

# Ядерная энергетика

*насколько она конкурентоспособна в конечном счете?*

Фатих Бироль

*По данным последнего мирового энергетического обзора, в будущем структура энергетики станет комплексной.*

С энергетикой связаны угрозы двоякого характера: это дефицит надежных поставок энергии по доступным ценам и экологический ущерб, сопровождающий ее использование. Стремительно взлетающие цены на энергию и недавние геополитические события напомнили нам о важнейшей роли, которую играет энергия в экономическом росте и развитии человека, и о высокой чувствительности мировой энергетической системы к нарушениям энергоснабжения.

Обеспечение гарантированного энергоснабжения в очередной раз стало главным вопросом повестки дня международной политики. И все же современная структура энергоснабжения таит угрозу серьезного и необратимого ущерба окружающей среде. Поддержание баланса между целями обеспечения энергетической безопасности и охраны окружающей среды требует решительных и координированных действий правительств и общественной поддержки.

Эти проблемы привели к оживлению дискуссий относительно роли ядерной энергетике. За последние два года рядом правительств были сделаны заявления в поддержку повышения роли ядерной энергетике в будущей структуре энергетике, а некоторые предприняли конкретные шаги в направлении строительства нового поколения безопасных и эффективных с точки зрения затрат реакторов.

В ближайшие два с половиной десятилетия ядерная энергетика наряду с эффективностью использования энергии и возобновляемыми источниками энергии могла бы способствовать устранению обеспокоенности по поводу

чрезмерной зависимости от производства электроэнергии на базе ископаемого топлива и особенно тревоги в связи с изменением климата и увеличивающейся зависимостью от газового импорта:

✓ Ядерная энергетика - это источник электроэнергии с малыми выбросами двуокиси углерода. Замена генерирующей мощности в один гигавайт на базе угля такой же мощностью ядерной энергетике позволяет избежать выбросов в объеме 5,6 млн. тонн CO<sub>2</sub> в год. Атомные электростанции (АЭС) не выбрасывают аэрозольных загрязнителей, таких, как двуокись серы, окислы азота или твердые частицы.

✓ Атомные электростанции способны помочь уменьшить зависимость от импортируемого газа; и, в отличие от газа, урановые ресурсы широко доступны во всем мире. При нынешней политике, к 2030 году во всех регионах ОЭСР (Организации экономического сотрудничества и развития) и в основных развивающихся странах возрастет зависимость от газового импорта, и это увеличение зависимости определяется главным образом энергетическим сектором.

✓ Затраты на производство электроэнергии на АЭС относительно стабильны, поскольку стоимость топлива составляет небольшую долю общих производственных затрат; доля уранового сырья составляет приблизительно 5%, а уранового топлива после обработки - приблизительно 15%. На электростанциях, работающих на газу, расходы на топливо составляют около 75% совокупных производственных затрат.

## Перспективы ядерной энергетики

В *Мировом энергетическом обзоре 2006 года*, флагманской публикации Международного энергетического агентства, рассматриваются два сценария политики:

● **Базовый сценарий** исходит из того, что текущая политика правительств останется в основном неизменной и что они продолжат осуществление текущих программ расширения или постепенного свертывания ядерной энергетики. Предполагается, что плановые цифры выработки электроэнергии на АЭС, если они рассматриваются как нереалистичные, не будут достигнуты. Макроэкономические, технические и финансовые допущения, лежащие в основе плановых цифр многих стран, зачастую отличаются от тех, которые использованы в *Обзоре*.

● **Альтернативный сценарий политики** предполагает, что будут введены дополнительные стратегии борьбы с глобальным потеплением и обеспечения надежности поставок, включая меры по активизации роли ядерной энергетики. Предполагается, что правительства стран, которые уже имеют АЭС, будут оказывать поддержку продлению срока службы существующих реакторов или строительству новых реакторов. Предполагается далее, что во всех странах, осуществляющих политику постепенного свертывания АЭС, реакторы останавливаются позднее, чем запланировано, с целью поддержания на низком уровне выбросов CO<sub>2</sub>, решения проблем гарантированных поставок и отсрочки необходимости в новых инвестициях. В базовом сценарии, изложенном в *Обзоре*, прогнозируется, что мировые мощности ядерной энергетики возрастут с нынешних 368 ГВт до 416 ГВт в 2030 году и до 519 ГВт согласно Альтернативному сценарию политики.

**Базовый сценарий.** В базовом сценарии прогнозируется, что глобальная выработка электроэнергии на АЭС вырастет с 2789 ТВт·ч. в 2005 году до 3304 ТВт·ч. в 2030 году. Это соответствует среднегодовым темпам роста 0,7% в год по сравнению с ростом суммарного производства электроэнергии на 2,5% в год. Установленная мощность увеличится с 368 ГВт до 416 ГВт. Коэффициенты использования мощности АЭС, как предполагают, со временем будут улучшаться, главным образом в странах, в которых они сейчас ниже среднего мирового уровня. В целом средний мировой коэффициент использования мощности возрастет с 85% в 2005 году до 91% в 2030 году.

Наиболее значительный рост установленных мощностей прогнозируется в Индии, Китае, Республике Коре, России, Соединенных Штатах и Японии. Мощность АЭС в европейских странах ОЭСР снизится со 131 ГВт до 74 ГВт. Свертывание ядерной энергетики в Германии, Швеции и Бельгии приведет к сокращению мощностей АЭС на 35 ГВт. Все АЭС в этих трех странах, как предполагается, будут закрыты до 2030 года.

Доля ядерной энергетики в мировом производстве электроэнергии упадет с 15% до 10%. Самое значительное снижение доли ядерной энергетики произойдет в европейских странах ОЭСР, в которых она снизится с 29% в 2005 году до 12% в 2030 году.

**Альтернативный сценарий политики.** В альтернативном сценарии политики глобальная выработка электроэнергии на АЭС достигнет 4106 ТВт·ч в 2030 году и будет возрастать в среднем на 1,6% в год. Доля ядерной энергетики в суммарном мировом производстве электроэнергии немного снизится по сравнению с нынешним уровнем, составляющим 15%, и в прогнозируемый период будет колебаться у отметки

приблизительно 14%. Установленная мощность АЭС достигнет в 2030 году 519 ГВт. Наибольшее различие между этими двумя сценариями возникает после 2020 года вследствие продолжительных периодов освоения для АЭС.

Установленная мощность увеличится во всех основных регионах, кроме европейских стран ОЭСР, где масштабы прогнозируемого нового строительства не смогут компенсировать последствий закрытия станций. Для изменения этой картины на конкурентных рынках в Европе, вероятно, потребуются мощные рыночные сигналы, являющиеся результатом долгосрочных обязательств по сокращению выбросов CO<sub>2</sub>. По состоянию на середину 2006 года не имелось четких плановых цифр снижения выбросов CO<sub>2</sub> на период после 2012 года. Политика постепенного свертывания мощностей, как предполагается, сохранится, но вывод из эксплуатации будет отсрочен на сроки примерно до десяти лет. В этом случае в Германии к 2030 году останется один реактор, в то время как в Бельгии и Швеции в 2030 году реакторы все еще будут эксплуатироваться. В Соединенном Королевстве все реакторы, кроме одного, будут выведены из эксплуатации без замены.

Наиболее значительный рост установленных мощностей АЭС прогнозируется в Китае, Соединенных Штатах, Японии,

*Наиболее значительный рост установленных мощностей АЭС прогнозируется в Китае, Соединенных Штатах, Японии, Республике Коре, Индии и России. На их долю будет приходиться две трети мировых мощностей АЭС в 2030 году.*

Республике Коре, Индии и России. Суммарная мощность АЭС в этих шести странах по прогнозам составит в 2030 году две трети мировых мощностей АЭС, по сравнению с нынешним уровнем, составляющим чуть больше половины. Коэффициенты использования мощности АЭС - такие же, как в базовом сценарии.

Наибольшее увеличение доли ядерной энергетики в производстве электроэнергии, как ожидается, произойдет в тихоокеанских странах ОЭСР, где она достигнет 41% в 2030 году, в отличие от современных 25%. В североамериканских странах ОЭСР доля ядерной энергетики сохранится на нынешнем уровне. В европейских странах ОЭСР доля ядерной энергетики к 2030 году упадет до 20%. Это выше, чем в базовом сценарии, но все же ниже современного уровня, составляющего 29%. В странах с переходной экономикой доля ядерной энергетики увеличится с 17% до 23%. В Китае и Индии эта доля в 2030 году достигнет 6% и 9%, в сравнении с нынешним уровнем соответственно 2% и 3%.

# Мировые мощности АЭС

компаниями или сторонними коммерсантами, они будут стремиться к различным уровням рентабельности. Ниже проанализированы два варианта:

✓ Вариант низкой ставки дисконтирования, соответствующий условиям инвестирования с умеренным риском, когда риски, связанные со строительством и эксплуатацией, делятся между покупателем станции, поставщиком станции, внешними инвесторами и пользователями электроэнергии посредством таких договоренностей, как долгосрочные соглашения о закупках энергии.

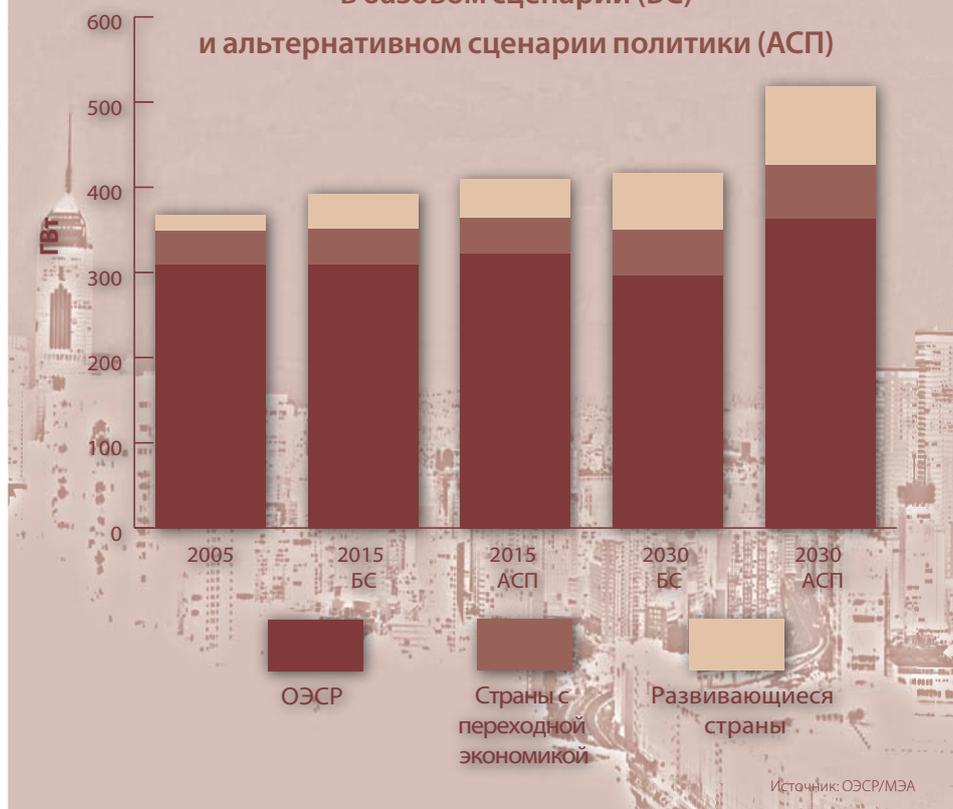
✓ Вариант высокой ставки дисконтирования, представляющий собой более рискованную инвестиционную основу, в условиях которой покупатель станции и финансовые инвесторы и кредиторы несут более высокую долю рисков, связанных со строительством и эксплуатацией.

В *Обзоре* сравниваются затраты на производство электроэнергии на АЭС с основными альтернативами в режиме базисной нагрузки для варианта низкой ставки дисконтирования. Если исходить из предположения о высокой стоимости строительства (2500 долл./кВт), то ядерная энергетика конкурентоспособна со станциями ГТКЦ при ценах на газ около 6 долл./МБТЕ (которые близки к средней цене ОЭСР в 2005 году и находятся в пределах принятого диапазона цен порядка 6-7 долл./МБТЕ в течение всего прогнозируемого периода), но оказывается более дорогостоящей, чем станции на угле при его цене 55 долл. за тонну. Если исходить из предположения о более низкой стоимости строительства (2000 долл./кВт), то АЭС оказываются конкурентоспособными со станциями, работающими на угле. (См. диаграмму «Затраты на производство электроэнергии».)

В *Обзоре* рассмотрены также затраты на производство электроэнергии для варианта, предполагающего высокие ставки дисконтирования. Затраты на производство электроэнергии на АЭС для случаев высокой и низкой сметной стоимости строительства составляют 5,7 и 4,9 цента/кВт-ч. При варианте высоких ставок дисконтирования, такие капиталоемкие технологии, как ядерная и ветровая энергетика, оказываются не конкурентоспособными со станциями ГТКЦ или станциями, работающими на угле. В этом случае затраты на производство электроэнергии на АЭС составляют от 6,8 до 8,1 цента/кВт-ч. (См. диаграмму «Затраты на производство электроэнергии».)

Величины параметров, использованные в представленных выше оценках затрат, во многих отношениях неопределенны. Наиболее важными факторами, влияющими на конкурентоспособность ядерной энергетике, являются капитальные затраты, ставка дисконтирования и экономический срок эксплуатации станции. Повышение цен на газ и уголь или введение стоимости углерода улучшает конкурентоспособную позицию ядерной энергетике в сравнении с альтернативными технологиями. Затраты также зависят от местонахождения и масштабов установок.

## в базовом сценарии (БС) и альтернативном сценарии политики (АСП)



## Экономика ядерной энергетике на конкурентных рынках

Каковы экономические предпосылки строительства новых АЭС в сравнении с конкурирующими зрелыми технологиями: газотурбинными станциями комбинированного парогазового цикла (ГТКЦ), паротурбинными станциями на угле, станциями комбинированного цикла с интегрированной газификацией (КЦИГ) и береговыми ветротурбинными установками?

Предполагаемые затраты базируются на ожиданиях на период ближайших десяти-пятнадцати лет. Стоимость строительства электростанций КЦИГ и ветровых электростанций ниже, чем сегодня, примерно на 10-15%. Предполагается, что цены на природный газ в период до 2030 года составят порядка 6-7 долл./МБТЕ. Цена угля соответствует международной рыночной цене угля, импортированного в ОЭСР (55 долл. за тонну в 2015 году и 60 долл. за тонну в 2030 году), но некоторые страны, включая Соединенные Штаты и Канаду, имеют доступ к более дешевому местному углю, что повышает конкурентоспособность производства электроэнергии на базе угля. Для АЭС использовался диапазон затрат на строительство, отражающий неопределенность оценок затрат для реакторов, которые будут введены в промышленную эксплуатацию в 2015 году. Эти затраты на строительство характерны для ядерных реакторов, сооружаемых на существующих площадках. Проекты строительства на новых площадках, вероятно, будут более дорогостоящими. Большинство новых реакторов в странах ОЭСР, вероятно, будет сооружено на существующих площадках, по крайней мере в ближайшие десять-пятнадцать лет.

В зависимости от степени рисков для инвесторов в электростанции, будь то акционеры эксплуатирующей

Стоимость топлива составляет лишь небольшую часть затрат на производство электроэнергии на АЭС. Повышение цен на уран, газ и уголь (по сравнению с ценами в базовых допущениях) на 50% приведет к увеличению стоимости производства электроэнергии на АЭС примерно на 3%, стоимости производства на станциях, работающих на угле – на 21% и стоимости производства на станциях ГТКЦ – на 38%, что демонстрирует большую устойчивость производства электроэнергии на АЭС к влиянию рисков, связанных с ценами на топливо.

Каково будет влияние цен углерода на затраты по производству электроэнергии на атомных, угольных и газовых электростанциях в случае варианта с низкими ставками дисконтирования? Цена приблизительно 10 долл. за тонну CO<sub>2</sub> делает АЭС конкурентоспособными со станциями, работающими на угле, даже в условиях предположения о более высокой стоимости строительства. Эта низкая цена углерода означает, что ядерная энергетика является экономически эффективным вариантом смягчения последствий. Средняя цена углерода в схеме торговли выбросами ЕС зачастую оказывалась намного более высокой. Средняя цена CO<sub>2</sub> в 2005 году составляла 18,3 евро (приблизительно 23 долл.) за тонну, и в 2006 году до конца апреля, когда цены упали, она возросла до 22,9 евро (33 долл.). С момента падения цен в апреле 2006 года до конца августа 2006 года цены CO<sub>2</sub> составляли в среднем 15,5 евро (19 долл.). В варианте высоких ставок дисконтирования, для того, чтобы сделать АЭС конкурентоспособными со станциями на угле, цена углерода должна составлять около 10–25 долл. соответственно для случаев низких и более высоких предполагаемых капитальных затрат, и от 15 до 50 долл. для обеспечения конкурентоспособности с газовыми станциями. (См. диаграмму «Влияние цены CO<sub>2</sub> на стоимость производства электроэнергии».)

Ядерная энергетика намного более капиталоемка, чем альтернативные технологии базисного режима нагрузки, использующие ископаемое топливо, такие, как ГТКЦ станции и станции, работающие на угле. Из трех основных компонентов затрат на производство электроэнергии на АЭС – капитальных затрат, стоимости топлива и затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание – на долю компонента капитальных затрат приходится приблизительно три четверти всего объема затрат. В случае ГТКЦ станций он составляет только около 20% всего объема затрат. Атомные электростанции требуют начальных инвестиций от 2 до 3,5 млрд. долл. на реактор. Финансирование крупных авансовых капиталовложений может оказаться более трудным.

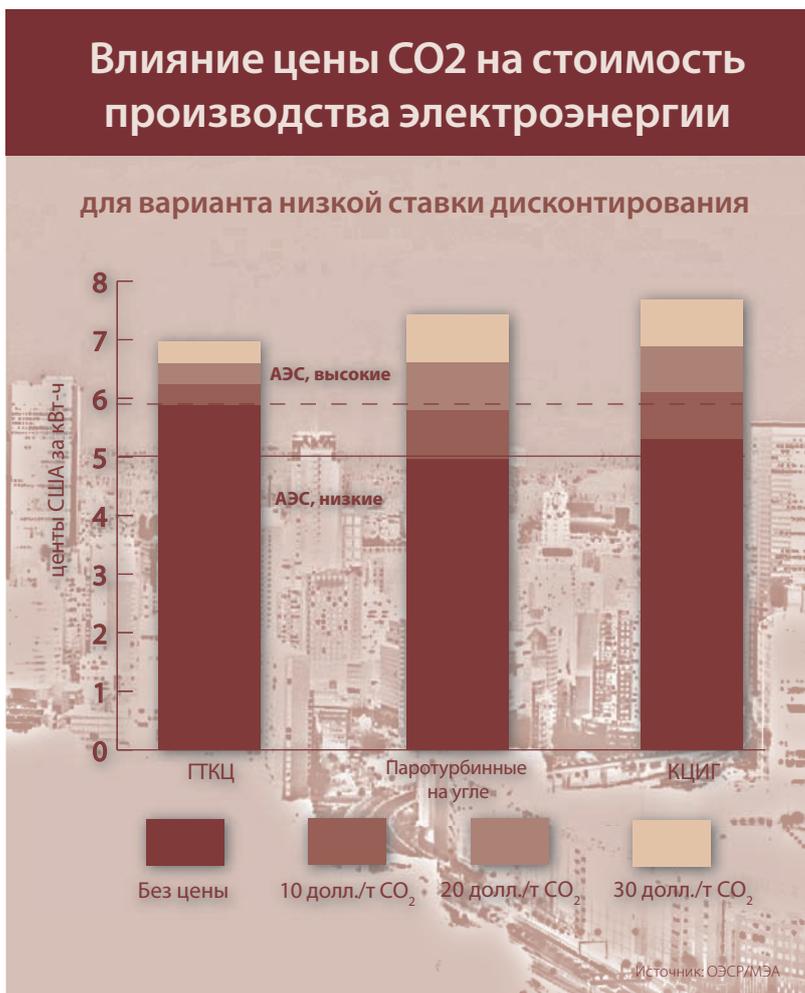
Атомные электростанции характеризуются продолжительными периодами освоения, как на этапе планирования и лицензирования. Так и на этапе строительства. Страны, располагающие комплексной инфраструктурой, могут исходить из суммарной продолжительности периода освоения, от принятия политического решения и до промышленной эксплуатации, порядка 7 - 15 лет. Сроки строительства АЭС намного больше соответствующих сроков в случае станций ГТКЦ (обычно два - три года), ветровых электростанций (от одного до двух лет) и, в меньшей степени, электростанций, работающих на угле (четыре года).

В ряде стран, особенно в Соединенных Штатах и Соединенном Королевстве, сроки строительства АЭС были большими. В Японии сроки строительства АЭС составляли менее четырех лет.

В Китае и Республике Корея некоторые АЭС были построены с опережением графика.

Затраты на ядерное топливо состоят из затрат начальной стадии и затрат конечной стадии. Затраты начальной стадии представляют собой затраты на уран (приблизительно 25% суммарной стоимости топлива), на его конверсию (5%), обогащение в легководных реакторах (30%) и изготовление топливных сборок (15%). Затраты конечной стадии (примерно 25% суммарной стоимости топлива) включают затраты на прямое захоронение или переработку с последующим рециклированием делящегося материала для повторного использования. Затраты на прямое захоронение, которые несут в настоящее время энергопредприятия, состоят из стоимости хранения на площадке плюс затрат на обеспечение окончательного захоронения отходов, предусматриваемых в некоторых странах. Эти затраты составляют лишь небольшую процентную часть суммарной стоимости производства электроэнергии.

Затраты на снятие с эксплуатации для существующих станций составляют 200-500 долл./кВт (в долларах 2001 года) для западных PWR (реакторов с водой под давлением), 330 долл. для российских ВВЭР, 300-550 долл. для BWR (кипящих реакторов), 270-430 долл. для канадских реакторов CANDU и достигают 2600 долл. для некоторых газоохлаждаемых магноксидных реакторов в Соединенном Королевстве. Затраты на снятие с эксплуатации для станций, сооружаемых сегодня, по оценкам достигают 9-15% начальных капитальных затрат, но с учетом дисконтирования они составляют лишь небольшую процентную долю капитальных затрат. В целом же на затраты по снятию с эксплуатации приходится небольшая часть суммарных затрат на производство электроэнергии. В Соединенных Штатах энергетические компании делают



наценку от 0,1 до 0,2 цента/кВт с целью обеспечить финансирование снятия с эксплуатации.

## Политические последствия

Представленный выше анализ показывает, что новые АЭС могут обеспечивать производство электроэнергии по конкурентоспособным ценам — если цены на газ и уголь достаточно высоки и если поставщик станции, компания-оператор и/или регулирующие органы (в случаях сохраняющегося регулирования рынков) правильно подходят к строительству АЭС и управлению эксплуатационными рисками, что позволяет сохранять на достаточно низком уровне

капитальные затраты или ставку дисконтирования. Стоимость производства электроэнергии на АЭС лежит в диапазоне 4,9-5,7 центов/кВт-ч для случая более низкой ставки дисконтирования, что делает ядерную энергетику потенциально эффективным с точки зрения затрат вариантом снижения выбросов CO<sub>2</sub>, обеспечивающим диверсификацию структуры энергетики и уменьшение зависимости от импортируемого газа.

Экономика – это только один из факторов. Для содействия ядерным инвестициям должны быть также решены многие другие вопросы. Ключевым фактором является характер процесса регулирования, приводящего к получению лицензии на строительство и эксплуатацию АЭС. Необходимо свести к минимуму неопределенность и затраты в связи с процессом выбора площадки и лицензирования. Ряд стран, обсуждающих сейчас роль ядерной энергетики, давно уже не строили ни одной АЭС. Правительство США предприняло шаги по пересмотру и упрощению процесса регулирования. Оно также вводит экономические факторы, стимулирующие строительство новых электростанций. В Энергетическом обзоре Соединенного Королевства правительство этой страны заявило о своем намерении упростить процесс регулирования и планирования.

Вопросы безопасности, захоронения ядерных отходов и риска распространения весьма актуальны в плане общественного признания и должны решаться убедительным образом. На либерализованных рынках расходы по снятию с эксплуатации и обращению с отходами в случае строительства новых АЭС будут нести частные инвесторы, и для управления этими расходами им необходимо будет иметь возможность оценивать установленный порядок. Здесь может помочь международное сотрудничество (например, совместное управление потенциалом и инфраструктурой по захоронению отходов). Опасения по поводу распространения, являющегося результатом гражданской ядерной деятельности, могут быть уменьшены только путем полного участия в международных конвенциях об использовании ядерной энергии и продемонстрированного их соблюдения.

В тех случаях, когда правительства исполнены решимости повысить энергетическую безопасность, сократить выбросы углерода и снизить чрезмерное давление на цены на ископаемое топливо, они могут выбрать активную роль в деле устранения препятствий на пути ядерной энергетики, содействия крупным начальным инвестициям, требуемым для АЭС — от 2 до 3,5 млрд. долл. на каждый энергоблок - и в прокладывании пути к созданию нового поколения реакторов. Эти цели стали более явными в последние годы, и экономика изменилась благоприятным для ядерной энергетики образом. Однако до настоящего времени конкретных мер было немного.

*Фатих Бироль - ведущий экономист в Международном энергетическом агентстве Организации экономического сотрудничества и развития (www.iea.org) в Париже, Франция.*

Эл. почта: weo@iea.org

Информацию о Мировом энергетическом обзоре 2006 года см. в Интернете по адресу: [www.worldenergyoutlook.org](http://www.worldenergyoutlook.org)

