

# СОЗДАНИЕ МОЩНОСТЕЙ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭНЕРГИИ РАСШИРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БАЗЫ

БРЮС ГАМИЛЬТОН, ГЮНТЕР КОНЦЕЛЬМАНН И ДУЙ ТХАНЬ БУИ

**А**нализ национальных энергетических систем достигает беспрецедентной степени сложности. В дополнение к неопределенности будущего спроса на энергию, функционирования и стоимости техники планирующие и принимающие решения органы сталкиваются с такими проблемами, как охрана окружающей среды, устойчивое развитие, дерегулирование и либерализация рынка. В то же время средства государственного сектора, предназначенные для инвестиций в энергетические проекты, все более сокращаются.

МАГАТЭ предлагает своим государствам-членам всеобъемлющую программу технической помощи и сотрудничества, охватывающую многочисленные разнообразные области мирного применения ядерной энергии. Цель оказания помощи в области сравнительной оценки энергии состоит в укреплении национальных потенциалов для разработки моделей устойчивого энергоснабжения и использования энергии. Такая помощь оказывается тремя путями, а именно:

- распространением современных методологий и инструментов принятия решений, приспособленных к конкретным потребностям развивающихся стран;

- обеспечением профессиональной подготовки по применению моделей, интерпретации результатов и использованию их в процессе принятия решений или разработки политики; и

- проведением национальных исследований в сотрудничестве с государствами-членами, запрашивающими помощь.



Credit: Russell Illig/PhotoDisc

*Г-н Гамильтон и г-н Буи — сотрудники Секции планирования и экономических исследований Департамента ядерной энергии МАГАТЭ. Г-н Концельманн — руководитель Секции национальных и международных исследований, Аргоннская национальная лаборатория, США.*

*Фото: МАГАТЭ оказывает помощь многим странам, планирующим расширение систем производства электроэнергии.*

## МЕТОДОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТЫ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИКИ

МАГАТЭ уже в течение длительного времени предоставляет данные, информацию и аналитические инструменты, пригодные для принятия основанных на информации решений, касающихся наилучшего способа удовлетворения энергетических потребностей какой-либо страны.

**Планирование с наименьшими издержками в 70-е и 80-е гг.** В начале 70-х гг. МАГАТЭ приступило к оказанию поддержки в разработке и применении инструментов анализа электрических систем, используемых государствами-членами при изучении потенциальной роли ядерной энергии. Поскольку прогнозируемый спрос на электричество является важным фактором при определении потребностей в ядерной энергии, предпринимавшиеся на начальном этапе шаги включали разработку модели для анализа энергетического спроса (МАЭС). Она используется развивающимися странами при подготовке прогнозов спроса на электричество, отвечающих целям и возможностям их национального экономического и промышленного развития.

МАГАТЭ разработало МАЭС в сотрудничестве с Институтом экономических и правовых аспектов энергетики (ИЭПА, Гренобль, Франция) и Международным институтом прикладного системного анализа (МИПСА, Лаксенбург, Австрия). Данная модель обеспечивает гибкие рамки моделирования при исследовании влияния социальных, экономических, технологических и политических изменений на долгосрочную перспективу развития энергетического спроса. Особое внимание уделяется прогнозированию спроса на электричество не только с точки зрения общих годовых потребностей, но также и с учетом почасового распределения спроса в течение года. Результаты таких прогнозов являются существенным вкладом в анализ расширения любой энергетической системы.

Венский автоматизированный пакет планирования (ВАПП) предназначен для того, чтобы определять экономически оптимальное долгосрочное расширение системы выработки электричества. ВАПП был разработан для МАГАТЭ в 1972 г. Управлением ресурсами бассейна Теннесси (США) и с тех пор остается наиболее популярным и долгоживущим инструментом МАГАТЭ для планирования в электрическом секторе.

Важно отметить, что ВАПП разрабатывался в то время, когда большинство стран рассматривало электричество в качестве стратегического товара. Они создали единую вертикально интегрированную национальную энергосистему общего пользования, ответственную за выработку, передачу и распределение электричества. Подобный тип структуры электросистемы позволяет сравнительно просто проводить непосредственный анализ ее работы и расширения. Распределение нагрузки по энергоблокам может быть смодулировано на основе наименьших переменных издержек; требования к надежности системы могут быть включены в качестве ограничений; планирование расширения может осуществляться на основе общесистемной наименьшей текущей дисконтированной стоимости, а роль ядерной энергии и других вариантов производства энергии может определяться на основе их сравнительной стоимости за срок службы.

**Анализ финансового состояния, оценка нагрузок на окружающую среду и интегрированный анализ энергетических систем в 90-е гг.** Привлечение инвестиций для создания мощностей по выработке электроэнергии в условиях все более либерализованных рынков в области электричества и финансов может существенным образом отличаться от инвестиционных стратегий государственных электроэнергетических компаний, обладающих монополией. В целях оказания помощи в удовлетворении постоянно возникающих

потребностей планирующих и принимающих решения органов в области энергетики МАГАТЭ вместе с сотрудниками банка "Лионский кредит" (Париж, Франция) и Комиссии по атомной энергии Пакистана (КАЭП, Исламабад, Пакистан) разработало программное обеспечение для анализа финансового состояния, именуемое ФИНПЛАН (FINPLAN).

ФИНПЛАН используется для оценки финансовых последствий программы расширения энергетических мощностей на основе установленных "коэффициентов", которые принимаются в расчет финансовыми учреждениями при определении ими надежности инвестиционного проекта или программы. ФИНПЛАН помогает также определять продажную цену на электричество, которая позволит обеспечить окупаемость инвестиций. Разработанные с помощью данной модели прогнозы учитывают чувствительность цен к обменным курсам, колебаниям в спросе и предполагаемым уровням инфляции как национальной, так и иностранных валют. Модель также содержит упрощенные элементы налогообложения, которые включают расчет доходов, учитывающий вычеты из ставки процента, известные в прошлом убытки, возможное амортизационное списание и пропорциональные налоговые ставки.

Разработка набора компьютерных инструментов для энергетического и экологического анализа была начата в 1993 г. в рамках совместной межучрежденческой Программы МАГАТЭ по базам данных и методологиям для сравнительной оценки различных энергетических источников, используемых для производства электроэнергии (DECADES). Данные инструменты включают базы данных и аналитическое программное обеспечение, которые могут применяться для оценки компромиссов между техническими, экономическими и экологическими аспектами различных технологий, цепочек и систем выработки электричества.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА: АНАЛИЗ БУДУЩЕГО ЭНЕРГЕТИКИ ВО ВЬЕТНАМЕ

В рамках проекта по техническому сотрудничеству МАГАТЭ, начатого в 1997 г., национальная рабочая группа во Вьетнаме использовала ряд компьютерных инструментов для анализа развития энергетики страны. Группа применила Пакет программ энергетических оценок (ENPER) для прогнозирования спроса на энергию и электричество (с использованием Модели для анализа энергетического спроса, или МАЭС), для определения оптимального долгосрочного расширения системы выработки электричества (с использованием Венского автоматизированного пакета планирования, или ВАПП) и для оценки экологических нагрузок на окружающую среду, связанных с производством энергии (с использованием модуля ENPER, называемого IMPACTS).

Экономика Вьетнама быстрыми темпами преобразуется из сельскохозяйственной в промышленную, и страна достигла за последние несколько лет существенного экономического роста, который, как ожидают, будет продолжаться до 2020 г. Предполагается, что в сочетании с ускоренной урбанизацией, повышением жизненного уровня и растущими потребительскими расходами спрос на электричество будет быстро расти. Специалисты из национального электрического сектора рассчитали, что годовая пиковая нагрузка объединенной системы возрастет с 2,75 ГВт (эл.) в 1995 г. до 24,32 ГВт (эл.) к 2020 г. Предполагаемые средние годовые темпы роста составляют 9,1% с более высокими показателями (до 11,5%) в начале исследуемого периода и с более низкими показателями (до 6,7%) в конце его. Такое положение обусловлено в основном быстрым ростом спроса на электричество в промышленности, сфере услуг и городских домохозяйствах.

Результаты изучения расширения системы энергопроизводства показывают, что, в соответствии с базовым сценарием, большая часть потребностей страны в электричестве будет удовлетворяться за счет гидроэнергии и природного газа. Однако, по прогнозам, доля гидроэнергии, нефти и угля существенно снизится в период 1995–2020 гг. за счет использования природного газа и ядерной энергии. Доля гидроэнергии сократится с примерно 70 до 52% общей установленной мощности. Мощности станций, работающих на мазуте, сократятся примерно с 9 до 2%, а угольных — с 16 до 9%. С другой стороны, доля оснащенных парогазовыми турбинами электростанций, работающих на природном газе, возрастет, в соответствии с прогнозами, с 5 до 29%. Такой значительный рост будет достигнут на базе природного газа, разведанные запасы которого в стране составляют, по имеющимся оценкам, 6 триллионов кубических футов (Ткф), а вероятные достигают 10 Ткф. Первый атомный блок будет введен в строй предположительно в 2017 г., общая мощность АЭС, около 2500 МВт (эл.), будет достигнута к 2020 г., что составит 7,7% общей установленной вырабатываемой электричество мощности.

Национальная рабочая группа провела также оценку будущих выбросов парниковых газов в процессе производства электричества посредством перевода оптимальной конфигурации расширения электрической сети из ВАПП в модуль ENPER по окружающей среде (IMPACTS). Данный модуль осуществляет расчет выбросов загрязнителей в атмосферу на основе прогнозируемого с помощью ВАПП потребления топлива и стандартных показателей выбросов, содержащихся в одной из его баз данных. Полученные результаты показывают резкое увеличение выбросов CO<sub>2</sub>, связан-

ных с производством электричества. Выбросы от угольных электростанций будут расти до 2007 г., поскольку производство энергии с использованием угля будет первоначально расширяться.

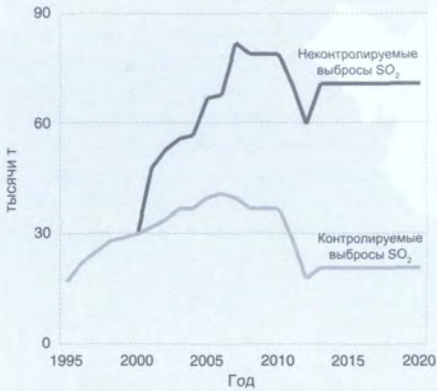
Такая тенденция претерпит заметное изменение во второй половине исследуемого периода, когда будут сняты с эксплуатации действующие в настоящее время угольные электростанции и, как ожидается, будет осуществлено значительное количество гидропроектов, а также введены в строй парогазовые установки, работающие на природном газе, наряду с пуском атомной электростанции в 2017 г. К 2020 г. доля природного газа в выбросах CO<sub>2</sub> в электрическом секторе Вьетнама составит 61%.

Отмечаются заметные различия в прогнозируемых выбросах на юге и севере страны. Угольные электростанции расположены главным образом на севере, где находятся основные запасы угля, что и объясняет концентрацию выбросов SO<sub>2</sub> в северной части Вьетнама (83% в 2020 г.). Снятие с эксплуатации и замена устаревших и неэффективных угольных установок после 2007 г. повлечет за собой существенное снижение выбросов SO<sub>2</sub> на севере страны во второй половине прогнозируемого периода. С другой стороны, запасы нефти и газа находятся в южной части Вьетнама (в основном в открытом море). Они обеспечивают значительный рост производства электричества на основе сжигания газа. Такая ситуация объясняет прогнозируемые выбросы CO<sub>2</sub> (около 62%) и выбросы NO<sub>x</sub> (70%) к 2020 г. на юге страны.

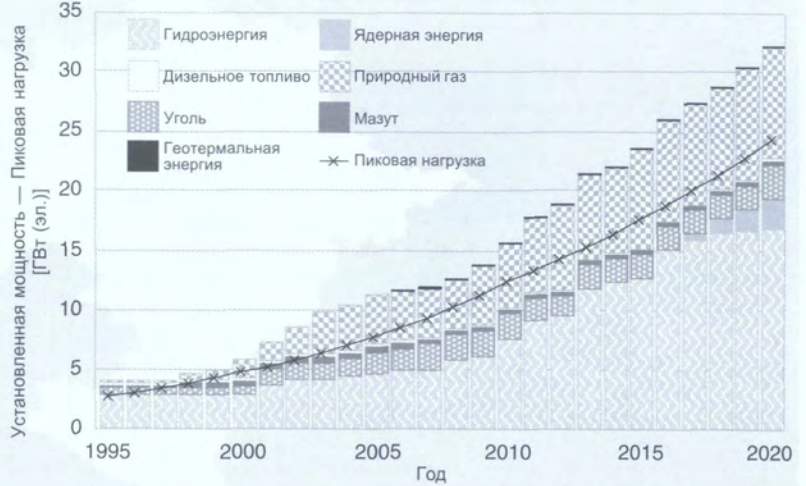
Национальная рабочая группа провела также анализ последствий соблюдения действующих во Вьетнаме регулирующих положений в области загрязнения атмосферы применительно к ограничению выбросов макрочастиц (МЧ) и двуокиси серы. В отношении контроля МЧ группа рассмотрела использование электростатических осадителей, степень очистки которых достигает 97% для действующих агрегатов и 99% для новых установок. В отношении обеспечения предельного уровня выбросов SO<sub>2</sub> для новых электростанций, работающих на угле, национальные эксперты рассмотрели метод десульфуризации сухого топочного газа, обеспечивающий 70-процентную эффективность очистки для новых электростанций, работающих на отечественном антраците с низким содержанием серы (т. е. 0,52%), и 90-процентную эффективность для новых угольных электростанций, работающих на импортном битуминозном угле со средним содержанием серы 1,62%. После этого был использован модуль IMPACTS для оценки в рамках всей системы издержек, связанных с осуществлением регулирующих положений в области охраны атмосферы от загрязнения.

Одним из центральных объектов анализа стали прогнозируемые последствия соблюдения ограничений на выбросы SO<sub>2</sub> в северной части Вьетнама. Результаты показали, что к концу исследуемого периода такие выбросы сократятся с 71 000 до 21 300 тонн. В результате применения технологий по уменьшению загрязнения в масштабе всей страны в течение исследуемого периода в целом будут предотвращены выбросы 850 000 тонн SO<sub>2</sub>. Эти сокращения оцениваются по общей приведенной стоимости на сумму 180,4 млн. долл. США (при учетной ставке 10%), или примерно 210 долл. США за одну тонну удержанного SO<sub>2</sub>. Общая приведенная стоимость соблюдения норм по охране окружающей среды, как по макрочастицам, так и по SO<sub>2</sub>, составляет, по оценкам, 282 млн. долл. США.

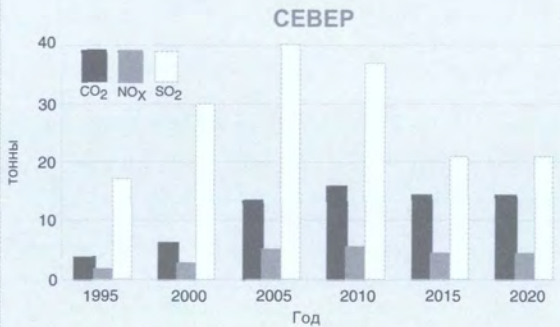
### КОНТРОЛИРУЕМЫЕ И НЕКОНТРОЛИРУЕМЫЕ ВЫБРОСЫ SO<sub>2</sub> В СЕВЕРНОМ ВЬЕТНАМЕ



### РАСШИРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВО ВЬЕТНАМЕ (БАЗОВЫЙ СЦЕНАРИЙ)

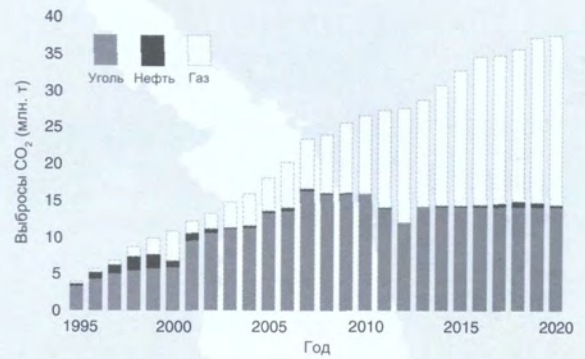


### ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВО ВЬЕТНАМЕ

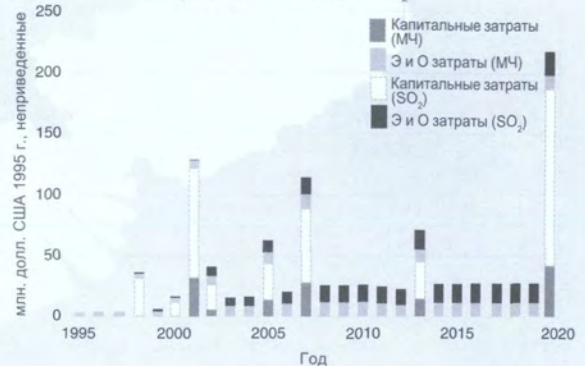


CO<sub>2</sub> × 10<sup>6</sup> т  
NO<sub>x</sub> × 10<sup>3</sup> т  
SO<sub>2</sub> × 10<sup>3</sup> т

### ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ВЫБРОСЫ CO<sub>2</sub> ОТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ВО ВЬЕТНАМЕ



### ПРОГНОЗИРУЕМАЯ СТОИМОСТЬ СОБЛЮДЕНИЯ НОРМ ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВО ВЬЕТНАМЕ (МАКРОЧАСТИЦЫ И SO<sub>2</sub>)



Были разработаны два типа баз технологических данных для обеспечения всеобъемлющей достоверной современной информации по энергетическим цепочкам для производства электричества. Справочная база технологических данных содержит технические, экономические и экологические данные по типовым установкам, охватывающие энергетические цепочки, использующие ископаемое топливо, ядерную энергию и возобновляемые источники энергии для производства электричества. Базы данных по конкретным странам содержат специфические для каждой страны или региона данные в целях проведения конкретных исследований с использованием аналитического программного обеспечения DECADES.

Пакет программ энергетических оценок (ENPEP) был разработан в Аргоннской национальной лаборатории (АНЛ) в США и позже передан МАГАТЭ для распространения среди государств-членов. Программа ENPEP содержит набор аналитических инструментов для комплексного планирования энергетической/электрической системы и количественного определения экологических нагрузок. Один из ее модулей, называемый БАЛАНС (BALANCE), применяется для прослеживания потока энергии через всю энергетическую систему от добычи ресурсов через их обработку и конверсию в целях удовлетворения спроса на полезную энергию (например, отопление, транспорт, электроприборы) с использованием рыночного подхода к моделированию будущего соотношения между предложением энергии и спросом на нее. Результаты такого анализа направляются затем в другой модуль, называемый IMPACTS, для расчета экологических нагрузок на окружающую среду (например, загрязнение атмосферы, производство твердых отходов, землепользование, загрязнение водной среды), связанных с различными сценариями развития энергетического сектора.

Новейшая версия данного пакета, предназначенная для использования на персональном компьютере, обеспечивает значительно улучшенный графический интерфейс пользователя для просмотра и модификации репрезентативной энергетической сети на экране компьютера. Она характеризуется также более совершенными возможностями для оценки смягчения воздействия парниковых газов.

**Удовлетворение возникающих потребностей в 2000 г. и далее.** Для удовлетворения меняющихся потребностей государств — членов МАГАТЭ требуются постоянные усилия, в частности чтобы решать такие важные вопросы, как разработка стратегий устойчивого развития энергетики в контексте Повестки дня на XXI век, дерегулирование рынка и приватизация.

В 2000 г. Агентство завершит разработку упрощенной методологии (B-Glad) для оценки и определения величины издержек по охране окружающей среды, связанных с производством электричества. Эта программа, предназначенная для использования в развивающихся странах, которые не располагают подробными данными и не в состоянии проводить дорогостоящие анализы, реализуется на персональном компьютере и требует минимального объема исходных данных. В то время как другие энергетические модели МАГАТЭ рассчитаны на оценку уровня экологических нагрузок на окружающую среду, связанных с различными энергетическими вариантами, модель B-Glad используется для анализа рассеяния и переноса загрязнителей, оценки связанных с ними воздействий на здоровье человека и окружающую среду и определения стоимости таких воздействий. Программа B-Glad содержит также модуль поддержки принятия решений для применения методов многокритериального анализа решений при сравнении различных энергетических вариантов.

И наконец, МАГАТЭ предпринимает усилия по изменению своей методологии планирования

расширения энергосистем с использованием ВАПП в целях учета последних изменений на рынке электричества. С началом реструктуризации электрических систем в мире в разных масштабах происходит приватизация государственных электрокомпаний общественного пользования; независимые электропроизводители получают доступ к этой системе, и открываются рынки электричества, на которых происходят торги в целях стимулирования конкуренции.

В настоящее время разработанная МАГАТЭ модель ВАПП не в состоянии быстро решать многие вопросы, возникающие на реструктуризованных рынках. В конце 1999 г. Агентство предприняло шаги к разработке инструментов планирования электрических систем, более пригодных для оказания помощи странам при решении ими вопросов о том, как действующие атомные электростанции могут конкурировать на новом рынке электричества и каким образом новые ядерные блоки могут быть включены в долгосрочные планы развития.

## ПОДГОТОВКА В ОБЛАСТИ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИКИ

Подготовка кадров является важнейшей частью деятельности МАГАТЭ по созданию потенциала. С 1978 г. более 1000 экспертов из 73 стран приняли участие в региональных и межрегиональных учебных курсах в области планирования энергетики, организованных МАГАТЭ. Три таких курса состоялись в 1999 г.

В рамках регионального (Азия) проекта по сравнительной оценке вариантов выработки электричества в Исламабаде, Пакистан, был организован учебный курс в поддержку рационального планирования и принятия решений в энергетической отрасли в свете возросшего участия частного сектора и финансовых ограничений в секторе выработки электричества. Основное внимание в процессе

обучения было сосредоточено на том, каким образом инструменты планирования электрических систем МАГАТЭ могут быть использованы для анализа различных генерирующих электричество технологий и контрактов независимых энергопроизводителей при определении планов расширения электрических систем, дешевых по стоимости, жизнеспособных в финансовом отношении и отвечающих национальным нормам ограничения загрязнения атмосферы выбросов.

Региональный (Европа) учебный курс под названием "Сравнительная оценка ядерной энергии и других вариантов и стратегий выработки электричества в поддержку устойчивого развития энергетики" был организован в Триесте, Италия. Основное внимание при обучении уделялось проведению каждой национальной группой-участницей исследования в области сравнительной оценки. Основные компоненты исследования включают: 1) разработку базы данных по конкретной стране, содержащей технические, экономические и экологические характеристики энергетических установок и топлива; 2) характеристику полных энергетических цепочек по выработке электричества с точки зрения их стоимости, загрязняющих атмосферу выбросов, производства твердых отходов и землепользования; 3) разработку планов расширения электрических систем с наименьшими издержками; 4) оценку уровня экологических нагрузок, связанных со стратегиями расширения альтернативных электрических систем.

Межрегиональный учебный курс по изучению планирования энергетики и ядерной энергии с использованием Пакета программ энергетических оценок (ENPER) состоялся в Аргоннской национальной лаборатории в США. Данный курс рассчитан на подготовку экспертов из развивающихся государств-членов в области методологий комплексного планирования в энергетическом/электрическом секторе

и количественного определения нагрузок на окружающую среду, связанных с различными сценариями развития энергетического сектора. Основные предметы учебного курса включают: обзор концепций и терминологии, связанных с планированием национальных энергетических систем, характеристику энергетических цепочек, взаимосвязь между энергетическим, экономическим и экологическим планированием, потенциальные возможности по снижению энергетического спроса посредством мер по сохранению энергии, оценку потребностей в ресурсах и последствий воздействия энергетических систем на окружающую среду, методы, используемые при оценке смягчения воздействия выбросов парниковых газов, проведение национальных исследований с использованием ENPER, подготовку и представление отчета по проведенному исследованию.

В дополнение к указанным учебным мероприятиям был организован национальный семинар по механизму чистого развития (МЧР) и ядерной энергетике в целях повышения осведомленности во Вьетнаме о гибких механизмах в рамках Протокола Киото и изучения потенциальной пригодности ядерной энергии в качестве технологии МЧР во Вьетнаме. В тех же целях были организованы региональный семинар в Чешской Республике по механизму Совместного осуществления, предусмотренного Протоколом Киото, и информационный семинар в Вене для постоянных представителей при МАГАТЭ.

## НАЦИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Разработанная в 1997 г. Стратегия технического сотрудничества МАГАТЭ устанавливает, что техническое сотрудничество с государствами-членами должно все более содействовать достижению

реально ощутимых социально-экономических результатов путем внесения прямого вклада в решение важнейших приоритетных задач устойчивого развития каждой страны эффективным с точки зрения затрат образом.

Некоторые государства-члены обратились к МАГАТЭ с просьбой оказать поддержку в укреплении национальных возможностей в области устойчивого развития энергетики. В 1999 г. в рамках национальных проектов была оказана помощь Бразилии, Болгарии, Хорватии, Чешской Республике, Египту, Литве, Мексике, Молдове, Польше, Словении, Судану и Вьетнаму (см. вставку и графики на стр. 10 и 11) в оценке роли ядерной энергии и других энергетических вариантов в перспективном расширении их систем электроснабжения с должным учетом технических, экономических и экологических аспектов. В рамках региональных проектов для стран Европы, Восточной Азии и Тихого океана рассматривались также потребности государств-членов в области сравнительной оценки устойчивого развития энергетики.

В начале 90-х гг. основное внимание в большинстве проектов уделялось определению роли ядерной энергии в стратегии экономически оптимального расширения электрических систем в стране. В последнее время в проекты стали включаться исследования основанных на рыночных условиях энергетических систем и оценки экологических нагрузок. Ожидается, что основное внимание в будущих проектах в этой области будет все более сосредоточиваться на проведении более полного стоимостного анализа вариантов электропроизводства путем расчета внешних издержек, связанных с охраной окружающей среды, оценки достоинств ядерной энергии в области снижения выбросов парниковых газов и анализа роли ядерной энергии на приватизированных рынках электричества. □