

Экономическая оценка роли ядерной энергетики в развивающихся странах: помощь Агентства

Л.Л. Беннетт, Дж.Р. Чарпентер и Дж.А. Маркес де Суза*

С целью помочь развивающимся государствам-членам в мирном использовании ядерной энергии, МАГАТЭ проводит соответствующие совещания, с помощью которых руководит обширной программой работ по планированию и осуществлению ядерной энергетики, включая экономические оценки роли ядерной энергии в национальных планах по энергетике в развивающихся государствах-членах. Эти оценки включают три основных взаимозависимых и тесно связанных типа деятельности: развитие соответствующих методик, специфически приспособленных для развивающихся стран; проведение курсов обучения по методам планирования развития энергетики вообще и ядерной энергетики в частности, включая использование методов, разработанных Агентством; и выполнение исследований, связанных с планированием энергетики и ядерной энергетики, по просьбе государств-членов.

Оценки потребностей в электрической энергии в будущем

Необходимость использования ядерной энергии определяется планированием будущих потребностей в электрической энергии в будущем. Опыт показывает, что информация о потребностях в электрической энергии в развивающихся странах часто разрабатывается бессистемно, без обеспечения внутренней согласованности с основными целями экономического и промышленного развития и возможностями развивающихся стран. Таким образом, планирование потребностей в электрической энергии часто оказывается наиболее слабым звеном в окончательных оценках роли ядерной энергетики в обеспечении стран энергией.

Для более точной оценки будущих потребностей в электрической энергии МАГАТЭ в сотрудничестве с Институтом по экономическим и правовым аспектам энергетики (IEJE, Гренобль, Франция) и Международным институтом прикладного системного анализа (IIASA, Лаксенбург, Австрия) разработало для ЭВМ расчетную модель, названную MAED**. Модель MAED разработана на основе существующей модели MEDEE***. Разработка была начата в 1980 г. и завершена в течение 1981 г. В настоящее время модель MAED используется Агентством при разработке согласованных прогнозов будущих потребностей в энергии и электричестве.

* Г-н Беннетт является руководителем Секции экономических исследований в Отделе ядерной энергетики Агентства. Г-н Чарпентер и г-н Маркес де Суза являются сотрудниками Секции экономических исследований.

** Модель для анализа энергетических потребностей.

*** Модель роста потребности в энергии.

Модель MAED, в общих чертах представленная на рис. 1, предусматривает гибкое изменение структуры для исследования влияния социальных, экономических, технологических и политических перемен на длительную эволюцию потребностей в энергии.

Модель MAED несколько проще, чем модель MEDEE, ее можно применять при более ограниченном базисе данных, типичном для развивающихся стран.

Для того, чтобы проанализировать энергетические потребности данной страны, экономика подразделяется на основные экономические секторы (домашнее хозяйство, транспорт, промышленность, сфера обслуживания), а энергетические потребности каждого сектора подразделяются на различные более простые виды конечного потребления энергии (потребности на отопление, приготовление пищи, печи, внутригородской транспорт и так далее).

Требования к конечным видам потребления энергии описываются двумя типами параметров: одни связаны с техническими соображениями (такими как эффективность различных приборов), а другие связаны с образом жизни (например, средним расстоянием, проходимым автомобилем в течение года, размером жилища и т. д.).

Прогнозируется не только полная годовая потребность в электрической энергии (в отношении к другим формам энергии), но и почасовое распределение потребностей в энергии в течение года.

Модель MAED предусматривает следующие этапы:

- систематический анализ социальной, экономической и технологической систем для установления основных факторов, определяющих долгосрочное развитие потребностей в энергии;
- разделение полной потребности в энергии на многочисленные категории конечных потребителей. Деление на рассматриваемые категории осуществляется в зависимости от цели, стоящей перед аналитиком, имеющихся данных;
- организацию всех определяющих факторов в многоуровневую структуру от макро- к микроуровню с указанием влияния макроскопического определяющего фактора на каждую категорию конечных потребителей;
- построение имитирующей модели путем упрощения структуры системы и группирования определяющих факторов в экзогенные определяющие факторы и

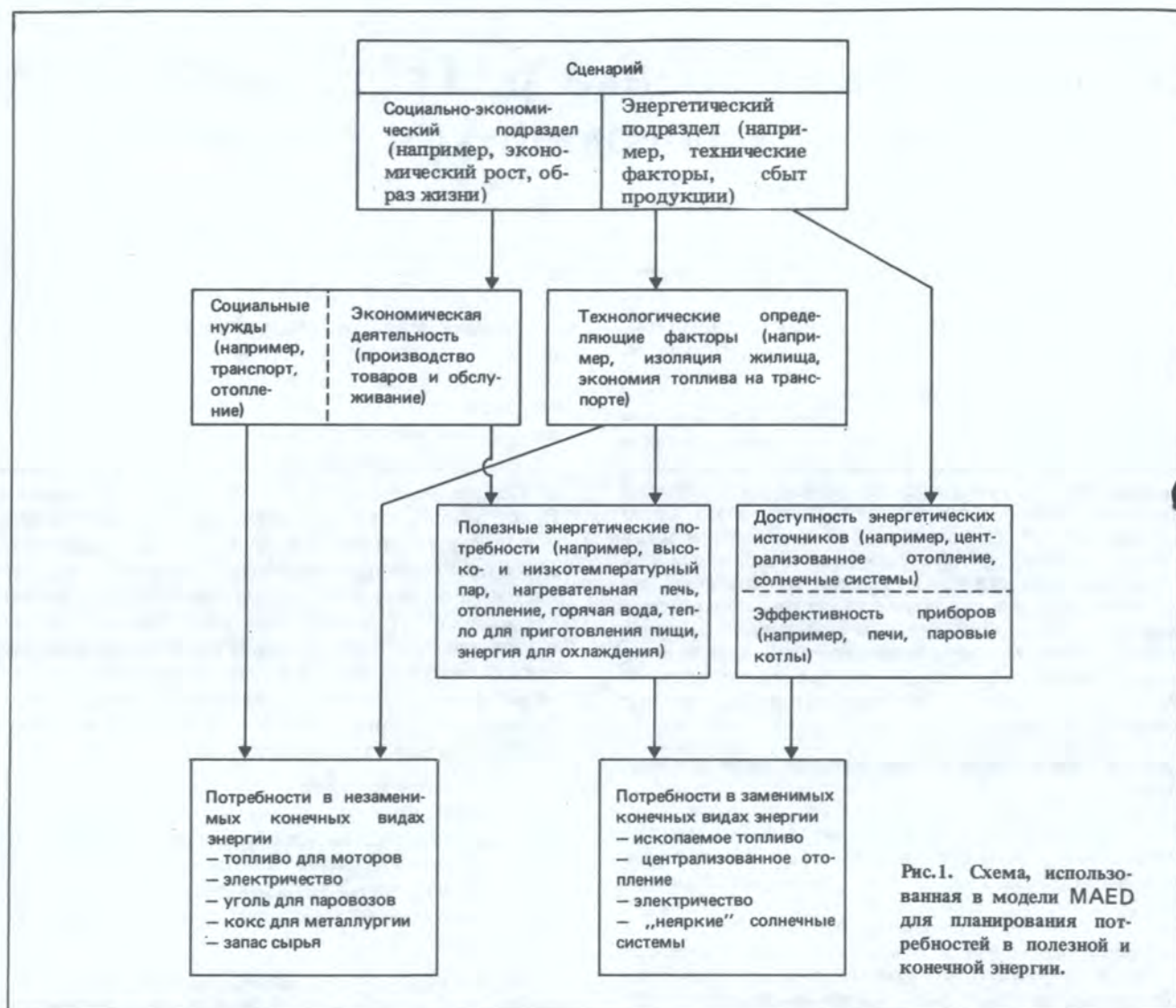


Рис.1. Схема, использованная в модели MAED для планирования потребностей в полезной и конечной энергии.

элементы программы. *Экзогенные определяющие факторы* включают те факторы, для которых трудно моделировать развитие (например, рост населения, количество людей на одно жилище), но для которых прогноз долгосрочного развития может быть сделан на основе прошлых тенденций или из каких-нибудь других исследований, например, демографических. Определяющие факторы, выбранные в качестве элементов программы, представляют собой факторы, развитие которых во времени не может быть экстраполировано на основании существовавших в прошлом тенденций из-за возможных структурных изменений в характере роста энергетических потребностей. Примером того являются политические факторы.

Анализ системы развития экономики

Модель WASP* является системой программ для ЭВМ, использующей метод динамического программирования для экономической оптимизации при планировании развития электрических систем (ESEP). Она может быть взята в качестве образца модели снабжения, тогда как модель MAED является моделью потребностей. Модель WASP разработана для Агентства администрации Управления развития долины Теннесси, США (TVA) и была первой моделью, использованной при обследовании рынка сбыта для ядерной энергии в развивающихся странах (1972–1973 гг.). С дальнейшей помощью TVA и Окриджской национальной лаборатории, США, в 1976 г. она была улучшена, в результате чего была получена программа WASP-II, которая широко использовалась Агентством и государствами-членами. Совместными усилиями Экономической комиссии по Латинской Америке ООН (ECLA) и МАГАТЭ разработана программа WASP-III, которая была завершена в 1980 г. Последняя версия модели WASP была предназначена для того, чтобы удовлетворить потребности ECLA по изучению взаимосвязи электросетей шести стран в Центральной Америке, где существуют большие потенциальные ресурсы гидроэнергии; так были выполнены

* Сокращение по первым буквам названия: „Венская система автоматического планирования”.

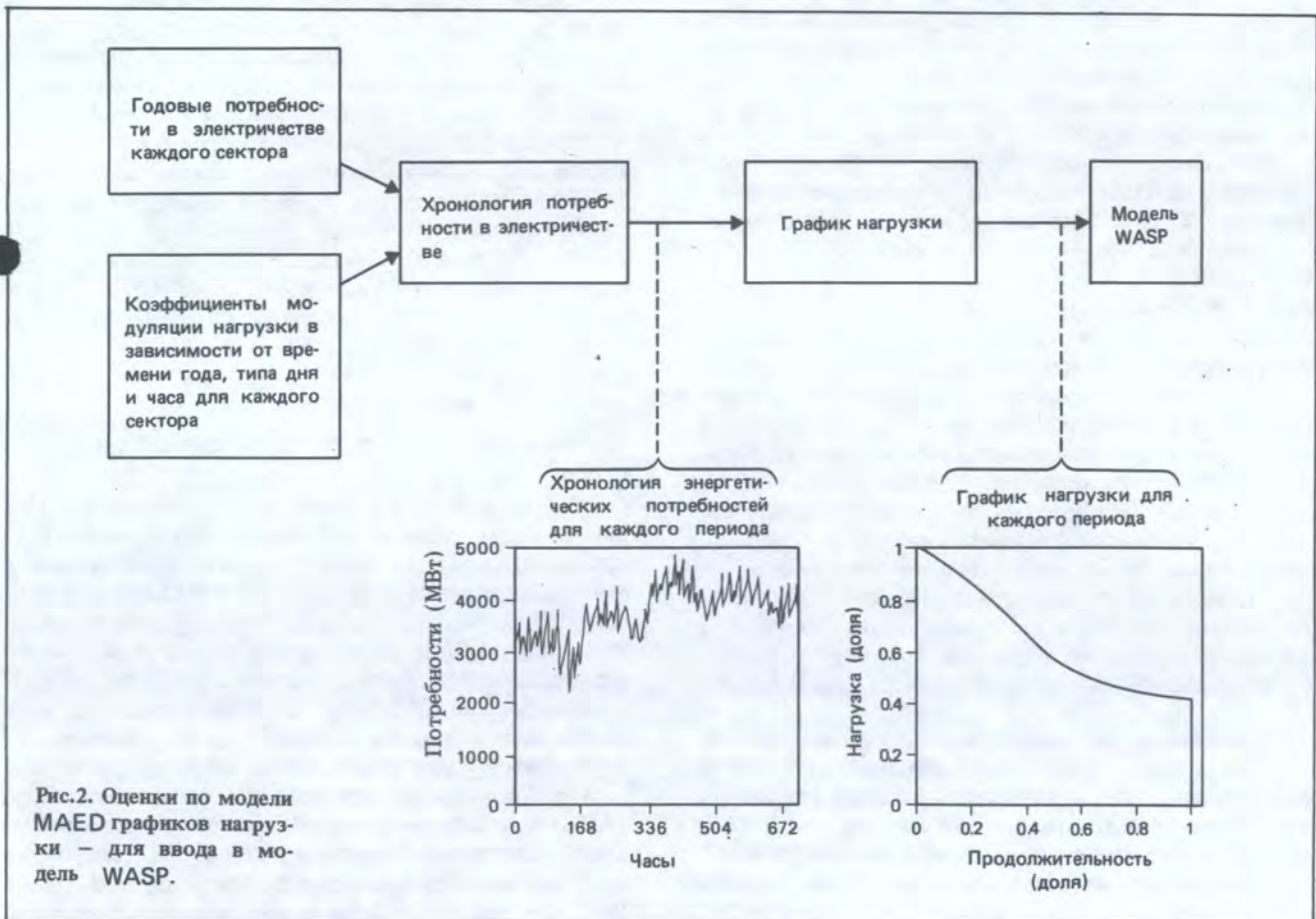
ны рекомендации 1979 г. консультативной группы МАГАТЭ по планированию развития электрических систем.

Модель WASP структурно представляет собой гибкую, модульную систему, которая может обрабатывать следующие взаимосвязанные параметры при расчетах: характеристики прогнозируемых нагрузок (прогнозирование электрической энергии, развертывание системы производства энергии), стоимость топлива и эксплуатационные расходы на электростанциях, капитальные затраты на электростанции, технические параметры электростанций, критерии надежности снабжения энергией и способ эксплуатации систем производства энергии.

Прогноз потребностей в электрической энергии получается с помощью модели MAED. В дополнение к полной годовой потребности в электрической энергии модель MAED обеспечивает для модели WASP некоторые существенные сведения, касающиеся оценок распределения во времени потребностей, таких как график нагрузки, представленный на рис. 2.

Модель WASP содержит шесть основных программ. Одна из этих программ может использоваться для описания сезонных колебаний электрических нагрузок для каждого изучаемого года. С помощью второй программы можно описать существующую энергетическую систему и все станции, для которых были запланированы ввод в строй или снятие с эксплуатации. Третья имеющаяся программа может описы-

вать альтернативные станции, которые могут использоваться для расширения энергетической системы (возможные станции). С помощью четвертой программы можно получить возможное расширение сети. Сеть представляет собой совокупность электростанций, которые удовлетворяют потребности в электроэнергии отдельного района или всего государства-члена. Пятая программа определяет, моделируется ли эксплуатация систем конкретной сетью. Если нет, то программа указывает, что нужно моделировать новую сеть. Используя вероятностные модели, можно рассчитать ожидаемое производство энергии каждой станцией и соответствующие эксплуатационные расходы. Также оценивается надежность системы по производству энергии и вероятное количество неудовлетворенных потребностей. Шестая программа может быть использована для того, чтобы рассчитать минимальные затраты на планы развития путем ввода новых станций в систему в течение интересующего периода, используя файлы данных, рассчитанных с помощью других модулей, и входные данные по экономике и критериям надежности. Целевой функцией этой оптимизации с динамическим программированием является получение дисконтированной стоимости эксплуатационных расходов (включая топливо), плюс затраты на капитальные вложения, плюс затраты на бесполезно израсходованную энергию, минус экономия средств за счет кредитов за время экономического существования станции, охватываемого периодом планирования.



К середине 1982 г. Агентство передало пакет программ WASP в 45 стран и в пять международных организаций, заинтересованных в планировании развития электрических систем. На сегодняшний день 45 стран сообщили об использовании модели WASP приблизительно в 60 ЕСЕС-исследованиях и планировании еще 30 или более исследований.

Чтобы развить экспертизу в развивающихся государствах-членах и дать возможность им делать собственные прогнозы и планы снабжения, Агентство проводит два курса обучения, на которых знакомит специалистов из развивающихся государств с методиками анализа потребностей в энергии и планирования развития электрических систем.

Обучение по планированию энергетики

Основной целью курса обучения *„Планирование энергетики в развивающихся странах с акцентом на ядерную энергетику“* является ознакомление специалистов по энергетике из развивающихся стран с основополагающими элементами всестороннего планирования национальной энергетики. Курс делает акцент на понимание соответствующей роли ядерной энергетики. Курсы рассчитаны не только на страны, которые уже используют ядерную энергию, они открыты для всех развивающихся государств-членов Агентства, заинтересованных как в неядерной, так и в ядерной технологии. Целью является улучшение возможности стран проводить тщательный и объективный выбор источников энергии.

Многие считают, что планирование энергетики является вопросом исключительно экономического анализа, включающего усложненные расчетные модели. Этот курс обучения предназначен исправить такую упрощенную точку зрения и показать, что хорошее планирование энергетики включает в себя множество аспектов как технической, так и экономической информации. Особое внимание уделяется связи (слишком часто игнорируемой) между выбором первичного источника энергии и конечным видом энергии, необходимым для потребителя.

Начатый в 1978 г. Национальным институтом ядерной науки и технологии (INSTN) в Сакле, Франция, этот курс проводился три раза на французском языке (1978, 1979 и 1980 гг., Сакле, Франция), один раз на испанском языке (1981 г., Мадрид, Испания) и один раз на английском языке (1982 г., Джакарта, Индонезия). Занятия по теме *„Роль ядерной энергии в планах национальной энергетики“* продолжались первые четыре раза в течение семи недель.

Затем по этой теме было подготовлено специальное учебное пособие и разослано слушателям 1982 г. для предварительного изучения, поэтому продолжительность занятий смогли сократить до трех недель.

В течение первой недели занятий по теме текущего планирования энергетики внимание слушателей сосредотачивают на техническом анализе различных энергетических источников (ядерная энергия, уголь, нефть, газ, гидроэнергия, солнечная энергия и т. д.) и рассматривают все этапы от производства первичной энергии до использования конечной энергии.

Систематический разбор преимуществ и недостатков каждого энергетического звена представляется таким образом, чтобы увеличить осведомленность участников о дополнительных аспектах различных источников энергии.

Вторая неделя посвящается экономическому и финансовому анализу, который следует выполнять как часть планирования энергетики. Рассматриваются энергетические модели, но при этом подчеркивается, что они являются лишь полезным инструментом, который не может заменить, однако, всесторонний анализ и разумный взгляд самих проектировщиков энергетических систем.

Наконец, третья неделя посвящается анализу конкретных ситуаций, около половины которых основывается на результатах обширных исследований, выполненных ранее в различных странах. Другими предметами изучения являются гипотетические случаи, которые анализируются рабочими группами из слушателей в пять или шесть человек под руководством одного или двух лекторов. Подчеркивается, что в качестве необходимого условия использования ядерной энергии в развивающейся стране должны существовать: национальное законодательство и работоспособная организационная инфраструктура; достаточные людские ресурсы; инженерные возможности принятия решений и передачи технологий; соответствующий уровень развития национальной промышленности; соответствующий объем и структура системы электропередачи для возможного обеспечения стабильности сети как в условиях нормальной эксплуатации, так и в переходных режимах.

С 1978 по 1982 гг. 136 инженеров-экономистов из 49 стран обучались планированию энергетики. Этот курс пользовался большим успехом в основном благодаря тому обстоятельству, что государства-члены всегда направляли слушателям высококвалифицированных специалистов, а также благодаря сильной поддержке содействующих стран и организаций, а именно Аргентины, Франции, Федеративной Республики Германии, Индонезии, Испании, США, Отдела природных ресурсов и энергии ООН (DNRE), Всемирного банка (IBRD), ЮНЕСКО, и, в особенности, Национального института ядерной науки и технологии (INSTN) в Сакле, Франция.

Обучение планированию развития электрических систем

В период с 1975 по 1981 гг. 139 старших инженеров и разработчиков энергетических систем из 43 стран и трех международных организаций изучали в МАГАТЭ различные версии модели WASP и их применение. В период с 1975 по 1977 гг. обучение применению модели WASP проводилось Агентством в своей штаб-квартире в Вене. В период с 1978 по 1981 гг. курс обучения МАГАТЭ *„Планирование развития электрических систем“* (ЕСЕС), организованный Департаментом энергетики США, проводился четыре раза в Аргоннской национальной лаборатории США (ANL) с участием около 90 инженеров и разработчиков электрических систем из 34 стран. Следующий курс планируется провести с 18 апреля по 17 июня 1983 г. в ANL, где будет использовано новое изда-

ние МАГАТЭ „Руководство по планированию развития электрических систем”, которое подготавливается в настоящее время. Курс ESEP имеет целью обучение специалистов планированию развития системы производства электрической энергии; особое значение придается использованию модели WASP. После завершения курса слушатели должны уметь устанавливать экономически оптимальные программы развития, включающие, в частности, экономически оптимальную долю ядерной энергетики. Основные дисциплины включают технические и экономические характеристики электростанций; принципы развития производства энергии; рассмотрение электрических сетей; характеристики модели WASP и ее вспомогательных программ; получение и представление входных данных для WASP; анализ оптимальных решений; подготовку отчета об исследовании.

Каждый год курс обучения принимает 24 слушателя из развивающихся стран всех географических регионов. Кандидатам предлагается включить в национальные группы двух или более человек, которые имеют опыт в планировании энергетических систем; это облегчает изучение ESEP каждой национальной группой, так как обучение основывается на использовании национальных данных.

Выполнение исследований по планированию энергетики и ядерной энергии

Исследование „Планирование энергетики и ядерной энергии” (ENPP) проводится только по официальной просьбе государства — члена МАГАТЭ и выполняется в виде совместного проекта Агентства и этого государства-члена. Целью исследования является помощь государству-члену в проведении детального экономического анализа и планирования для определения потребности, а также соответствующей роли ядерной энергии в рамках национального плана по энергетике. Это требует оценки сроков экономических планов и экономического сравнения с альтернативными источниками энергии. При исследовании используются описанные выше методики (MAED и WASP) — при необходимости в несколько измененной или улучшенной форме —, которые передаются в страну по окончании исследования.

Таким образом, исследование ENPP имеет две определенные цели. Одна из них — разработка с запрашивающим государством-членом количественных показателей будущих энергетических потребностей, согласованных как с планами национально-го экономического развития, так и развития энергетики, и ожидаемой доли электрической энергии в полных энергетических потребностях. Затем исследование обрисовывает экономически оптимальный план развития электрической системы, включающий оценку потребности в ядерной энергии и ее роль. Вторая цель проведения исследования — обучение в процессе работы группы местных инженеров и экономистов. Страна получает две расчетные модели MAED и WASP с тем, чтобы в дальнейшем исследования по планированию энергетики могли проводить свои национальные эксперты.

Так как такие исследования выполняются в тесной кооперации с запрашивающей страной, организуются объединенные рабочие группы специалистов по планированию энергетики. Каждая объединенная рабочая группа включает двух или трех сотрудников МАГАТЭ, знакомых со всеми вопросами, связанными с планированием энергетики и использованием различных моделей, которые могут применяться. Она также включает группу специалистов из данного государства-члена, по крайней мере пять или шесть инженеров и экономистов, хорошо знакомых с положением дел в энергетике и электрификации в своей стране. (Желательно, чтобы большинство из них прослушали два курса обучения, описанных ранее). Среди национальных специалистов имеется старший координатор, который может эффективно содействовать выполнению необходимой работы и который отвечает за осуществление связи с различными организациями в своей стране, для получения необходимых для исследования информации и данных.

Исследование ENPP требует около двух лет работы группы. Хотя не требуется, чтобы члены объединенной рабочей группы посвящали полностью свое время этой деятельности, обычно этот период времени не может быть сокращен из-за того, что необходимо определенное время для сбора нужной информации и других данных.

Этапы в проведении исследования ENPP

Хотя точное содержание, круг вопросов и график исследования ENPP будут изменяться в зависимости от определенного государства-члена, исследование осуществляется по хорошо установленной процедуре. После получения запроса от государства-члена, Агентство посылает двух или трех своих специалистов в эту страну на период около двух недель для установления контактов, знакомится с энергетической и экономической ситуацией в стране, разрабатывает различные организационные процедуры (организация местной группы, порядок работы и т. д.) и получает первоначальную информацию и данные.

После этой первой миссии Агентство предоставляет государству-члену общий счет, содержащий программу работ в рамках возможного исследования ENPP; разделение ответственности и потребности в кадрах, информации и т. д.

После детального ознакомления с этим отчетом как государства-члена, так и Агентства, принимается совместное решение о том, проводить ли исследование.

В случае положительного решения, рабочая группа Агентства начинает предварительный анализ будущих энергетических потребностей, основываясь на данных, собранных во время первой миссии. Национальная рабочая группа собирает дополнительную информацию, включающую любые недостающие данные, и посылает все в Агентство. Этот период проверки и изучения основной информации требует приблизительно шесть месяцев.

После достаточной проработки вопроса национальная рабочая группа прибывает в Агентство приблизительно на неделю для ознакомления с использованной методикой, рассмотрения и обсужде-

ния первых результатов анализа энергетических потребностей и введения необходимых изменений.

Затем следует приблизительно трехмесячный период работы обеих сторон, во время которого рабочая группа Агентства совершенствует исследование потребностей в энергии и электричестве, а национальная рабочая группа завершает сбор запрошенных данных и начинает собирать данные для применения модели ESEP (WASP).

После этого периода обычно необходима новая встреча, для того чтобы критически проанализировать результирующие потребности и определить основное содержание окончательного отчета.

Эту встречу следует проводить в штаб-квартире Агентства, для того чтобы продолжить ознакомление национальных рабочих групп с методиками.

Затем снова требуется трехмесячный период для углубленного анализа различных вариантов и начала исследования по моделям ESEP (WASP). Во время этого периода национальной рабочей группе следует обсудить предварительные результаты с различными ответственными лицами, принимающими решения в своей стране, для того чтобы выяснить их отношение и, если необходимо, переориентировать исследование.

Агентство вводит любые такие изменения в исследование и выдает предварительные результаты. На этом этапе целесообразна командировка в страну двух или трех сотрудников Секретариата приблизительно на неделю, для того чтобы обеспечить постановку моделей MAED и WASP на местной вычислительной технике, продолжить совместно, если необходимо, модификацию первой серии результатов и составить проект структурного плана окончательно отчета.

Затем начинаются приблизительно шесть месяцев интенсивной работы, в основном, для национальной рабочей группы, когда ее специалисты должны приобрести опыт по использованию моделей и повторить или внести изменения в анализы, уже проведенные рабочей группой Агентства как в плане потребностей, так и в плане их обеспечения. В этот же период обе рабочие группы начинают подготовку окончательно отчета.

После этого шестимесячного периода национальной рабочей группе следует прибыть в Агентство, чтобы завершить и выбрать конечный вариант анализа; обсудить и перейти к окончательному анализу чувствительности и обсудить отдельные части проекта отчета, подготовленного отдельно обеими рабочими группами.

После этой встречи группы работают вместе над подготовкой взаимоприемлемого окончательно отчета. Этот этап требует приблизительно четырех месяцев работы. На последней встрече или в Вене, или в государстве-члене определяются точное содержание и структура окончательно отчета.

Печатание отчета требует двух или трех месяцев. Поэтому официальное представление окончательно отчета национальным органам власти может быть сделано приблизительно через два года после первой миссии сотрудников Агентства в данное государство-член.

Необходимость долгосрочного национального планирования

Агентство продемонстрировало свои возможности в оказании помощи развивающимся государствам-членам в экономических аспектах планирования их будущих энергетических систем. Однако совершенствование планирования энергетики является долгосрочным процессом, требующим постоянного изучения, дополнений и улучшения.

Оценка экономической выгоды ядерной энергетики в развивающихся странах требует расширенного и углубленного анализа суммарного воздействия программы по ядерной энергетике на общее экономическое развитие страны.

Необходимо подчеркнуть три главных момента:

- Развитие ядерной энергетики в данной стране не может оцениваться изолированно. Ядерная энергия является только одной из возможностей среди многих других по получению вторичной энергии (такой как электричество и тепло) и планирование ядерной энергетики должно выполняться с учетом всех возможностей снабжения. Планирование ядерной энергетики включает оценку потребностей в различных типах и формах энергии, и следует рассматривать в целом по стране планирование развития энергетики и экономики.

- Планирование энергетики, электрической или ядерной, является проблемой, которая может разумно и рационально изучаться только национальными специалистами по энергетике. Агентство может оказать консультативную помощь и предоставить некоторые методики, но не может заменить правительственных экспертов, которые должны в конечном счете взять на себя ответственность за планирование развития энергетики в своей стране. Если необходима организация местной экспертизы, специалисты из государства-членов могут пройти обучение на курсах, проводимых Агентством. Агентство решительно подчеркивает, что совместное исследование по программе ENPR должно в основном выполняться национальной рабочей группой с дополнительной помощью экспертов из Агентства. При таком подходе подготовленная национальная рабочая группа будет в лучшем положении с точки зрения понимания ситуации в своей собственной стране и будет в состоянии проводить исследования, начатые в кооперации с Агентством.

- Наконец, необходимо подчеркнуть, что экономические исследования, подобные упомянутым в этой статье, являются лишь первым этапом в длительном процессе планирования ядерной энергетики. Необходимо провести множество дополнительных исследований и анализов, чтобы определить, практичен ли выбор ядерной энергии, и какова при этом должна быть национальная причастность к принятию решения о развитии программы ядерной энергетики. Сюда может входить комплекс проблем, таких как воздействие платежного баланса, финансовая стесненность, потребности в людских ресурсах и участие местной индустрии. Это те дополнительные факторы, о которых следует помнить, когда страна оценивает свои возможности по использованию ядерной энергии.