкивающей силы. Применение гидрорезки и архимедовой силы позволяет не прибегать к существенному увеличению габаритов и уменьшает энергозатраты на разрушение льда. Использование технологии значительно повысит ресурс работающих в Арктике и Антарктике судов.

Инновационные разработки успешно внедряются в производство и пользуются спросом, в частности создаваемый новый медицинский лазер для лечения пациентов с мочекаменной болезнью — лазерный литотриптор — предназначается для урологических отделений клинических больниц. Суть действия прибора заключается в том, что при помощи разных видов энергии камни в почках или мочеточниках пациента дробятся либо дистанционно (без прямого вмешательства), либо контактно. Использование лазера позволяет сделать такие операции менее травматичными. «Разработка новых методов воздействия на биологические ткани, основанных на использовании двухволнового лазерного источника излучения микросекундной длительности для литотрипсии, позволит предложить новые эффективные технологии лечения заболеваний, имеющих большой удельный вес в структуре урологических заболеваний»,— говорится в техзадании к закупке.

Заказчиком выступает управляющая компания научного дивизиона госкорпорации АО «Наука и инновации». Лазерный литотриптор нового поколения будут разрабатывать в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Федеральный ядерный центр должен изготовить экспериментальный образец прибора и проверить его эффективность в лабораторных условиях к 2022 году. РФЯЦ-ВНИИЭФ — ключевой участник проекта научно-технологического центра «Биофотоника», в котором будут решаться задачи применения лазерных технологий в области медицины, в том числе для диагностики рака и проведения хирургических операций. Успешно идут работы по разработке методологии разрушения кристаллических структур в протоках поджелудочной железы и изготовлению опытного образца энергетической установки.

Важным, наряду с материальным стимулированием изобретательской деятельности, в организациях госкорпорации «Росатом» является и моральное поощрение авторов объектов интеллектуальной собственности. По инициативе руководства дирекции по ядерно-оружейному комплексу в организациях ЯОК проводятся публичные встречи с изобретателями и специалистами патентных служб, на которых подводятся итоги изобретательской деятельности, рассказывается о наиболее значимых достижениях организаций, авторам объектов интеллектуальной собственности в торжественной обстановке вручаются копии патентов и свидетельств. Мероприятия широко освещаются в СМИ. В ряде организаций ЯОК (РФЯЦ-ВНИИЭФ, РФЯЦ-ВНИИТФ и др.) организованы ежегодные конкурсы на присвоение званий «Лучший изобретатель» и «Лучший молодой изобретатель», победители которых награждаются ценными призами, денежными премиями, получают возможность представления своих изобретений на всероссийских и международных выставках и салонах. Все это способствует повышению вовлеченности сотрудников в изобретательскую деятельность, созданию атмосферы творческой активности в отраслевых организациях.

Современность и будущее

1997

И на Тихом океане

25 декабря 1997 года был подписан контракт на строительство в КНР Тяньваньской АЭС по российскому проекту. Это первая крупная атомная стройка за рубежом: к 2018 году на станции было возведено четыре блока по российским технологиям, подписан контракт еще на два блока.

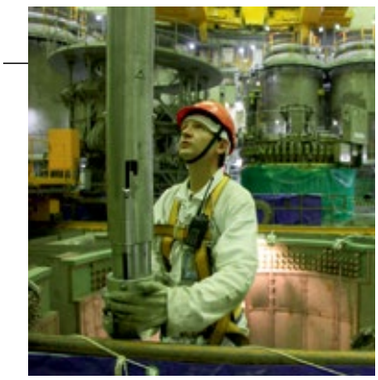
Китай к настоящему времени стал крупнейшим партнером России в сфере мирного атома: в 2019 году «Росатом» получил контракт еще на два блока для китайской АЭС «Сюйдапу», реализуются проекты в области обогащения урана, реакторов на быстрых нейтронах и других областях.

2006

Первая девятилетка

6 октября 2006 года была утверждена федеральная целевая программа (ФЦП) «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007–2010 годы и на перспективу до 2015 года». Это была первая из государственных программ развития отрасли в РФ, ее основной частью было возобновление массового строительства АЭС на фоне опасений энергодефицита в стране.

Согласно ФЦП, предполагалось построить 26 атомных энергоблоков, увеличив долю АЭС в энергобалансе страны до 25–30 % (сейчас около 19 %). К концу 2000-х годов выяснилось, что темпы роста спроса на электроэнергию ниже прогнозируемых, планы сооружения АЭС снизились, но к 2020 году «Росатом» ввел восемь новых блоков в России, а также плавучую АЭС «Академик Ломоносов». Портфель зарубежных заказов госкорпорации составляет 36 блоков.



2006

Создание «Росатома»

5 декабря 2007 года вступил в силу закон № 317-ФЗ «О государственной корпорации по атомной энергии «Росатом». Он позволил объединить активы отрасли в госкорпорацию на базе Федерального агентства по атомной энергии. В итоге была создана единственная компания в мире, которая включает все элементы производственной цепочки атомной энергетики, а также большое количество предприятий в других высокотехнологичных отраслях экономики.

2009

Первый постсоветский

Первый самостоятельный атомный проект в постсоветское время — третий блок Ростовской АЭС — был заложен в 2009 году. Строительство новой станции на Дону началось еще в 1979 году, но в 1990 году работы приостановили.

Первый блок достроили в 2001 году, второй — в 2010-м. Третий блок, с которого началась новая стадия развития отечественной атомной энергетики, заработал в 2015 году.

2015

Быстрый и мощный

10 декабря 2015 года пущен БН-800 — реактор четвертого энергоблока Белоярской АЭС на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (в промышленной эксплуатации — с ноября 2016 года). Он стал самым крупным быстрым реактором в мире — 880 МВт, предназначенным для окончательной отработки технологии с использованием уранплутониевого МОХ-топлива. До 2035 года предполагается построить первый промышленный быстрый реактор-миллионник — БН-1200.

2016

Блок с плюсом

5 августа 2016 года был включен в сеть первый энергоблок Нововоронежской АЭС-2 (НВАЭС-2) с реактором ВВЭР-1200. Это первый в России атомный блок, относящийся к поколению 3+. Последнее поколение энергоблоков снабжено рядом дополнительных систем активной и пассивной безопасности, в частности, ловушкой расплава, которая призвана удержать радиоактивные материалы при расплавлении активной зоны реактора, и системой пассивного отвода тепла.

2019

АЭС на воде

19 декабря 2019 года в Певеке была подключена к сети первая в мире плавучая АЭС (ПАТЭС) «Академик Ломоносов». Она может использоваться для выработки электричества и тепла, опреснения воды. Мощность ПАТЭС — 70 МВт, длительность цикла до перезагрузки — 12 лет. Сейчас «Росатом» разрабатывает более мощный плавучий энергоблок.

2019

Портфельный рост

К концу 2019 года десятилетний портфель зарубежных заказов «Росатома» достиг $133 млрд. Ключевыми проектами строительства АЭС за границей являются заказы крупных развивающихся стран — Турции, Китая, Индии, Бангладеш, Египта. Кроме того, «Росатом» сохраняет присутствие на рынке Европы, сооружая АЭС «Ханхикиви» в Финляндии и «Пакш» в Венгрии.

2020

Новая «Арктика»

В июне 2019 года в Петербурге был спущен на воду первый атомный ледокол постсоветского периода «Арктика», срок сдачи запланирован на 2020 год. Это головной ледокол проекта 22220, в рамках которого должно быть построено пять судов. Эти ледоколы должны стать основными в «Атомфлоте» после того, как атомный ледокольный флот, построенный в 1980–90-х годах постепенно выработает свой ресурс. Основная задача атомных ледоколов — обеспечивать проводку гражданских судов по Северному морскому пути.

2023

ВОО в Турции

В 2023 году должен быть пущен первый из четырех блоков АЭС «Аккую» — первой атомной электростанции в Турции. Это также первая АЭС, которая строится «Росатомом» за рубежом по модели ВОО (от английского build-own-operate — «строй-владей-эксплуатируй») с предполагаемым привлечением кредитов и средств внешних инвесторов. Общая мощность станции составит 4,8 ГВт.

2027

«Лидер» — это «Россия»

На 2027 год запланирован ввод первого сверхмощного атомного ледокола типа «Лидер» (проект 10510). Головное судно должно получить название «Россия». Контракт на строительство первого «Лидера» был подписан в апреле 2020 года. У ледокола будет два атомных реактора «РИТМ-400», мощность судна составит 120 МВт.

Такие ледоколы позволят преодолевать наиболее толстый ледовый покров, в том числе в восточной части Русской Арктики, и обеспечат стабильное мореплавание по Северному морскому пути.

Мнение редактора

Текст: Владимир Дзагуто
Фото: «Росатом»

На фото

1. Строительство Адыгейской ВЭС
2. Работа ЦОД на Калининской АЭС
3. Установка ходовой рубки на ледоколе «Урал»

Привычка к новому дана

Диверсификация атомной отрасли: из истории в будущее

Отечественная атомная индустрия практически с самого начала занималась не только профильной деятельностью, но и пробовала выходить за пределы ядерных технологий. В итоге и Минсредмаш, и современный «Росатом» оказались де-факто многопрофильными промышленными структурами. Получается, что стратегическая задача госкорпорации по расширению линейки новых продуктов и увеличению годовой выручки до 4 трлн рублей — это бережное сохранение инновационных традиций отрасли.

В последние годы будущее атомной отрасли связывается с диверсификацией бизнеса «Росатома». По словам генерального директора Алексея Лихачева, «видение 2030» — это «примерно трехкратное увеличение выручки, до 4 трлн рублей». При этом доля новых продуктов в экономических показателях должна составить до 40 %. «Мы должны минимум в три раза вырасти по своим объемам, оборотам, при этом почти до половины дойти по объему новых продуктов и технологий»,— говорил в конце 2019 года глава «Росатома». Уже в августе этого года Алексей Лихачев заявлял, что план 2019 года по гражданской продукции ОПК «Росатом» в 106 млрд руб. выполнен в сумме 114 млрд руб. «И мы достигли показателя — 35 % выручки составляет гражданская продукция»,— уточнял он, говоря об оборонном секторе госкорпорации на форуме «Армия-2020».

1

При этом диверсификация и новые продукты — это не только будущее или настоящее атомной индустрии. История отечественного атомного проекта (Минсредмаша, Минатома) — это история инноваций и выхода за пределы традиционной продуктовой линейки. Так что дело вполне привычное, практически плановое. «Традиционно в направлении диверсификации складывались все компетенции, которые были в предприятиях ОПК»,— отмечал Алексей Лихачев.

В определенном смысле диверсификацией является и сама современная атомная отрасль — по крайней мере гражданская ее часть. Атомную энергетику как таковую формально можно рассматривать в качестве побочного результата развития одной из ключевых технологий военного атомного проекта. Первые реакторы — например, та же «Аннушка» на комбинате «Маяк» — нужны были для создания ядерного оружия, и вполне логично, что огромную энергию управляемой цепной реакции человечество теперь использует для выработки электроэнергии. Другие давно освоенные технологии, которые уже считаются традиционными для «Росатома», тоже когда-то были ответвлениями, новациями. Например, флот атомных ледоколов: установка ядерных энергетических источников начиналась с подводных лодок ВМФ.

Собственно, Минсредмаш регулярно занимался теми или иными новыми неатомными продуктами. Какие-то следы той диверсификации сохранились до сих пор даже в брендинге: к примеру, крупнейшая урановая структура «Атомредметзолото» по сей день сохранила в названии указание на добычу драгоценного металла. Бережное отношение к истории: к концу советской эпохи атомная отрасль производила 55 тонн золота в год — почти пятую часть добычи всей страны. При этом золото являлось всего лишь побочным продуктом для атомщиков при извлечении из недр ключевого для отрасли урана. Были и другие непривычные сейчас для отрасли производства, много лет назад процветавшие в рамках советского атомного проекта. Так, Минсредмаш был крупным производителем аммиачной селитры (нитрата аммония). У этого соединения есть разные применения, например, его используют для производства взрывчатых веществ. Но в гражданской сфере селитра — это всего лишь одно из простейших и крайне распространенных азотных удобрений. К числу неожиданных применений радиационных технологий относилось и улучшение драгоценных камней: небольшие дозы излучения окрашивали кристаллы в необычные цвета.

Петафлопсы и мегаватты

Сейчас «Росатом» рассматривает как диверсификацию и новые продукты целый ряд технологий, которые атомная отрасль осваивала и прежде. Например, как ни странно, к этому списку относятся и цифровые технологии. Фактически госкорпорацию можно и сейчас считать лидером в этой сфере: например, старт строительства суперкомпьютеров в России — это проекты в РФЯЦ-ВНИИЭФ в закрытом городе Саров, где в нашем веке разрабатывались и сверхмощные, и компактные суперкомпьютеры. Затем

40%

составит доля новых продуктов и технологий «Росатома» к 2030 году

до 4 трлн руб.

увеличится выручка «Росатома» к 2030 году

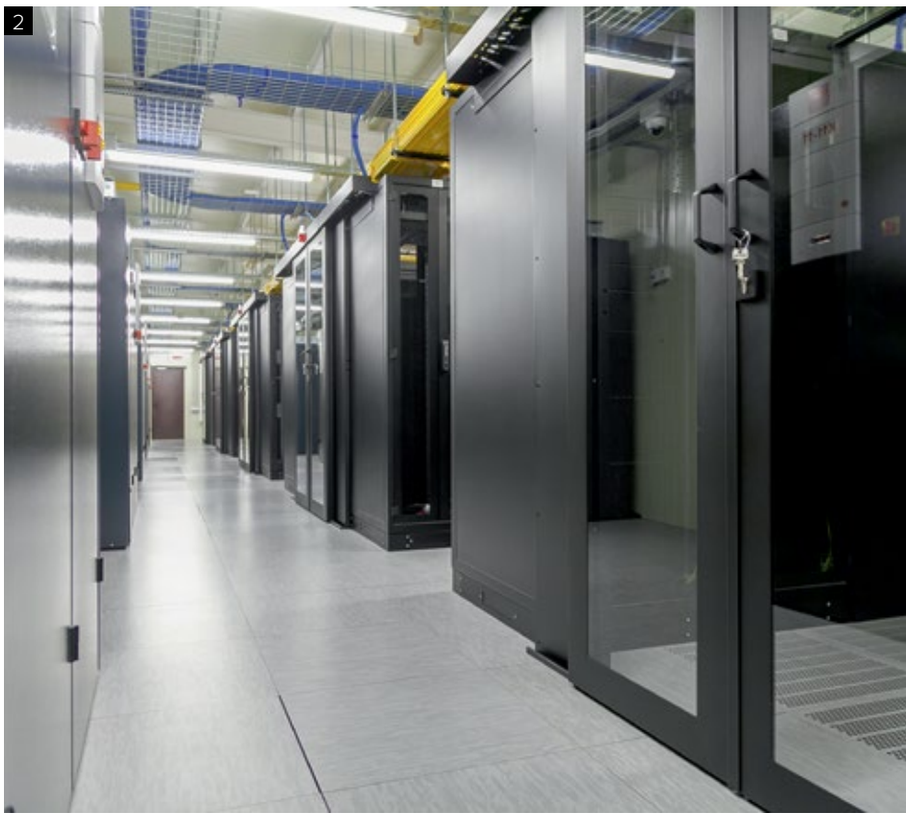
114 *млрд руб.*

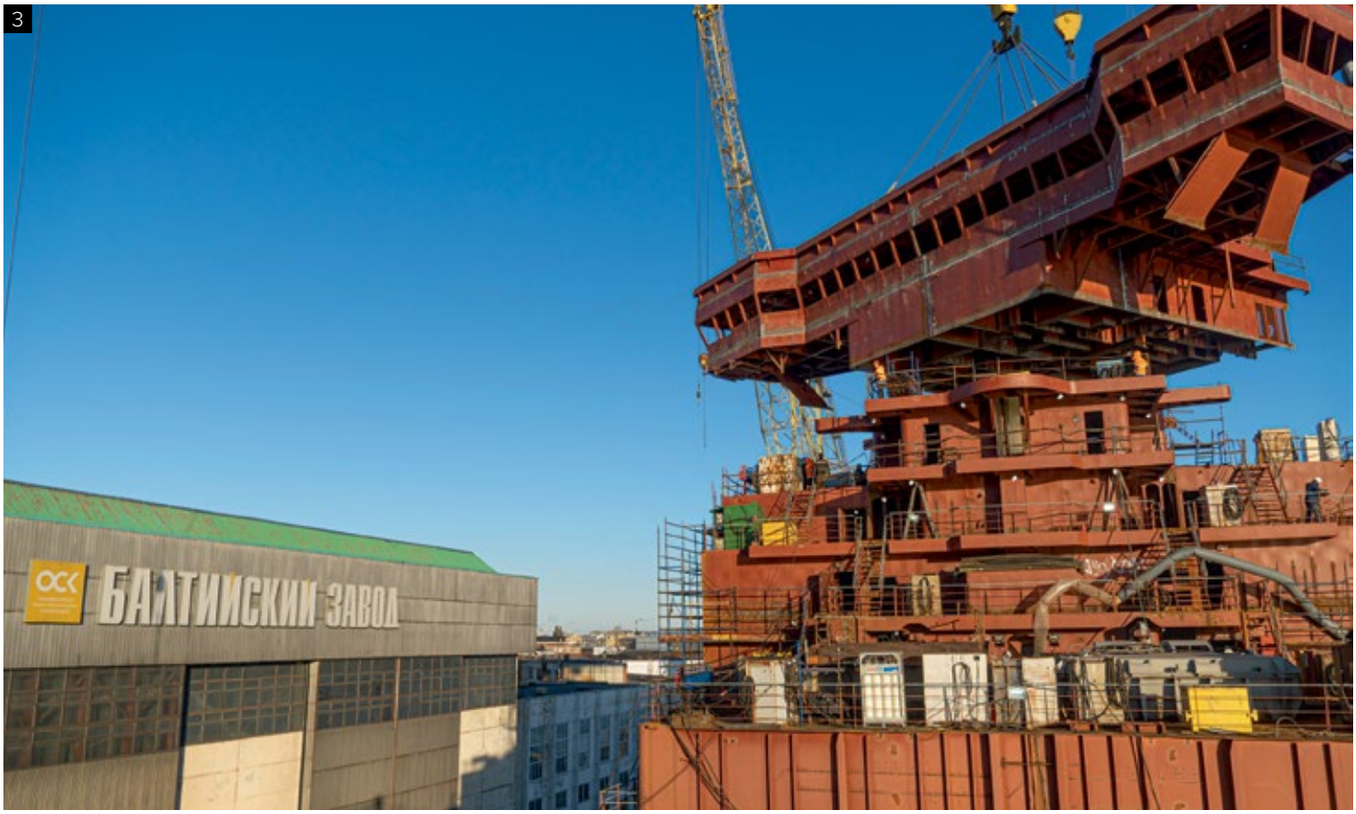
составляет гражданская продукция ОПК «Росатом» за 2019 год

35%

выручки составляет гражданская продукция

2





3

суперкомпьютерные технологии стали развивать и в Снежинске (РФЯЦ-ВНИИТФ). При этом советский атомный проект был одним из ключевых потребителей компьютерной техники, требовавшейся для создания ядерного оружия или проектирования АЭС.

Диверсификация в «Росатоме» иногда получалась и почти случайно. Например, приобретение мощностей карельского «Петрозаводскмаша» в 2010 году задумывалось как создание новой площадки для атомного машиностроения. Волгодонский «Атоммаш» тогда оставался в частных руках и не работал на отрасль, и конкуренция производителей, например, корпусов реакторов в стране практически отсутствовала. Но «Петрозаводскмаш» с советских времен специализировался на производстве оборудования для целлюлозно-бумажной промышленности, затем на предприятии появились и другие, но совершенно неатомные производства, например, оборудование для нефтехимии. Но и после вхождения в периметр госкорпорации прежние технологии «Петрозаводскмаша» никуда не исчезли.

Но, конечно, есть и вполне осознанные выходы на новые производственные процессы, причем временами исключительно неожиданные. Например, создание в рамках «Росатома» подразделения, развивающего ветровую генерацию, может показаться и странным решением. Бум зеленой энергетики в последние годы революционно перекраивает структуру энергосистем крупных стран, и часто именно возобновляемые источники энергии (ВИЭ) противопоставляют традиционной генерации как тепловой, сжигающей ископаемое топливо и выбрасывающей в атмосферу углекислый газ, так и безуглеродной атомной. Тем не менее ВИЭ при грамотном развитии энергетики могут двигаться с АЭС непересекающимися курсами. Если речь идет о борьбе с глобальным потеплением, то бороться надо с углем и углеводородным топливом, мирный атом, скорее, в такой ситуации может оказаться стабильным союзником. Другая экологическая технология, которая становится своей для «Росатома»,— это борьба с загрязнением окружающей среды. Имеется в виду производство оборудования для мусоросжигающих ТЭС и программа утилизации промышленных отходов I и II классов, оператором которой назначена госкорпорация.

Суверенная инвесткорпорация

Новые продукты для атомной отрасли — практика достаточно привычная. В первую очередь потому, что сама по себе индустрия — это технологическая новация своего времени. Атомный проект в послевоенные годы аккумулировал слишком много научного, технологического и экономического потенциала, чтобы остаться в достаточно узких рамках оборонно-энергетической производственной цепочки. Происходил своего рода естественный захват прилежащих к отрасли территорий. Судя по всему, государство это устраивало: Минсредмаш из нашего времени видится чем-то вроде крупного инвестиционного фонда с собственными научно-исследовательскими институтами, промышленными предприятиями, сырьевой базой и даже инфраструктурой. При этом экономический масштаб такого атомного расширяющегося проекта, наверное, был сравним с современными суверенными инвестфондами.

Можно провести и другие аналогии. Например, с южнокорейскими чеболями второй половины XX века, многопрофильными промышленными корпорациями, в которых развивалось все подряд — от бытовой электроники до судостроения. Или с промышленными группами западных стран, где под одним зонтиком

могут быть объединены полтора десятка индустриальных направлений. Те же чеболи часто называют ключевым элементом южнокорейского экономического скачка, когда эта страна, еще в 50-х годах отстававшая даже от КНДР, к концу века стала одним из мировых технологических лидеров.

Впрочем, аналогия не совсем точна: и корейские, и западные многопрофильные индустрии были частными структурами, тогда как советская система ничего подобного вне рамок плановой государственной экономики и представить себе не могла. Но это уже вечный разговор о том, насколько эффективен может быть госсектор в экономике. Отвечать на него можно на разные лады, и многое решает направление взгляда: результат будет сильно зависеть от того, смотрите ли вы, допустим, на американскую экономику или на китайскую.

Инструмент промышленной политики

Диверсификация государственной корпорации — во многом инструмент промышленной политики, если то самое государство готово ее четко формулировать. Необходимость такой промполитики для большой страны, видимо, очевидна. Довольно точное объяснение несколько лет назад я слышал от высокопоставленного российского чиновника, имевшего непосредственное отношение к определению приоритетов развития отечественной индустрии. На несколько провокационный вопрос о том, можно ли вообще обойтись без госстимулирования промышленного развития через субсидии, льготы или иные преференции, оставив выбор путей развития самому бизнесу, управленец ответил вопросом: «Вы же давно пишете о промышленности, вот и скажите, какой в России обычный горизонт планирования у крупной индустриальной компании?» Я осторожно предположил, что, пожалуй, три года, дальше уже несколько туманно. «Хорошо, если хотя бы на такой срок планируют»,— ответил собеседник. Он имел в виду, что заложить крупный проект на период более трех лет в ряде капиталоемких отраслей без каких-то внешних гарантий затруднительно, так что приходится вспоминать о господдержке.

Для атомной отрасли долгосрочные проекты — от десяти лет и выше — всегда были как минимум вариантом нормы. Строительство АЭС от принятия решения до ввода занимает как раз примерно такой срок, причем значительная часть этого времени — проектирование, согласование, проверки и перепроверки. На этом фоне большинство новых продуктов выглядят почти краткосрочными инвестициями. Есть, конечно, и неатомные исключения, сравнимые по длительности с большими проектами атомной отрасли. Например, развитие Северного морского транзитного коридора (перевозки грузов между Тихим океаном и Атлантикой по Севморпути с организацией портов-хабов), который намерена реализовать «Русатом Карго», рассчитано как минимум до 2028 года (подробнее см. июльский номер «Вестника атомпрома»). Фактически в данном случае идет речь о формировании крупного проекта транспортно-логистической инфраструктуры, требующего долгосрочных инвестиций и той самой атомной привычки к проектам для следующего поколения.

В этой связи было даже несколько удивительно, что «Росатом» и атомная отрасль изначально не были привлечены к нацпроектам (федеральные национальные проекты, принятые в 2018 году на период до 2024 года). Формально госкорпорация выглядела почти идеальным вариантом для такой пятилетки, особенно учитывая несколько федеральных целевых программ по атомной индустрии, успешно проводившихся с 2000-х годов. Весной 2020 года президент Владимир Путин поправил ситуацию, поручив правительству разработать комплексную программу «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 года». Впрочем, это, скорее, «внутриатомная» диверсификация: разрабатываемые в рамках программы технологии относятся к замкнутому ядерно-топливному циклу, реакторам малой мощности, термоядерной энергетике, новым материалам для энергетических установок, плазменным технологиям.

Собственно, и сам «Вестник атомпрома» в своем сегодняшнем варианте — это продукт диверсификации. Наверное, невозможно уже рассказывать об атомной отрасли в России без учета того, что в периметре госкорпорации с каждым днем становится все больше неатомных или не совсем атомных продуктов и производств. Мы пытаемся оставаться на грани текущих или перспективных инноваций, заинтересовавших «Росатом», хотя и эта задача временами кажется замахом на то, чтобы объять необъятное.

Справка

Господдержка за рубежом

Помощь государства как таковая далеко не всегда работает в положительную сторону. «Росатом» с этим сталкивался совсем недавно — в истории с контрактом на строительство венгерской АЭС «Пакш-2». Это соглашение было заключено уже в «посткрымский» период, когда любые контакты с Россией рассматривались как минимум с повышенной подозрительностью. Чиновники Евросоюза довольно долго проверяли параметры АЭС, а одной из потенциальных проблем была господдержка проекта со стороны правительства Венгрии.

С другой стороны, весной 2020 года эксперты минэнерго США подготовили анализ состояния атомной индустрии страны и пришли к выводу, что Америка потеряла мировое лидерство в этой сфере, уступив ведущие позиции Китаю и России. Тогда в стратегической записке экспертов предлагался целый ряд любопытных мер для стимулирования отрасли, защиты внутреннего рынка, обеспечения национальной безопасности и т. д. Основная часть этих мер — это госрегулирование, но в ряде случаев предлагалось и прямое финансирование, например, в виде госзаказа. Так, для развития технологий SMR (малых модульных реакторов) предлагалось закупать первые модели для нужд минобороны США, объяснив это как способ обеспечить энергобезопасность оборонной инфраструктуры страны.

Фото: «Петрозаводскмаш»

«Петрозаводскмаш»

Автоматическая наплавка коррозионностойкого слоя на бесшовную трубную заготовку узла главного циркуляционного трубопровода АЭС

Петрозаводский филиал компании «АЭМ-Технологии», входящей в машиностроительный дивизион «Росатома» «Атомэнергомаш». Основан в 1960 году и изначально производил оборудование для целлюлозно-бумажной промышленности. В постсоветское время осваивал другие производства, в частности, оборудование для нефтехимии. В 2010 году вошел в периметр «Росатома», начал выпускать оборудование для АЭС.

70,8 *млрд руб.*

составила выручка «Атомэнергомаша» в 2018 году

221 *ГВт*

составил объем рынка энергомашиностроения в 2019 году

3 %

доля атомной продукции в мировом энергомашиностроительном производстве в 2019 году

752,3 *млрд руб.*

составил 10-летний портфель заказов «Атомэнергомаша» по итогам 2019 года

25

мусоросжигательных ТЭС получат оборудование «Атомэнергомаша»

38 %

доля «Атомэнергомаша» на рынке российского энергомашиностроения

в **42** *страны*

мира поставляется продукция предприятия

Фото: АО «Русбурмаш»

Павловское свинцово-цинковое месторождение

Расположено на Южном острове архипелага Новая Земля в 15 км от побережья Баренцева моря. Было открыто в 2001–2002 годах, содержит залежи свинцово-цинковых руд. Павловское месторождение входит в пятерку крупнейших полиметаллических месторождений России.

Права на разработку принадлежат «Первой горнорудной компании», с 2012 года входит в периметр горнорудного дивизиона АРМЗ госкорпорации «Росатом».

В структуре горно-обогатительного комбината будет карьер производственной мощностью около 3,5 миллиона тонн руды в год, обогатительная фабрика, вахтовый поселок, складское хозяйство, ремонтно-технические базы и другие вспомогательные объекты.

12 *кв. км*

площадь месторождения

220 *тыс. тонн*

плановое годовое производство цинкового концентрата

50 *тыс. тонн*

плановое годовое производство свинцового концентрата

492,4 *тыс. тонн*

запасы свинца по С1+С2

2253,5 *тыс. тонн*

запасы цинка по С1+С2

1072,8 *тыс. тонн*

запасы серебра по С1+С2

Федор Буйновский,
обозреватель «Вестника Атомпрома»

Теневая сторона атомного проекта

Федор Буйновский о роли Лаврентия Берии в истории и науке

Атомную промышленность часто приводят в качестве образцового примера мобилизационных возможностей советской экономики и умения в условиях дефицита ресурсов, знаний и времени реализовать крайне сложные проекты. Действительно, создать атомную бомбу в сжатые сроки смогли только США, практически не пострадавшие от Второй мировой войны, и СССР, остановивший гитлеровскую Германию.

При этом у советского атомного проекта есть одна теневая сторона, заглядывать на которую без особой надобности не принято. Куратором создания бомбы был зампред правительства Лаврентий Берия. Выдающийся организатор науки, как его называли современники, и один из создателей жестокого репрессивного аппарата сталинских времен. Человек, который с 1945 года возглавлял «атомный» Специальный комитет при ГКО, Совнаркоме, а затем при Совете министров, внес самый внушительный организационный вклад в создание ядерного паритета с США, а в 1953 году после смерти Сталина проиграл сражение за власть коллегам по Политбюро ЦК КПСС и был расстрелян, по официальной версии, за подготовку госпереворота и прочие тяжкие преступления. А также руководитель НКВД с 1938 по 1945 год. Практически две или три биографии в одной жизни. До 1945 года — глава репрессивной машины, а после этого — организатор научного прорыва. С 1953 года — государственный преступник вне всяких категорий, не реабилитированный и в постсоветское время.

Немного истории. Военное предназначение урана стало прорисовываться, когда 25 сентября 1941 года руководитель советской резидентуры в Лондоне Анатолий Горский передал в Москву сообщения о ходе работ в Англии по разработке урановой бомбы.

Как отмечает в своей книге «Атомный проект в координатах сталинской экономики» Евгений Артемов, летом 1941 года Лондон принял решение о разработке атомной бомбы и согласовал проект опытного завода по разделению изотопов урана газодиффузионным способом. В октябре была создана государственная организация «Тьюб-Эллойс» — головное ведомство по осуществлению британской ядерно-оружейной программы. С материалами программы ознакомили США, а в августе 1942 года Вашингтон утвердил «Манхэттенский проект» — организацию и план деятельности по созданию и производству атомного оружия. Так спустя всего три года после открытия немецкими физиками Отто Ганом и Фрицем Штрассманом деления атомного ядра, два государства из большой четверки приступили к созданию бомбы.

28 сентября 1942 года Сталин подписал распоряжение Госкомитета обороны (ГКО) «Об организации работ по урану». «Обязать Академию наук (акад. Иоффе) возобновить работы по исследованию осуществимости использования атомной энергии путем расщепления ядра урана и предоставить ГКО к 1 апреля 1943 года доклад о возможности создания урановой бомбы или уранового топлива». Затем последовало постановление ГКО «О добыче урана», решение о назначении Игоря Курчатова начальником Лаборатории № 2 — предтечи атомного проекта. Но все это тогда выглядело как один из многих научных проектов на перспективу.

16 июля 1945 года США провели в Нью-Мексико первый в истории человечества атомный взрыв — накануне открытия Потсдамской конференции, на которой страны-победительницы должны были решить судьбу послевоенной Европы. Там президент США Трумэн сообщил об испытаниях Сталину, но тот остался внешне невозмутим. 6 и 9 августа США провели атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, погибло более 246 тысяч человек, не считая умерших впоследствии от лучевой болезни.

СССР отреагировал, создав Спецкомитет при ГКО. На это суперведомство была возложена ответственность за выполнение задачи номер один — в кратчайшие сроки страна должна получить ядерное оружие и средства его доставки, что может гарантировать паритет с США. По сути, шла речь о выживании целой страны — национальный проект первостепенной важности.

Постановление ГКО о создании Специального комитета под председательством Лаврентия Берии вышло 20 августа 1945 года. Персональный состав комитета объединял все руководящие партийные и государственные органы, вовлеченные в создание новой научно-промышленной отрасли. Спецкомитет был подконтролен Сталину. Этим же постановлением «для непосредственного руководства

научно-исследовательскими, проектными, конструкторскими организациями и промышленными предприятиями по использованию внутриатомной энергии урана и производству атомных бомб» образовано Первое Главное управление при СНК СССР во главе с Борисом Ванниковым (именно ПГУ считается предшественником атомного Минсредмаша). Был создан также Технический совет при Спецкомитете для предварительного рассмотрения научных и технических вопросов. Главная идея создания комитета состояла в закреплении за атомным проектом официального статуса первоочередной задачи государственной важности.

В изложении Евгения Артемова назначение Берии определялось заслугами военного времени: «Л. П. Берию назначили руководителем атомного проекта не потому, что он возглавлял карательное ведомство, в годы войны ему как члену и заместителю председателя ГКО поручалось курировать важнейшие направления оборонной промышленности. Несмотря на все трудности, он блестяще справился с возложенными на него задачами, зарекомендовав себя крупным организатором производства. Несомненно, что И. В. Сталин и его ближайшие соратники в первую очередь учитывали это обстоятельство».

Нужно сказать, что Л. П. Берия оправдал их ожидания. В подтверждение сказанного можно привести ряд авторитетных воспоминаний. Наиболее известны свидетельства Ю. Б. Харитона, бывшего одной из ключевых фигур атомного проекта, и А. М. Петросьянца, стоявшего у истоков создания атомной техники. Они практически идентичны в оценках: оба мемуариста отмечают ум, волю, огромную энергию и работоспособность Л. П. Берии, его открытость к мнениям других и умение доводить дело до конца.

По словам Ю. Б. Харитона, такое впечатление сложилось у многих ветеранов отрасли, связывающих «быстрый успех» в осуществлении атомного проекта с руководством Берии. С ними, по существу, соглашались и соперники последнего за власть. На закате жизни В. М. Молотов называл Л. П. Берию «хорошим администратором» и добавлял: «Насчет атомной бомбы — это его работа. Кольцо противовоздушной обороны вокруг Москвы — это ему поручалось».

Есть и иные мнения. Великий советский физик Петр Леонидович Капица, наотрез отказывавшийся работать над атомным проектом, аргументировал свое желание в том числе и невозможностью работать с Берией. Правда, в своем известном письме Сталину 25 ноября 1945 года Капица винил главу Спецкомитета и ряд других управленцев скорее в неэффективности, необразованности, неуважении к мнению ученых. «У него (Берии.— Прим. автора) один недостаток — чрезмерная самоуверенность, и причина ее, по-видимому, в незнании партитуры. Я ему прямо говорю: «Вы не понимаете физику, дайте нам, ученым, судить об этих вопросах», на что он мне возражает, что я ничего в людях не понимаю. Вообще наши диалоги не особенно любезны»,— сообщал ученый главе правительства.

24.08.1945 — Завод № 12 в Электростали первым вошел в состав ПГУ. Заводу было поручено освоить выплавку урана из руд и концентратов, а также изготовление из него блоков для загрузки в реактор для наработки плутония. К концу 1945 года было изготовлено уже 150 кг урана.

1.12.1945 — Определена площадка под строительство первого реакторного завода на севере Челябинской области (комбината № 817, ныне ПО «Маяк»).

9.04.1945 — Образовано специальное КБ-11 в Сарове для разработки и испытания атомной бомбы. Начальником КБ-11 назначен П. М. Зернов, главным конструктором — Ю. Б. Харитон.

1.07.1946 — Б. Л. Ванникову направлено «Тактико-техническое задание на атомную бомбу», подписанное Ю. Б. Харитоном.

25.12.1946 — В лаборатории № 2 пущен первый в Евразии исследовательский уранграфитовый реактор Ф-1 и осуществлена самоподдерживающаяся цепная реакция.

18.12.1947 — В НИИ-9 (ныне ВНИИНМ им. А. А. Бочвара) получен первый плутоний, 73 мкг — «голубая капелька в миллиметровой пробирке».

15.05.1948 — Введен в действие завод «А» комбината № 817

1.06.1948 — Началась загрузка промышленного реактора «А» («Аннушка») на комбинате № 817. 19 июня он введен в эксплуатацию на проектной мощности 100 МВт.

8.04.1949 — Ю. Б. Харитон и К. И. Щёлкин представили в Спецкомитет доклад о решении всех теоретических, конструкторских и технических задач по РДС-1, приложив «Порядок испытаний РДС-1» и «Программу тренировочных опытов на полигоне».

июнь 1949 — На комбинате № 817 получено необходимое количество плутония для атомной бомбы.

29.08.1949 — 29 августа 1949 года в 7:00 по местному времени на Семипалатинском полигоне был взорван первый советский ядерный заряд мощностью 20 килотонн.

Но советская бюрократия в целом не удовлетворяла Капицу: к тому же Ванникову у физика тоже были претензии в неэффективной организации работы.

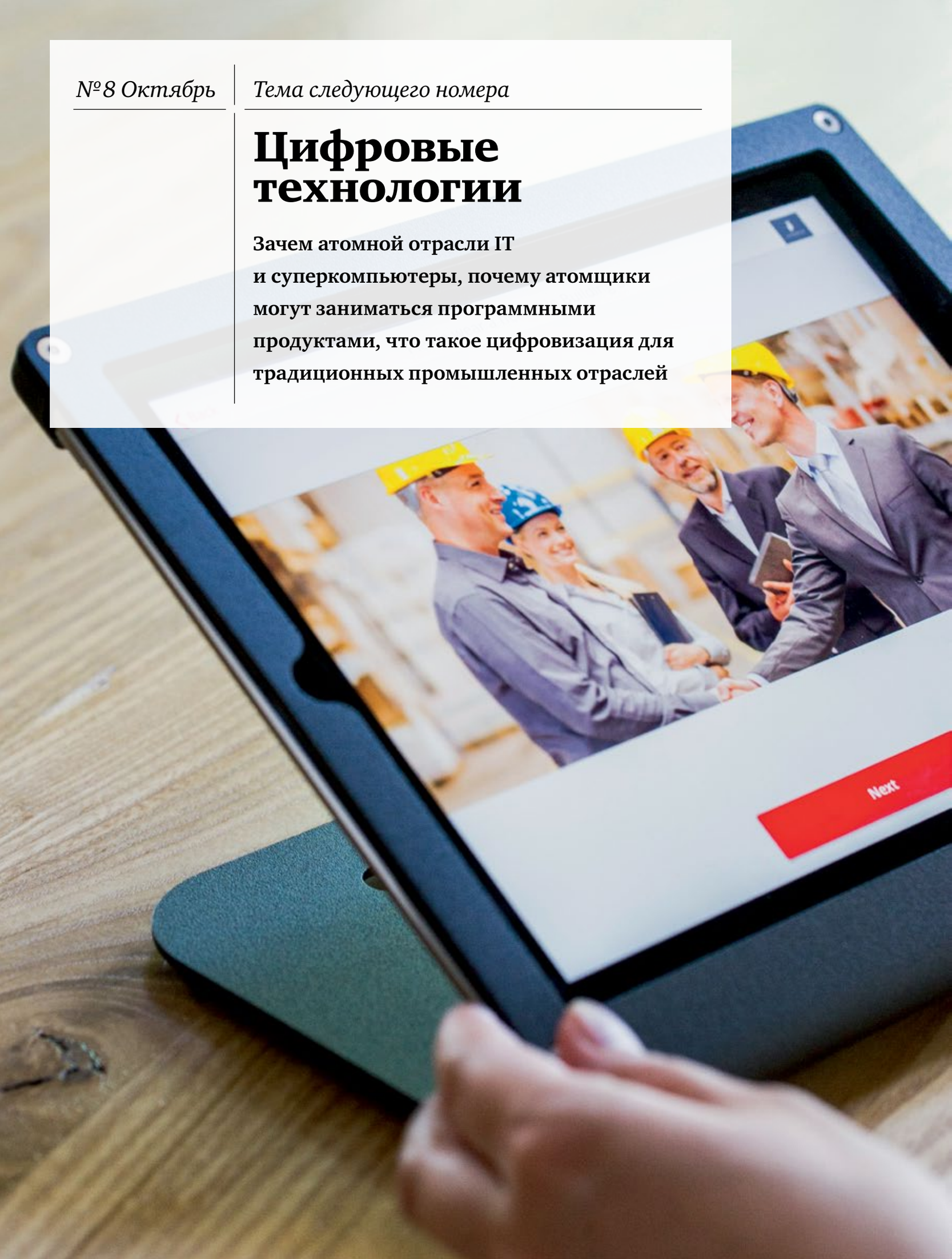
Тем не менее советский атомный проект стал развиваться гигантскими темпами.

С 1945 по 1953 год, пока Лаврентий Берия курировал атомный проект, была испытана первая атомная бомба, что положило конец атомной гегемонии США, в течение еще пяти лет создавалась инфраструктура серийного производства атомного оружия и средств его доставки, а 12 августа 1953 года — через два с небольшим месяца после ареста Берии — была испытана термоядерная бомба. 23 декабря 1953 года бывший глава НКВД и атомного проекта, организатор науки, «не понимавший физики», был расстрелян.

Тема следующего номера

Цифровые технологии

Зачем атомной отрасли IT и суперкомпьютеры, почему атомщики могут заниматься программными продуктами, что такое цифровизация для традиционных промышленных отраслей



ГМС ГРУППА

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ

НАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

- Питательные насосы ПТА, ПЭА, АПЭНА, ПЭМА
- Конденсатные насосы КсВА, Кс
- Насосы систем безопасности ЦНСА, ЦНА, ЦНР, ДНА
- Циркуляционные насосы ДеЛиум, Д, СЭ, ВЦМА
- Насосы систем маслоснабжения МВ, МКВ
- Вспомогательные насосы 1ЦНА, АС-Х, АС-ВК(С), АС-3ЛПНА

- **НАСОСЫ I, II И III КАТЕГОРИИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ И 2, 3 И 4-ГО КЛАССА БЕЗОПАСНОСТИ**
- **ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АККРЕДИТОВАН ГОСКОРПОРАЦИЕЙ «РОСАТОМ»**

ПРЕДПРИЯТИЯ-ИЗГОТОВИТЕЛИ

ГМС ЛИВГИДРОМАШ

—

НАСОСЭНЕРГОМАШ

Реклама

www.hms.ru

АО «ГИДРОМАШСЕРВИС» —
объединённая торговая компания Группы ГМС

Россия, 125252, Москва, ул. Авиаконструктора Микояна, 12
телефон: +7 (495) 664 81 71 факс: +7 (495) 664 81 72

Фото ГК «Росатом»
www.rosatom.ru