

# Ядерная энергетика:

Алан Макдоналд

## ПОЛОЖЕНИЕ ДЕЛ В МИРЕ

### Взгляд на производство электроэнергии на АЭС во всем мире и его будущие перспективы.

В современных дискуссиях относительно производства электроэнергии на АЭС следует учитывать три важных реалии.

Во-первых, растут ожидания в отношении ядерной энергетики.

Во-вторых, 'один размер не годится для всех', и это означает, что на вопросы типа 'действительно ли ядерная энергетика является экономичной?' нет единого универсального ответа. Как примерно во всем остальном в нашей жизни, ответ звучит: 'это зависит от обстоятельств' - иногда да, иногда нет. Конечно же, в случае ядерной энергетики один размер не годится для всех.

Третий элемент - экономика. Ответ на вопрос, сможет ли ядерная энергетика оправдать растущие ожидания, будет зависеть от того, насколько дешевой она окажется по сравнению с альтернативными источниками энергии. Конечно, атомная промышленность может оказать здесь влияние, снижая затраты, но существуют факторы вне контроля промышленности, такие как цена природного газа или углеродных кредитов, которые также будут определять для любого конкретного инвестора, является ли ядерный вариант эффективным с точки зрения затрат.

### Некоторые статистические данные

Глобальная мощность АЭС с 1960-х до второй половины 1980-х годов росла высокими темпами, а их доля в глобальной выработке электроэнергии в 1986 году достигла 16%. Затем рост мощности АЭС замедлился (см. диаграмму «Прогнозы мощности АЭС» на с. 47), но в течение следующих 20 лет доля ядерной энергетики в производстве электроэнергии оставалась примерно неизменной и составляла 16%. Неизменность 16%-го уровня означала, что выработка электроэнергии на АЭС постоянно возрастала такими же темпами, как и общее мировое производство электроэнергии. Это объясняется медленным непрерывным ростом мощности и устойчивым повышением коэффициентов эксплуатационной готовности реакторов в 1990-х годах (см. диаграмму «Рост мощности АЭС и производства электроэнергии на АЭС» на с. 48). Коэффициент эксплуатационной готовности связан с количеством электроэнергии, выработку которого реактор способен обеспечить при непрерывной работе в течение всего года на номинальной мощности.

Коэффициенты эксплуатационной готовности повышались в 1990-х годах по нескольким причи-

нам, главным образом благодаря технологическим и управленческим усовершенствованиям, дерегулированию и повышению безопасности.

Технологические и управленческие усовершенствования наиболее понятны. Каждая отрасль промышленности постоянно совершенствуется, появляются новые материалы, новые компьютеры, новые процедуры контроля качества и так далее. Атомная промышленность не была исключением и не является им сейчас.

Дерегулирование означало, что экономия затрат в результате внедрения таких усовершенствований не распространялась автоматически на клиентов в виде более низких цен на электроэнергию, но могла быть частично сохранена энергокомпанией в виде прибыли. Это усиливало стимулы, побуждающие добиваться более высоких коэффициентов эксплуатационной готовности.

Значительные усовершенствования в области безопасности были внедрены после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Авария инициировала реальный переход к обмену информацией о наилучшей практике, к независимым авторитетным рассмотрениям, представлению и взаимному изучению информации об инцидентах. Это было сделано в интересах безопасности, но, кроме того, также дополнительно привело к улучшению рабочих характеристик и повышению коэффициентов эксплуатационной готовности. Оказывается, что более безопасная станция более прибыльна.

Как можно видеть в правой части диаграммы «Рост мощности АЭС и производства электроэнергии на АЭС», в течение последних нескольких лет рост мирового среднего коэффициента эксплуатационной готовности почти прекратился. Отчасти по этой причине в 2006 году доля электроэнергии, выработанной на АЭС, упала до отметки 15% глобального производства электроэнергии.

### Коротко о положении дел в мире

Нынешнее положение дел в области выработки электроэнергии на АЭС в разных странах мира крайне неодинаково. В 30 странах, имеющих действующие АЭС, процентная доля электроэнергии, обеспечиваемой ядерными реакторами, варьируется в диапазоне от 78% во Франции до всего лишь 2% в Китае.

Всего же по состоянию на март 2008 года во всем мире насчитывается 439 АЭС, в то время как еще 35 станций строятся. Больше всего атомных станций в США - 104, следующей идет Франция - 59 АЭС, затем

В 30 странах, имеющих действующие АЭС, процентная доля электроэнергии, обеспечиваемой ядерными реакторами, варьируется в диапазоне от 78% во Франции до всего лишь 2% в Китае.

Япония - 55 и Россия, где работает 31 станция и еще семь находятся в стадии строительства.

Расширение производства электроэнергии на АЭС происходит, прежде всего, в Азии. В общей сложности 20 из 35 станций в стадии строительства находятся в Азии, и 28 из последних 39 подключенных к энергосетям станций также расположены в Азии.

## Рост ожиданий

О производстве электроэнергии на АЭС говорят все больше и больше, зачастую в связи с более широкими вопросами, такими, как глобальное потепление и изменение климата. Такое возобновление внимания способствует разветвлению общественных дискуссий относительно положительных и отрицательных аспектов этой технологии, в которых принимают участие СМИ, политические деятели, а также широкая общественность. Но подкрепляется ли этот рост ожиданий фактами в отрасли?

Департамент ядерной энергии МАГАТЭ подготавливает два прогноза установленной мощности АЭС во всем мире, низкий и высокий, которые ежегодно обновляются.

Низкий прогноз включает четкие планы, объявленные правительствами и энергопредприятиями в отношении нового строительства, продлений срока службы и вывода АЭС из эксплуатации. Согласно этому сценарию, будет происходить умеренный устойчивый рост до суммарного уровня мощности 447 ГВт (эл.) в 2030 году. В высоком прогнозе дополнительно учитываются реакторы, предложенные в соответствии с долгосрочными планами правительств и энергокомпаний. Согласно этому прогнозу, суммарная мощность достигнет в 2030 году 691 ГВт (эл.). Что касается производства электроэнергии, то его увеличение в период до 2030 года составит 25% согласно низкому прогнозу и 93% - согласно высокому.

Столбцы в правой части диаграммы «Прогнозы мощности АЭС» показывают, где будет происходить прогнозируемое расширение ядерной энергетики. В течение следующих нескольких десятилетий, даже согласно высокому прогнозу, ядерная энергетика останется главным образом технологией развитых стран и больших развивающихся стран.

Таким образом, если сбудутся сегодняшние растущие надежды, то значительное увеличение, вероятно, произойдет потому, что страны, которые уже используют ядерную энергетiku, будут строить больше станций, а не потому, что новые страны, развитые или развивающиеся, решат приступить к выполнению новых программ. Но новые страны определенно войдут в игру. Согласно высокому прогнозу, в 2030 году число стран, имеющих АЭС, будет приблизительно на 20 больше, чем сегодня.

## Движущие факторы

Каковы же движущие силы повышения ожиданий в отношении производства электроэнергии на АЭС? Возможных причин - пять.

Во-первых, статистические данные. Опыт мировой атомной энергетики составляет приблизительно 12 700 реакторо-лет. Эксплуатационные показатели и показатели безопасности находящихся сегодня в эксплуатации конструкций чрезвычайно высоки.

Во-вторых, энергетические прогнозы продолжают предсказывать постоянный долгосрочный рост.

Третьей причиной является надежность энергоснабжения. В 1970-х годах озабоченность по поводу надежности энергоснабжения, возникшая в результате нефтяных кризисов, была основной причиной расширения ядерного сектора в Японии и во Франции. Подобного рода обеспокоенность может также оказаться важным фактором сегодня.

В-четвертых, конкретные планы существенного расширения в таких ключевых странах, как Китай и Индия, оказывают большое влияние на общие ожидания в глобальных масштабах.

Наконец, новые экологические ограничения - подобные вступлению в силу Киотского протокола - означают, что существуют некоторые реальные финансовые выгоды, связанные с предотвращением выбросов парниковых газов (ПГ).

## Азия: расширяющаяся сцена

Но каковы же перспективы производства электроэнергии на АЭС в конкретных странах мира? Наш общий обзор начинается со стран Азии, мирового региона, в котором преимущественно происходит расширение.

### Индия

В Индии на АЭС приходится менее 3% всей производимой электроэнергии, но наряду с Китаем и Россией она является одним из лидеров по строительству новых станций, и в ней находится шесть из 35 реакторов, строящихся сейчас во всем мире.

Однако планы Индии на будущее еще более внушительны: восьмикратное увеличение к 2022 году до 10% всей вырабатываемой электроэнергии и общее 70-кратное увеличение к 2052 году до уровня 26%. Цифра увеличения в 70 раз, конечно же, звучит замечательно, но она соответствует средним темпам роста 9,5% в год, что немного меньше, чем средний глобальный рост в ядерной области в период с 1970 по 2002 год. Так что она вряд ли беспрецедентна.

### Китай

Китай, как и Индия, сталкивается с резким ростом энергетического спроса и стремится расширить свои генерирующие мощности, используя все возможные источники энергии, включая ядерную энергетiku. В Китае ведется строительство шести реакторов и планируется почти пятикратное расширение мощностей к 2020 году.

Однако поскольку энергетический спрос в стране растет столь быстрыми темпами, соответствующая доля будет составлять всего лишь 4% производимой к тому времени электроэнергии. В перспективе Китай является потенциальным поставщиком технологий и услуг, особенно в Азии.

### Япония

По другую сторону моря находится Япония, страна, имеющая 55 реакторов, еще один в стадии строи-

тельства и планирующая увеличить долю ядерной энергетики в производстве электроэнергии с 30% в 2006 году до более 40% в период до 2020 года.

### Республика Корея

Еще одна азиатская страна со значительной приверженностью ядерным технологиям - Южная Корея, где эксплуатируются 20 реакторов и еще три находятся в стадии строительства. В Южной Корее ядерная энергетика уже обеспечивает поставки почти 40% электроэнергии.

## Европа: разнородная картина

Европа – наглядный пример воплощения принципа «один размер не годится для всех».

Россия имеет 31 действующий реактор, семь в стадии строительства и значительные планы расширения. В рамках инициативы президента Путина о сотрудничестве в создании глобальной ядерно-энергетической инфраструктуры Россия также предпринимает шаги, направленные на предоставление, в конечном счете, комплексных услуг полного топливного цикла, включая возможный лизинг топлива, переработку отработавшего топлива для стран, заинтересованных в этом, и даже лизинг реакторов.

В совокупности, в остальных странах Европы эксплуатируется 167 реакторов, а шесть находится в стадии строительства. Но в пределах Европы есть страны, отказавшиеся от ядерного варианта, подобно Австрии, Дании и Ирландии; страны, постепенно свертывающие ядерно-энергетическую программу, как Германия и Бельгия; и страны, расширяющие ее, как Финляндия, Франция, Болгария и Украина. В 2005 году Финляндия приступила к строительным работам на третьем энергоблоке АЭС «Олкилуото», являющемся первым новым западноевропейским энергоблоком, строительство которого начато после 1991 года. Франция в 2007 году начала строительство на третьем энергоблоке АЭС «Фламанвилль».

Перспективы в Соединенном Королевстве, где находится в эксплуатации 19 станций, большая часть которых относительно стара, были наиболее туманны до января 2008 года, когда было принято решение, что инвесторам следует иметь возможность строительства новых АЭС на его территории и что правительству следует снизить риски регулирования и планирования.

Три балтийских государства, вместе с Польшей, достигли принципиального согласия относительно строительства в Литве АЭС к 2015 году, а Литва в 2007 году приняла необходимое законодательство, делающее это строительство возможным. В Турции также принято новое законодательство, разрешающее строительство АЭС.

## Северная и Южная Америка: изменение ландшафта

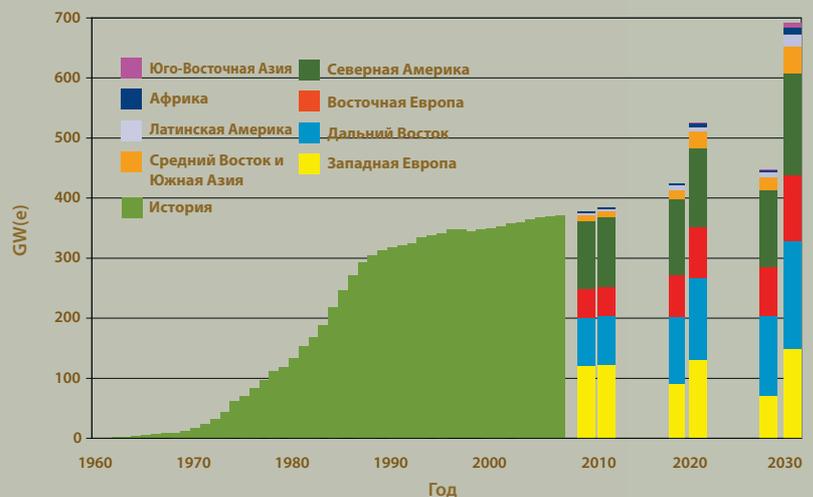
Так же, как и в Европе, ситуация в разных странах Северной и Южной Америки неодинакова.

## США

США имеют 104 реактора, обеспечивающие производство 19% электроэнергии страны. В течение последних десятилетий основные усилия были направлены на повышение уровня коэффициента эксплуатационной готовности, повышение мощности существующих станций и получение продлений срока действия лицензий. В настоящее время 48 реакторов уже получили продления лицензии на 20 лет, так что их лицензированный срок эксплуатации достигнет 60 лет.

В целом же, три четверти реакторов США получили продление срока действия лицензии, направили заявку на продление или заявили о намерении подать такую заявку. Но вплоть до недавнего времени в США отсутствовали стимулы, побужда-

## Прогнозы мощности атомных электростанций во всем мире, 2020-2030 годы



Согласно прогнозам, производство электроэнергии на АЭС будет расти главным образом в тех регионах, где уже существует стабильная ядерная энергетика.

Источник: МАГАТЭ

ющие предпринимателей к строительству новых АЭС. Уголь имеется в изобилии, природный газ дешев и отсутствуют установленные Киотским протоколом пределы, ограничивающие выбросы ПГ. Кроме того, инвесторы с подозрением относились к финансовым рискам и задержкам, присутствующим ядерным проектам.

Однако есть признаки того, что положение дел, по-видимому, меняется. В 2007 году в США был вновь введен в эксплуатацию реактор, оставшийся законсервированным в течение многих десятилетий, и были возобновлены активные строительные работы на другом реакторе. Что касается нового строительства, то в законе об энергетике 2005 года предусмотрены страхование кредитов, налоговые скидки и другие инструменты, направленные на снижение финансовых рисков. В 2007 году Комиссия по ядерному регулированию выдала первые первоначальные разрешения на строительные площадки (ПРП), сертифицировав три площадки как подходящие для нового строительства, и она обрабатывает документы в связи с еще двумя заявками на выдачу ПРП. Кроме того, в 2007 году она получила четыре заявки на комбинированные лицензии (КОЛ) - первые заявки на новые ядерные реакторы в США за последние

почти 30 лет. До конца 2009 года ожидается поступление в общей сложности 21 такой заявки на строительство 32 реакторов.

### Канада

В Канаде насчитывается 18 реакторов, покрывающих 16% ее потребности в электроэнергии. Два энергопредприятия подали заявки на подготовку площадок под потенциальное строительство новых энергоблоков в провинции Онтарио, в то время как в прошлом году компания «Энерджи Альберта» обратилась с заявкой о выдаче лицензии на строительство новой АЭС на северо-западе провинции Альберта.

### Аргентина, Бразилия и Мексика

В Аргентине, Бразилии и Мексике имеется по два реактора, а Аргентина ведет строительство еще одного реактора. Дальнейшее новое строительство в ближайшей перспективе будет, вероятнее всего, происходить в Аргентине и/или Бразилии.

### Африка

На африканском континенте Южная Африка является единственной страной, имеющей действующие энергетические реакторы – в количестве двух. Южная Африка также ведет работы по демонстрации нового реактора малой мощности своей собственной конструкции.

### Ядерные 'новички'

Двенадцать из тридцати стран, имеющих действующие ядерные реакторы, строят сейчас новые реакторы, а несколько других стран серьезно рассматривают такую возможность. Иран является страной, не имеющей находящихся в эксплуатации станций, но строящей атомную станцию. Помимо упомянутых выше стран, несколько развивающихся стран, таких, как Индонезия, Египет, Иордания и Вьетнам, заявили о возможности создания АЭС и сделали первые шаги в этом направ-

лении. Однако даже если сегодняшние ожидания роста сбудутся, наибольший прирост в ближайшие несколько десятилетий будет происходить в регионах, где уже функционируют ядерные программы.

### Замкнуть цикл

Всякий раз, когда обсуждаются проблемы производства электроэнергии на АЭС, возникает вопрос отработавшего топлива. В то время как Франция, Китай, Индия, Япония и Российская Федерация перерабатывают (или хранят для переработки в будущем) большую часть своего отработавшего топлива, Канада, Финляндия, Швеция и США выбрали вариант прямого захоронения. Тем временем большинство стран еще не сделало выбора в отношении приемлемой стратегии. Они хранят отработавшее топливо и стремятся быть в курсе событий, связанных с обеими альтернативами.

Однако имеется ряд инициатив по снижению долгосрочной радиационной нагрузки, создаваемой радиоактивными отходами высокой активности. В феврале 2006 года США выступили с инициативой Глобального партнерства в области ядерной энергии (ГПЯЭ), включающей разработку усовершенствованных технологий рециклирования. Тем временем Франция осуществляет стратегию по трем направлениям: разделение и трансмутация с целью уменьшения долгосрочной радиационной нагрузки; создание геологических хранилищ с возможностью и без возможности извлечения отходов; и кондиционирование и долгосрочное хранение. Другие страны проводят исследования в поисках путей уменьшения количеств высокоактивных отходов.

### Заключение

По сравнению с альтернативными электростанциями на ископаемом топливе атомные станции дорогостоящи в строительстве, но дешевы в эксплуатации. Это делает ядерный вариант привлекательным для некоторых инвесторов в определенных ситуациях, но не тем источником энергии, который выберут все.

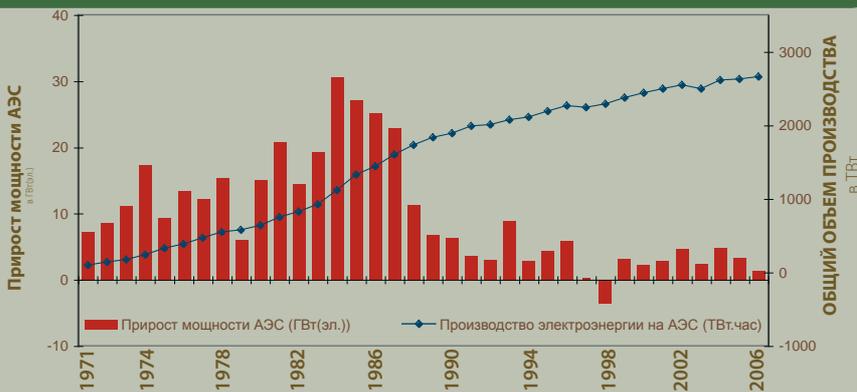
В целом ядерная энергетика более привлекательна в тех случаях, когда энергетический спрос быстро растет, как, например, в Китае и Индии; когда альтернативных вариантов мало или они дорогостоящи, как, например, в Японии и Южной Корее; когда надежность энергоснабжения является приоритетом, как, например, вновь в Японии и Корее и, возможно, в будущем в Европе; когда приоритет отдается уменьшению загрязнения воздушной среды и выбросов ПГ; когда финансирование может быть долгосрочным и когда невелик финансовый риск.

Подводя итоги, можно сказать, что реализация растущих ожиданий в отношении ядерной энергетики будет зависеть от реальных экономических условий.

Алан Макдоналд – старший аналитик Департамента ядерной энергии МАГАТЭ.  
Эл. почта: A.McDonald@iaea.org

### Рост мощности АЭС и производства электроэнергии на АЭС

1971-2006 годы



Производство электроэнергии на АЭС увеличивалось быстрее, чем росла суммарная мощность станций.

Источник: МАГАТЭ