

Исследования в области энергетического и ядерно-энергетического планирования

Обзор исследований, проведенных в Алжире, Иордании и Таиланде, и полученных уроков

Л.Л. Беннетт, П.Е. Молина и Т. Мюллер

Любая страна, серьезно рассматривающая возможность реализации ядерно-энергетической программы, на ранней стадии должна принимать решения, основанные на тщательной оценке будущих энергетических потребностей, альтернативных источников, экономических и финансовых последствий, а также потребностей в инфраструктуре и передаче технологий. МАГАТЭ может оказать помощь заинтересованным государствам-членам в проведении таких исследований в соответствии с отработанной процедурой, которая предусматривает три основных этапа реализации.

• **Первый этап** заключается в проведении анализа экономической целесообразности реализации национальной ядерно-энергетической программы в течение довольно длительного периода времени, как правило, равного 20–30 годам.

• **На втором этапе** страна должна получить информацию о финансовых и инфраструктурных последствиях выбора такой программы развития энергетики. МАГАТЭ может оказать стране помощь в оценке влияния финансовых расходов, связанных с таким решением, на ее платежный баланс, а также в анализе возможного участия местной промышленности в строительстве АЭС. И, в заключение, особое внимание уделяется соответствующим программам подготовки персонала, который в конечном счете потребуется для развития ядерной энергетики.

• **Третий этап** заключается в оказании помощи данной стране в выполнении технико-экономических обоснований, связанных с подготовительными и организационными мероприятиями до начала строительства первой АЭС.

Основное внимание данной статьи сосредоточено на разработанной Агентством процедуре оказания помощи на первой стадии, а именно в

проведении технико-экономического обоснования ядерно-энергетической программы. Имеющийся опыт показывает, что в таком анализе необходимо принимать во внимание общие энергетические потребности страны, а также возможную долю каждой отдельной альтернативной формы энергии (например, электроэнергии) в удовлетворении этих потребностей. Таким образом, такое исследование фактически становится исследованием в области энергетического и ядерно-энергетического планирования (ЭЯЭП).

Организация проведения исследования ЭЯЭП, как правило, включает в себя создание многоаспектной группы, состоящей из национальных специалистов, отвечающих за проведение такого исследования, и группы из двух-трех экспертов МАГАТЭ.* Исследования ЭЯЭП проводились в Алжире, Венесуэле, Египте, Индонезии, Иордании, Малайзии, Таиланде, Тунисе, Турции и Югославии.** Исследования в Египте, Иордании, Турции и Югославии проводились в сотрудничестве с Международным банком реконструкции и развития.

Данная статья конкретно посвящена исследованиям ЭЯЭП в Алжире, Иордании и Таиланде. Особое внимание в ней уделяется основным результатам с точки зрения достижения целей и организации исследования, а также основным извлеченным из этого процесса урокам.

* Более подробную информацию об этапах исследований ЭЯЭП Вы можете найти в *Бюллетене МАГАТЭ*, т. 24, № 3.

** Более подробная информация о первых трех исследованиях содержится в публикациях *Energy and Nuclear Power Planning Study for Algeria*, МАГАТЭ (1984 г.); *Energy and Electricity Planning Study for Jordan up to year 2015*, IAEA-TECDOC-439 (1987 г.); и *Energy and Nuclear Power Planning Study for Thailand*, IAEA-TECDOC-518 (1989 г.). Технические отчеты о проведении исследования ЭЯЭП в других странах пока еще не поступили.

Г-н Беннетт возглавляет Секцию планирования и экономических исследований Отдела ядерной энергетики МАГАТЭ; г-да Молина и Мюллер являются штатными сотрудниками данного Отдела.

ЭЯЭП для Алжира

Целью этого исследования являлось изучение возможной роли ядерной энергии в производстве части электроэнергии, которая потребуется Алжиру в последующих десятилетиях.

Данное исследование проводилось объединенной группой специалистов, в которую входили два эксперта МАГАТЭ и пять алжирских сотрудников Национального электроэнергетического и газового общества. Несмотря на то, что формально для проведения этого исследования многоаспектной национальной группы создано не было, участие других национальных агентств и организаций обеспечивалось через прямые контакты, установленные алжирскими штатными сотрудниками. Такое участие оказалось очень важным с точки зрения сбора информации. В частности, оно облегчило выбор различных сценариев развития событий, гарантируя адекватное отражение всех запланированных и прогнозируемых событий в различных секторах и принимая во внимание техническое усовершенствование установленного оборудования и внедрение новых технологий.

Это исследование было начато в 1980 г. и успешно завершилось в 1983 г. На его продолжительность повлияла параллельная разработка Модели проведения анализа энергетических потребностей (MAED), которая является одним из инструментов экономического анализа, используемого в исследованиях ЭЯЭП.* Период исследования с 1979 по 2015 г. был выбран для изучения перспективных

тенденций, оценки влияния энергетической политики и анализа перспективных тенденций к расширению системы производства электроэнергии.

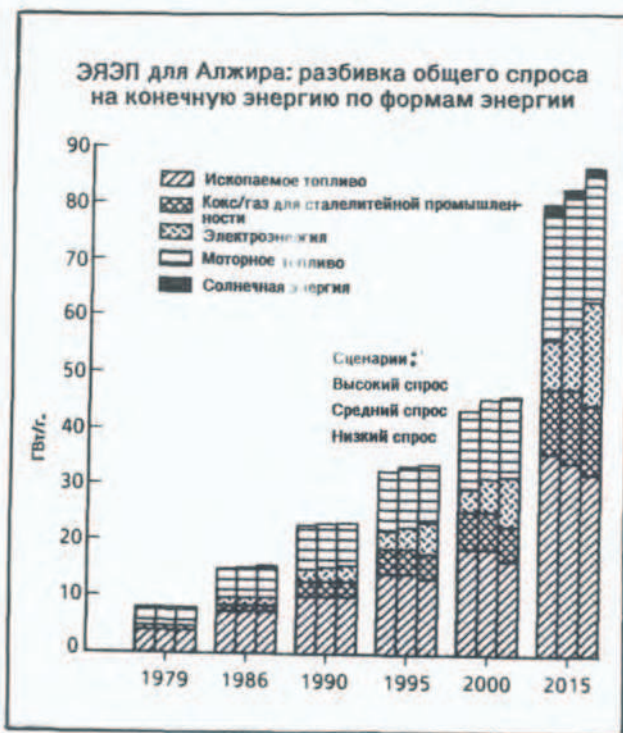
Принимая во внимание цель данного исследования, выбор сценариев социально-экономического и технического развития основывался на более или менее эквивалентном уровне потребностей в конечной энергии и на очень контрастных уровнях спроса на электроэнергию. Были выбраны три таких сценария (низкого, среднего и высокого спроса).

Рост населения, оценка валового национального продукта (ВНП) и социально-экономического развития, а также энергетическая политика (включая экономию электроэнергии) являлись общими для трех сценариев характеристиками. Эти характеристики были взяты из 5-летнего плана развития страны (1980–1984 гг.) с некоторой экстраполяцией на перспективу. Различия между этими сценариями соответствовали конкретным уровням потребления электроэнергии различными конечными пользователями в различных секторах, проникновению электроэнергии на рынок в различных секторах и, соответственно, проникновению на рынок новых форм энергии (в частности, солнечной).

В целях анализа расширения системы производства электроэнергии в число станций, которые рассматривались как кандидаты, были включены тепловые станции, работающие на газе (паровые турбины и газовые турбины), и атомные электростанции различной мощности.

Результаты анализа потребностей в конечной энергии (MAED) совпадают с предположениями, использовавшимися в сценариях, т.е. потребности в конечной энергии в перспективе будут около 81–87 ГВт/г., а доля электроэнергии в каждом из сценариев – значительно выше, чем в исходном (1979) году: 10,4–20,8 % от общего спроса в зависимости от сценария. (См. соответствующий рисунок.)

В рамках этих сценариев был также проведен анализ расширения производства электроэнергии с использованием другой экономической модели – Венского пакета автоматизированного системного планирования (WASP).^{*} Его результаты указывают на то, что во всех сценариях расширение системы производства электроэнергии можно было бы осуществить в основном за счет тепловых станций, работающих на газе (с более высокой долей станций, имеющих паровые турбины). Атомные электростанции (мощностью 1200 МВт) появляются только в сценарии высокого спроса, предусматривающем более высокие потребности в электроэнергии. (См. соответствующую таблицу.)



* См. Модель проведения анализа энергетических потребностей (MAED): руководство для пользователя, IAEA-TEC-DOC-386 (1986 г.), и Планирование расширения системы производства электроэнергии: руководство, Серия технических отчетов МАГАТЭ № 241 (1984 г.).

* Краткую информацию о модели WASP Вы можете найти в Серии технических отчетов МАГАТЭ № 241 (1984 г.), Expansion Planning for Electrical Generating Systems: A Guidebook.

Сценарии роста электрогенерирующих мощностей и роли ядерной энергетики в Алжире

Низкий спрос	Средний спрос	Высокий спрос
16 575 МВт (эл.) установлены в период с 1986 по 2015 г., включая:	23 550 МВт (эл.) установлены в период с 1986 по 2015 г., включая:	38 025 МВт (эл.) установлены в период с 1986 по 2015 г., включая:
-	-	14 400 МВт PWR
11 100 МВт GS 5 475 МВт GT	17 100 МВт GS 6 450 МВт GT	13 800 МВт GS 9 825 МВт GT
Максимальные годовые капи- таловложения в 2010 г.: 4354×10^6 DA (1979 г.) (т.е. 0,7 % ВВП)	Максимальные годовые капи- таловложения в 2009 г.: 4024×10^6 DA (1979 г.) (т.е. 0,8 % ВВП)	Максимальные годовые капи- таловложения в 2009 г.: 9979×10^6 DA (1979 г.) (т.е. 1,7 % ВВП)
Кумулятивные капиталовло- жения: $61,5 \times 10^9$ DA (1979 г.)	Кумулятивные капиталовло- жения: $85,5 \times 10^9$ DA (1979 г.)	Кумулятивные капиталовло- жения: 188×10^9 DA (1979 г.)
Годовые потреб- ности в природ- ном газе в 2015 г.: $18,2 \times 10^9$ м ³	Годовые потреб- ности в природ- ном газе в 2015 г.: $24,6 \times 10^9$ м ³	Годовые потреб- ности в природ- ном газе в 2015 г.: $19,2 \times 10^9$ м ³
Кумулятивные потребности в природном газе: 279×10^9 м ³	Кумулятивные потребности в природном газе: 379×10^9 м ³	Кумулятивные потребности в природном газе: 416×10^9 м ³

Примечание. В таблицу включены только дополнительные мощности, введенные за счет программы расширения мощностей, т.е. рассматриваются только мощности, в отношении ввода которых не взяты твердые обязательства.
DA — алжирский динар, PWR — реактор с водой под давлением, GS — тепловая электростанция, работающая на газе, GT — газовая турбина.

Рассматривались два важных аспекта, связанных с принятием оптимального решения для каждого из сценариев и представлявших особый интерес в силу их влияния на экономику Алжира: капиталовложения и потребности в природном газе (основном источнике дохода страны), связанные с этими решениями.

Были проведены различные анализы чувствительности, подтверждающие экономические преимущества ядерной энергетики в случаях, когда:

- цены на природный газ (местное топливо) возросли примерно на 10 % по сравнению с исходной ценой;
- капитальные затраты на энергоблок тепловой станции, работающей на угле, возросли на 0,5 % в год по сравнению с исходным показателем;
- учетная ставка в расчетах текущих издержек снизилась до 7,5 % в год по сравнению с исходным показателем, равным 10 % в год.

Исследование для Иордании

Данное исследование проводилось по просьбе Международного банка реконструкции и развития, который в это время осуществлял для Иордании консультативное исследование в области глобального энергетического планирования и менеджмента.

В данном конкретном случае в самом начале проведения исследования было признано, что для этой страны на ближайшие 20 лет перспектива ядерной альтернативы исключается, учитывая ожидаемые размеры энергосистемы и мощности коммерческих энергетических реакторов. В силу этого было принято решение провести исследование в области энергетического и электроэнергетического планирования (ЭЭП) в целях анализа будущих потребностей Иордании в энергии и электричестве в последующие 20–30 лет, используя для этого методологии планирования МАГАТЭ (MAED и WASP), при участии МАГАТЭ и иорданских властей.

Основные цели данного исследования ЭЭП заключались в разработке методологий планирования на основе прогнозов долгосрочного спроса на энергию и электричество, а также схем расширения системы производства электроэнергии; создании центральной энергостатистической базы данных; разработке процедур обучения местного персонала использованию компьютерных программ в области планирования; проведении прогнозной оценки спроса на энергию и электричество и разработке планов расширения системы производства электроэнергии на основе вышеупомянутых методологий.

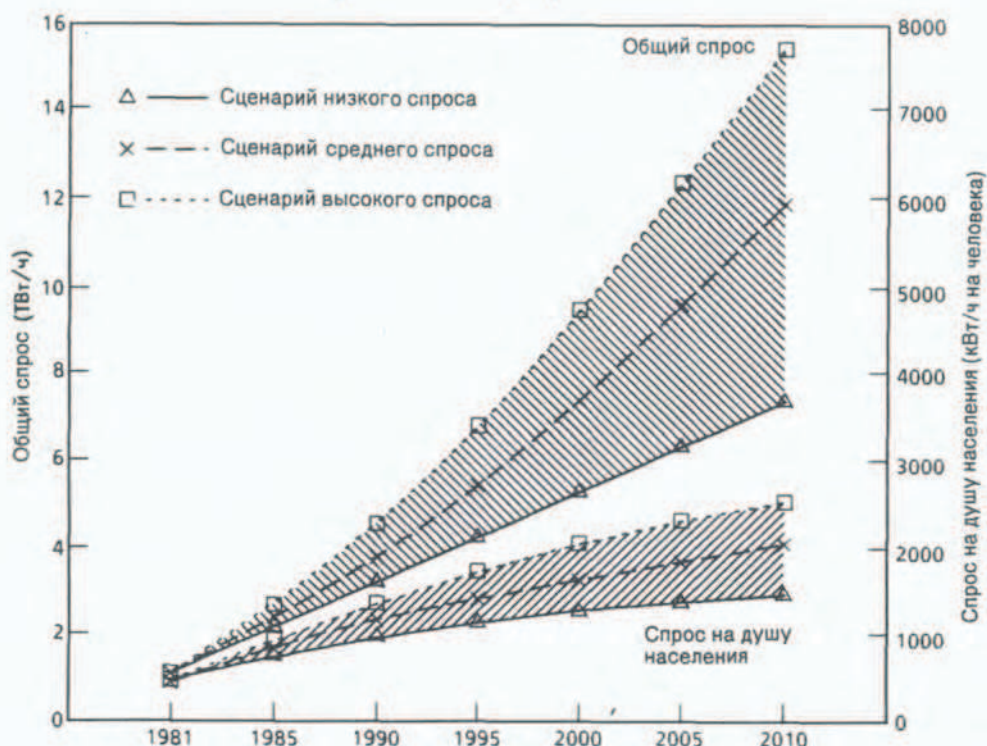
Исследование проводилось совместной группой, состоявшей из нескольких экспертов МАГАТЭ и местных специалистов из Иорданского электроэнергетического управления (ИЭУ). Фактически работы по осуществлению исследования ЭЭП начались в сентябре 1983 г., когда в компьютер ИЭУ были введены программы, необходимые для его проведения, и начался сбор данных. Продолжительность исследования составила примерно 21 месяц.

Оценки будущих потребностей во всех формах энергии (включая электричество) проводились с использованием модели MAED и охватывали период с 1981 по 2010 г. В этих оценках учитывалась политика, осуществлявшаяся в рамках текущих планов национального и отраслевого промышленного развития во время проведения исследования, а также прогнозируемое развитие тенденций, наблюдавшихся в прошлом.

Из всех сценариев будущего развития страны для анализа спроса на энергию было выбрано три. Они представляли собой сценарии низкого, среднего и высокого спроса на энергию в соответствии с ожидаемым прогрессом в выполнении всех планов развития, которые уже были разработаны для страны. Сценарий среднего спроса отражал наиболее вероятное развитие текущих тенденций, а сценарии низкого (пессимистического) и высокого (оптимистического) спроса характеризовали крайние отклонения от средних тенденций.

Результаты оценки этих трех сценариев указывают на возможность серьезного роста общего спроса на конечную энергию (в 3–5 раз за период с

Исследование ЭЭП для Иордании: тенденции в росте общего спроса на электроэнергию и спроса на душу населения в соответствии с различными сценариями



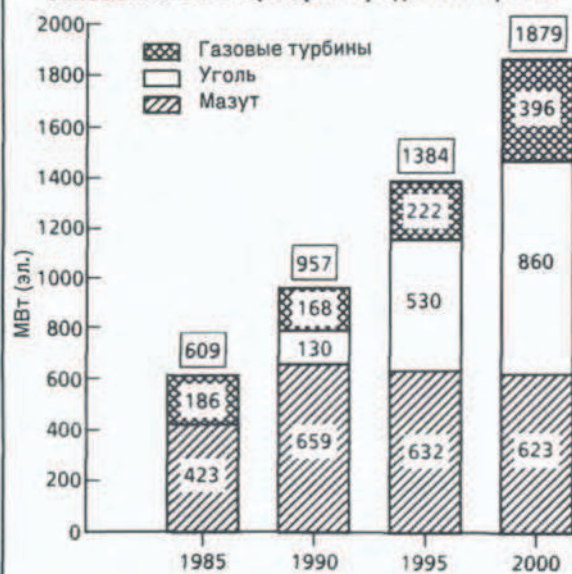
1981 по 2010 г.). Такое увеличение менее выражено, если рассматривать рост общего спроса на душу населения. (См. соответствующий рисунок.) Эти результаты показывают, что пиковый спрос в 2010 г. составит 1491 МВт (низкий спрос), 2449 МВт (средний спрос) и 3272 МВт (высокий спрос).

Будущее развитие системы производства электроэнергии в период с 1989 по 2000 г. анализировалось с помощью модели WASP. Для проведения этого анализа был выбран более короткий отрезок времени, принимая во внимание тот факт, что решения о капиталовложениях в электроэнергетическом секторе должны были приниматься на последующие несколько лет с учетом потребностей в расширении мощностей до 1997 г., что обусловлено характерными сроками реализации заказов на строительство крупных электростанций.

Только для сценария среднего спроса был найден оптимальный график ввода дополнительных мощностей для удовлетворения будущих потребностей в электроэнергии. Это удалось сделать потому, что результаты оценки других сценариев можно было экстраполировать путем простого ускорения (сценарий высокого спроса) или задержки (сценарий низкого спроса) реализации оптимального графика, определенного для сценария среднего спроса.

В рамках этого строго экономического исследования расширения системы производства элект-

Исследование ЭЭП для Иордании: график роста общих установленных мощностей в рамках оптимального плана расширения системы производства электроэнергии, основанного на сценарии среднего спроса



розэнергии Иордании было установлено, что энергоблоки с паровыми турбинами, работающие на угле в базовом режиме, могут играть очень важную роль в удовлетворении электроэнергетических потребностей страны в сочетании с газотурбинными станциями, работающими в режиме пиковых нагрузок. Мазут будет по-прежнему использоваться на действующих станциях и электростанциях, в отношении строительства которых взяты твердые обязательства, для удовлетворения промежуточных нагрузок, однако роль электростанций, работающих на мазуте, в системе производства электроэнергии с годами будет уменьшаться. (См. соответствующий рисунок.)

Исследование ЭЯЭП для Таиланда

Исследование, проводившееся для Таиланда, преследовало три основные цели: приспособить процедуры системного планирования для оценки возможной роли ядерной энергетики в рамках оптимизированного национального плана развития энергетики с учетом различных сценариев социально-экономического и технического развития; осуществить подготовку и руководство группами тайландских экспертов по применению методологий энергетического и электроэнергетического планирования, а также соответствующих компьютерных средств и создать национальный потенциал для проведения будущих исследований ЭЯЭП.

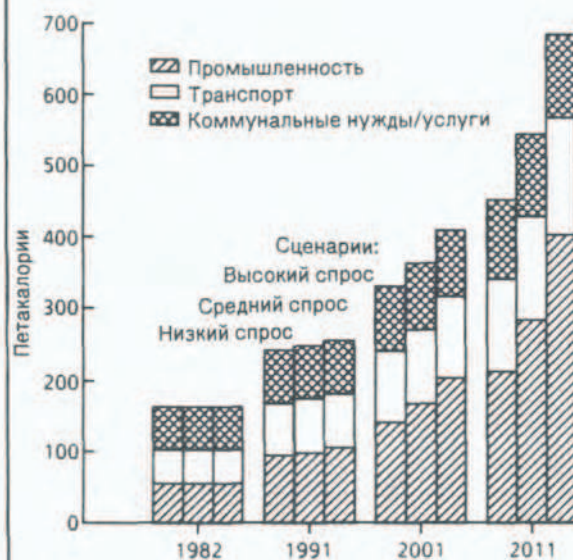
Как ожидалось, результаты данного исследования в совокупности с результатами других оценок, проводившихся на уровне, предшествующем технико-экономическому обоснованию, должны были служить более прочной основой для принятия решений о конкурентоспособности ядерной энергетики в этой стране.

Группа тайландских экспертов работала с экспертами МАГАТЭ и выполняла целый ряд задач по достижению поставленной цели. Она была создана в виде подкомитета (функционального отделения Тайландской комиссии по мирному использованию атомной энергии), в который входят эксперты Бюро по мирному использованию атомной энергии, Национального энергетического управления, Национального совета по экономическому и социальному развитию и Управления по производству электроэнергии Таиланда.

1982 г. был выбран базовым годом исследования, т.к. это был самый последний год, в отношении которого у Национального энергетического управления в 1984 г. в момент начала исследования имелись полные и наиболее достоверные статистические данные. Кроме того, 1982 г. был стартовым годом 5-го пятилетнего национального плана экономического и социального развития.

При разработке сценариев для исследования в рамках МАЭД особое внимание уделялось идентификации наиболее важных факторов, влияющих на потребности в энергии. В силу этого было принято решение проанализировать четыре крупных фактора, определяющих спрос на энергию: население, экономику (ВНП), энергоемкость и проникновение электроэнергии на различные рынки конечной энергии. Были выбраны три сценария (низкого, среднего и высокого спроса), отражающие возможную эволюцию вышеупомянутых факторов в

Исследование ЭЯЭП для Таиланда: рост спроса на конечную энергию в различных секторах экономики



Примечание. Категория „Промышленность“ включает в себя сельское хозяйство, строительство, горнодобывающую промышленность и производство. Термин „конечная энергия“ включает в себя некоммерческую энергию.

соответствии с политикой правительства и основными предположениями. Каждый из сценариев исследования охватывал 30-летний период с 1982 по 2011 г.

Согласно этим предположениям ожидается, что рост общих потребностей Таиланда в энергии будет происходить в соответствии с аналогичными тенденциями во всех трех сценариях, в каждом случае достигая различного уровня. (См. соответствующий рисунок.) На промышленный сектор (включая производство, строительство, горнодобывающую промышленность и сельское хозяйство) к 2011 г. будет приходиться самая большая доля общего спроса на энергию, причем в основном это увеличение произойдет за счет производственного сектора, что согласуется с политикой правительства в области промышленного развития страны и ожидаемым вкладом промышленности в общий ВНП.

Результаты анализа планов расширения системы производства электроэнергии с использованием модели WASP показали, что все электростанции, работающие на местных ресурсах (гидроэнергия, бурый уголь и природный газ), выбирались на основе оптимальных решений. Кроме того, согласно этим результатам местные ресурсы будут полностью использованы для удовлетворения энергетических потребностей, предусмотренных в существующих планах и планах расширения мощностей до 2000 г. Тепловые электростанции, рабо-

тающие на угле, и атомные электростанции займут доминирующее положение после 2000 г.

Были проведены анализы чувствительности чистых затрат на строительство (исключая проценты во время строительства) атомных электростанций и учетной ставки. Основной вывод анализа чистых затрат на строительство АЭС (900 МВт) заключался в том, что оптимальное решение оставалось неизменным при изменении исходных затрат на 20 % в ту или иную сторону. С другой стороны, как ожидалось, при уменьшении учетной ставки, которая использовалась в базовом решении, с 12 до 10 % в год атомная электростанция оказывалась в предпочтительном положении.

Полученные уроки

С точки зрения МАГАТЭ наиболее важные уроки, извлеченные из исследования ЭЯЭП, связаны в основном с организацией и методологиями таких исследований.

Масштабы исследования. Масштабы исследования, которое охватывает анализ общих энергетических и электроэнергетических потребностей в течение последующих 20–30 лет и оптимизацию системы производства электроэнергии в целях удовлетворения этого спроса, считаются достаточно адекватными для экономической оценки ядерно-энергетической альтернативы на уровне, предшествующем технико-экономическому обоснованию.

В будущем исследовании ЭЯЭП, учитывая растущее беспокойство по поводу охраны окружающей среды, должны будут более четко учитывать воздействие, которое будет оказываться на нее в результате предполагаемого расширения потребления энергии, а также средств производства электроэнергии.

Если результаты исследования будут четко указывать на экономические преимущества развертывания ядерно-энергетической программы и, естественно, если политическая воля данной страны будет совпадать с этими намерениями, можно провести более подробное исследование.

Состав группы местных экспертов. Очень важное значение имело участие специалистов из различных национальных организаций, связанных с энергетическим планированием. Во многих случаях исследование ЭЯЭП оказывалось первой возможностью для определенных национальных организаций принять эффективное участие в совместном международном мероприятии подобного рода. Здесь могут возникнуть некоторые практические проблемы, в частности, в силу того, что исследование ЭЯЭП обычно длится около 2 лет и принимающие в нем участие местные специалисты должны быть освобождены от своих обычных обязанностей на значительный период времени. Однако использование совместных групп сулит большие выгоды. Данный подход укрепляет доверие и приемлемость результатов исследования в этой стране, а также способствует эффективной передаче методологий планирования в заинтересованную страну.

Обучение национальных групп. Для обучения групп местных специалистов использованию мето-

дологий проведения подобных исследований применяется подход, который объединяет подготовку на рабочих местах с обучением на регулярных учебных курсах МАГАТЭ, посвященных соответствующим дисциплинам. Возникающие практические проблемы связаны с планированием участия национальных групп экспертов в учебных курсах, т.к. они проводятся ежегодно и не всегда совпадают с временными рамками исследования ЭЯЭП. Данную проблему можно смягчить, если страны, заинтересованные в исследовании ЭЯЭП, станут присылать своих специалистов на учебные курсы до того, как будет запланировано такое исследование.

Методологии. Модели MAED и WASP являются адекватными инструментами оценки энергетических стратегий на национальном уровне. В этом контексте во всех исследованиях ЭЯЭП модели MAED и WASP доказали свою полезность. Несмотря на свои признанные преимущества, обе модели имеют некоторые недостатки.

Модель MAED. Эта методология имеет довольно простую структуру, но требует больших массивов данных. Разработка сценариев развития событий включает в себя определение эволюции основных факторов, которые, как считается, оказывают влияние на потребности в энергии (население, промышленное производство, транспорт и т.д.). Кроме того, подробный анализ спроса на электроэнергию увеличивает объем информации, необходимой для описания картины потребления электроэнергии основными категориями потребителей.

Учитывая объем данных, необходимых для использования модели MAED, данная фаза исследования ЭЯЭП являлась наиболее продолжительной во всех рассматриваемых здесь исследованиях. Несмотря на это, все группы местных специалистов признали, что данная фаза является очень полезной, т.к. она дает возможность плановикам получить полную энергетическую картину страны, включая потребление энергии в стране и возможный ход событий в результате изменений социально-экономических и технических факторов, влияющих на потребности в энергии. И прежде всего, она позволяет им оценить влияние принимаемых решений на развитие событий.

Общей проблемой, с которой столкнулись в большинстве стран, проводивших такие исследования, является недостаточный объем подробных и надежных статистических данных о потреблении энергии и электричества. В результате этого, учитывая ограничения, связанные со временем проведения подобных исследований, в целях получения данных для всех сценариев обычно использовался прагматичный подход. С помощью этой модели осуществляется оценка исходных данных, которые затем конкретизируются на основе полученных результатов и консультаций с местными экспертами, участвующими в исследовании.

Аналогичная проблема возникала во время проведения подробных анализов потребностей в электроэнергии, т.к. большинство развивающихся стран не обладает знаниями об изменении потребления энергии различными секторами экономики. Таким образом, обычный подход заключался в проведении исследований на основе данных только о некоторых потребителях, которые считались типичными или представительными