

## О методических основах прогнозирования развития ядерной энергетики

Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, Л. А. МЕЛЕНТЬЕВ, Б. Б. БАТУРОВ, Ю. И. КОРЯКИН, С. Я. ЧЕРНАВСКИЙ УДК 620.91

Для второй половины XX века характерно быстрое развитие всех звеньев топливно-энергетического хозяйства страны — энергетики в ее широком понимании, когда происходит все возрастающая взаимозаменяемость различных видов топлив и энергоносителей, а также усиление внутренних технических и экономических связей энергетики, концентрация производства и централизация распределения производимых энергетических ресурсов и электроэнергии, быстрое развитие на этой основе больших систем энергетики. Поэтому в современном представлении энергетика — это сложная совокупность больших развивающихся систем, в которую входят четыре основные специализированные системы: единая электроэнергетическая (ЕЭЭС), единая газоснабжающая (ЕГС), единая нефтеснабжающая (ЕНС) и замыкающая их единая система угольной промышленности (ЕУС). На уровне страны и ее основных регионов они образуют общеэнергетическую систему, охватывающую основные элементы и связи единого топливно-энергетического баланса [1, 2].

Естественно, что совокупность больших систем энергетики своими внешними связями входит в качестве подсистемы в систему народного хозяйства.

В будущем несомненно будет формироваться пятая специализированная система — ядерная энергетика (ЯЭ). По производимой продукции (электроэнергии) она будет иметь теснейшие связи с единой электроэнергетической системой, а через характеристики заменяемого минерального топлива — непосредственно включаться в единую общеэнергетическую систему страны (рис. 1). На верхнем иерархическом уровне больших систем энергетики находится единая общеэнергетическая система страны, которую формируют пять указанных специализированных систем. Именно на этом уровне

производится комплексная балансовая увязка и совместная оптимизация их основной структуры. На втором уровне осуществляется самостоятельное управление и уточнение оптимального развития специализированных систем. Но в энергетике помимо вертикальных существуют развитые горизонтальные связи, представляющие собой как бы третий уровень, на котором формируются районные общеэнергетические системы, объединяющие соответствующий разрез специализированных систем. Более низкие уровни, относящиеся к задачам функционирования энергетических узлов и предприятий, на рис. 1 не указаны.

Таким образом, на определенном этапе развития ядерная энергетика становится неотделимым звеном общего комплекса систем энергетики. Из этого исходного положения вытекает принципиальный вывод о том, что на определенных временных этапах нельзя выявлять относительную экономичность АЭС и прогнозировать развитие ядерной энергетики как системы путем изолированного сопоставления АЭС с отдельными типами электростанций на минеральном топливе. Ядерная энергетика несомненно будет оказывать существенное влияние на общую структуру общеэнергетической, прежде всего электроэнергетической и в значительной мере теплоснабжающей систем. Поэтому рациональные масштабы и способы развития ядерной энергетики надо определять с учетом выбора оптимальной структуры единых общеэнергетической и электроэнергетической систем, но не только СССР, а и стран — членов СЭВ в целом.

Последнее определяется очевидной целесообразностью в каждой из стран СЭВ иметь свои полностью автономные по всем внешним и внутренним связям и элементам системы ядерной энергетики.

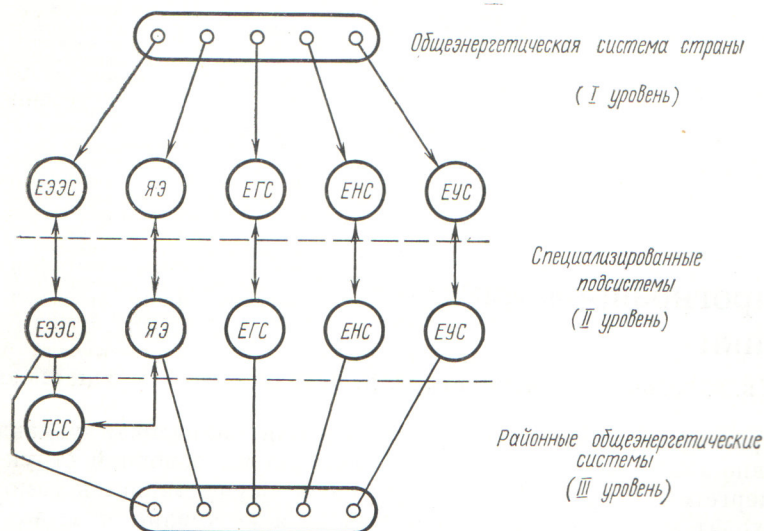


Рис. 1. Общая схема систем энергетики.

В период научно-технической революции возрастает необходимость в долгосрочном прогнозировании, ставящем своей целью комплексные обоснованные предсказания о направлении, содержании и объеме вероятных возможностей использования опознаваемых направлений развития технических средств и на основе этого анализ и учет долговременных последствий решений, принимаемых в народнохозяйственных планах. Долгосрочные прогнозы нужны и для энергетики в целом как важнейшего народнохозяйственного комплекса. Они особенно необходимы для формирующейся системы ядерной энергетики по следующим соображениям:

1. Развитие ядерной энергетики неизбежно приведет к коренным изменениям в структуре энергетики, к снижению стоимости производства электроэнергии, а следовательно, будет оказывать существенное влияние на углубление эффективных уровней электрификации народного хозяйства, размещение и развитие производительных сил.

2. Развитие ядерной энергетики в большом масштабе требует крупных денежных, материальных и трудовых ресурсов. Весьма велики расходы и на научные исследования. Так, например, по состоянию на 1966 г. в США только на разработку быстрых реакторов было израсходовано 2 млрд. долл. [3], за 1969—1971 гг. ~255 млн. долл. [4]. К началу массового применения быстрых реакторов, которое ожидается в 80-х годах, эта сумма существенно возрастет. Поэтому необходимо, чтобы зна-

чительные капитальные вложения в развитие ядерной энергетики были использованы наиболее эффективно и с выигрышем во времени.

3. Ядерноэнергетическая система как совокупность предприятий и производств, связанных с получением и переработкой ядерного горючего (топливный цикл ядерной энергетики), обладает значительными инерционностью и длительным инвестиционным циклом. Например, период с начала разработки энергетического быстрого реактора до момента массового внедрения составляет примерно 20 лет: длительность цикла создания АЭС освоенного типа от начала проектирования до пуска 6—8 лет. Имеется также инерция в прохождении ядер-

ного горючего во внешнем топливном цикле и в накоплении вторичного ядерного горючего. Весьма велик период от момента формирования потребностей ядерной энергетики в новом оборудовании и материалах до момента развертывания соответствующей машиностроительной и топливной баз. Ответственность за принимаемые в настоящее время технические концепции и решения усиливается, поскольку они во многом определяют характер и состояние последующего развития ядерной энергетики, а также масштаб достигаемого народнохозяйственного эффекта. В этих условиях исключительно важное значение приобретает выбор правильной стратегии развития ядерной энергетики в отношении типов реакторов и АЭС и характеристик предприятий внешнего топливного цикла, что должно быть сделано с учетом долгосрочного прогноза.

4. Хотя существенная роль быстрых реакторов в решении топливной проблемы ядерной энергетики очевидна, начало их массового ввода ожидается не ранее 80-х годов. Это придает особое значение выяснению совокупной роли быстрых реакторов в будущем развитии ядерной энергетики, масштабов достигаемого от их внедрения экономического эффекта, экономии материальных затрат (в том числе ядерного сырья), правильного выбора наиболее перспективных типов этих реакторов.

В то же время исследование условий развития быстрых реакторов следует рассматривать как возможный среди других путь усовершен-

ствования топливной базы ядерной энергетики. Определенное значение могут приобрести, например, решения, связанные с удешевлением способов добычи и переработки ядерного горючего, созданием ториевых систем и т. д.

**О подходе к выбору расчетной длительности долгосрочного прогнозирования.** Требуемая временная глубина прогноза определяется [3] как наибольший интервал времени, в течение которого на развитие исследуемой системы еще оказывают влияние решения, принимаемые в данный момент времени\*. За этим временным интервалом долгосрочные прогнозы лишены смысла. Однако практическое применение указанного критерия о временной глубине долгосрочного прогнозирования осложняется тем, что, с одной стороны, большие искусственные системы, образующие народное хозяйство, тесно взаимодействуют, а с другой, в зависимости от специфики для этих систем необходимы различные временные глубины долгосрочного прогнозирования. Например, по данным работы [3] требуемый расчетный период долгосрочного прогнозирования для легкой промышленности составляет 5—10 лет, а для ядерной энергетики 30—50 лет. Поэтому возникает сложный и еще недостаточно изученный вопрос о взаимном согласовании временной глубины долгосрочного прогнозирования развития всей совокупности больших систем, характеризующих народное хозяйство, и входящих в них отдельных специализированных систем. Решение этого вопроса существенно определит методологию прогнозирования и степень целесообразной его детализации.

Ниже на примере энергетики излагается один из возможных подходов к решению этой сложной задачи, требующему уточнения в процессе накопления опыта. Очевидна необходимость достаточно длительного комплексного прогнозирования развития народного хозяйства на 15—20 лет. Такие прогнозы позволят существенно повысить качество пятилетних планов в отношении «заделных» капиталовложений, проектно-изыскательских работ, разработки новых типов оборудования и т. д.

Достаточное же знание на этот период ценностных соотношений позволит применить оп-

тимизационные технико-экономические расчеты, наиболее соответствующие задачам прогнозирования. При этом надо учитывать вероятную погрешность исходной информации и методов решения, а также неопределенность из-за неполного знания будущих условий развития системы, что исключает возможность получения однозначного состояния системы. По мере удаления в будущее это приводит к тому, что прогнозы становятся менее детальными. Долгосрочный прогноз, таким образом, оказывается связанным с наиболее принципиальными решениями в области технической политики ядерной энергетики. В частности, опыт показывает, что для заданий по геологопоисковым работам, а также для решения узловых хозяйственных и научно-технических проблем энергетики необходимы долгосрочные прогнозы на 25—30 лет, а возможно, и более.

Поэтому возникает вопрос, как в таких прогнозах учитывать внешние связи ядерной энергетики с другими системами энергетики и народного хозяйства в целом. Предварительно представляется, что если на период 15—20 лет эти внешние связи по возможности следует учитывать наиболее подробно вплоть до их комплексной оптимизации, то для более отдаленной перспективы допустимо прибегать к упрощающим приемам. Так, из выполненных работ, посвященных выбору экономически обоснованного уровня развития АЭС в ближайшие 20 лет, следуют два важных вывода:

1. АЭС в основном разместятся в европейских районах страны, где будут вытеснять базисные тепловые электростанции на угольном топливе и частично — маневренные ТЭС на газомазутном топливе.

2. Для успешной экономической конкуренции с этими электростанциями в базисной и полупиковых частях графика электрической нагрузки удельные капиталовложения в АЭС могут быть повышены в среднем не более чем на 40—50% по сравнению с капиталовложениями в ТЭС. Это означает, что при существующих ценах расчетные затраты на производство электроэнергии по базисным АЭС должны составлять в зависимости от района в среднем не более 0,80—0,85 коп/квт·ч, а по полупиковым АЭС в среднем не более 0,90—0,95 коп/квт·ч. Такие цифры по уровню конца 80-х, начала 90-х годов оцениваются в настоящее время как достаточно реалистичные. Можно предположить, что в дальнейшем повышение экономичности АЭС будет более быстрым, чем экономичности ТЭС на минеральном топ-

\* Это относится к прогнозам развития больших искусственных систем. Развиваются также глобальные прогнозы, имеющие общепознавательный характер, например долгосрочные прогнозы, посвященные проблеме человек — биосфера, и другие, не обсуждаемые в данной статье.

ливе (включая эффект от снижения затрат на замыкающее топливо). При этом, по-видимому, экономически обоснованные темпы развития ТЭС будут в основном определяться темпами прироста электрической нагрузки в европейских районах страны и возможностями атомного машиностроения. Прогноз же роста темпов потребности в электроэнергии на 25—30 лет может быть сделан достаточно уверенно в относительно ограниченном диапазоне. На темпы развития ядерной энергетики будут влиять решения о ее развитии в рамках СЭВ. В этих условиях методы долгосрочного прогнозирования в основном должны иметь целью определение эффективных стратегий развития ядерной энергетики.

**О возможных методах прогнозирования развития ядерной энергетики.** Развитие ядерной энергетики, как всех больших систем, зависит от проявления как причинно-необходимых, так и причинно-случайных связей. Поэтому по настоящему состоянию системы нельзя однозначно определить ее будущее. Иначе говоря, всегда существует неопределенность в решениях о будущем развитии системы, которая при прочих равных условиях тем больше, чем продолжительнее рассматриваемый отрезок времени. Поэтому при долгосрочном прогнозировании должен найти широкое применение так называемый исследовательский прогноз, отвечающий на вопрос «что будет, если...» и направленный от настоящего к будущему. При таком подходе можно пофакторным анализом выявить требования к исходной информации, оценить степень ее существенности и получить «дерево целей». Важным является

также метод нормативного прогнозирования, отвечающий на вопрос «что надо сделать, чтобы было...». Он предполагает знание будущих целей, выражаемых с помощью «дерева целей», построенного в виде определенной иерархической структуры. Этот прогноз направлен от будущего к настоящему и определяет решения, которые следует принять в настоящее время. По-видимому, для долгосрочного прогнозирования развития ядерной энергетики необходимо сочетание этих двух различных подходов, которое может быть достигнуто как в итерационном цикле расчетов, так и применением метода исследовательского прогнозирования с нормативным подходом, что позволяет в конечном итоге для внешних связей, задаваемых альтернативно, получить рациональную внутреннюю структуру ядерной энергетики.

Сложным и спорным является вопрос об определении рациональной степени детализации технико-экономических показателей и области применения оптимизационных расчетов при прогнозировании. Их применение целесообразно, так как позволяет получить или наметить круг обоснованных решений. Опасность заключается только в недооценке незнания будущих экономических пропорций, которые фактически можно принимать по условиям существующего ценообразования лишь с вероятностной оценкой их изменения под влиянием научно-технического прогресса. Кроме того, в принятой системе технико-экономических расчетов затраты будущих лет оцениваются с коэффициентом меньше единицы в предположении, что для государства не безразлично, требуется ли вложить в данное реше-

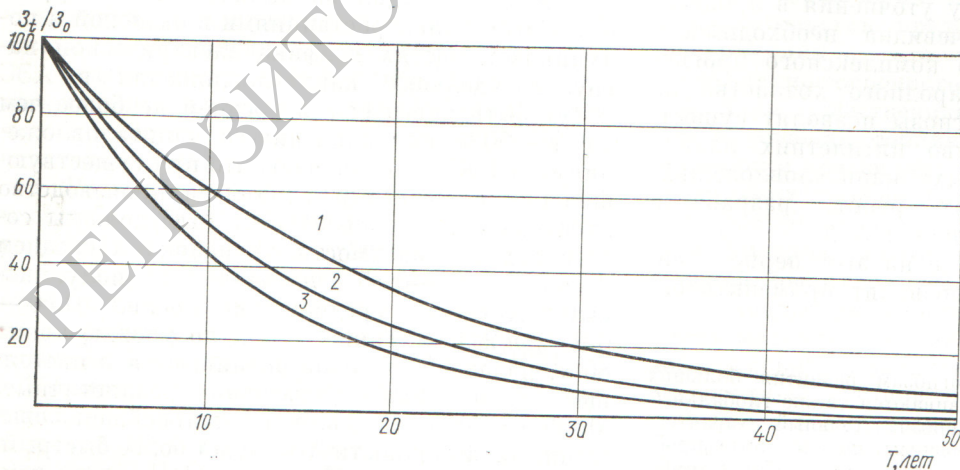


Рис. 2. Влияние временной глубины прогноза на относительную значимость затрат.

ние средства сегодня или, например, через 10—20 лет. Такой прием приведения разновременных затрат, как известно, называют дисконтированием затрат.

На рис. 2 показано влияние коэффициента дисконтирования  $\sigma_{пр}$  на значимость затрат в зависимости от временной глубины прогнозирования при  $\sigma_{пр}$ , равных 0,06; 0,08 и 0,10 (соответственно кривые 1, 2 и 3). В настоящее время принимают  $\sigma_{пр} = 0,08$ . В этом случае при вероятной средней погрешности существенной исходной информации даже в пределах  $\pm 5\%$  оптимизационные денежные расчеты на период порядка 30 лет, как следует из рис. 2, теряют свой смысл, так как оценка более отдаленных затрат стремится к нулю. Эти соображения характеризуют максимальную возможную временную глубину прогнозирования, зависящую как от точности исходной информации, так и от метода прогнозирования. Надо, однако, отметить, что кривые рис. 2 получены в предположении равномерности затрат в течение рассматриваемого периода, а нарастающий темп затрат, характерный для ядерной энергетики, сглаживает влияние дисконтирования. В связи с этим применение денежных расчетов на длительную перспективу требует глубокого обоснования.

По-видимому, будет более правильным применение относительных безразмерных экономических показателей. Но в целом очевидно, что чем удаленнее прогнозируемый период, тем меньшее значение будут иметь денежные оценки сравниваемых вариантов.

**Система математических моделей как важнейшее средство прогнозирования.** Математическое моделирование позволяет:

1) рассматривать большое число возможных путей (стратегий) развития ядерной энергетики, что особенно важно для нынешнего этапа ее формирования;

2) при анализе путей развития ядерной энергетики учитывать большое число влияющих факторов и оценивать каждый из них, а также определять степень и зоны устойчивости рассматриваемых решений по отношению к изменениям этих факторов;

3) быстро производить сложные и очень трудоемкие расчеты, что создает возможность осуществления многовариантной системы прогнозирования;

4) для определенных периодов времени оценивать влияние развития ядерной энергетики на энергетику в целом и обратную зависимость,

а также выяснять смежные проблемы для различных участков народного хозяйства;

5) правильно и многосторонне представлять и оценивать смысл и содержание современных усилий по развитию ядерной энергетики; намечать эффективные пути научно-технического прогресса или проведения текущих работ по усовершенствованию АЭС и топливного цикла ядерной энергетики;

6) сокращать затраты и время при проведении работ по прогнозированию.

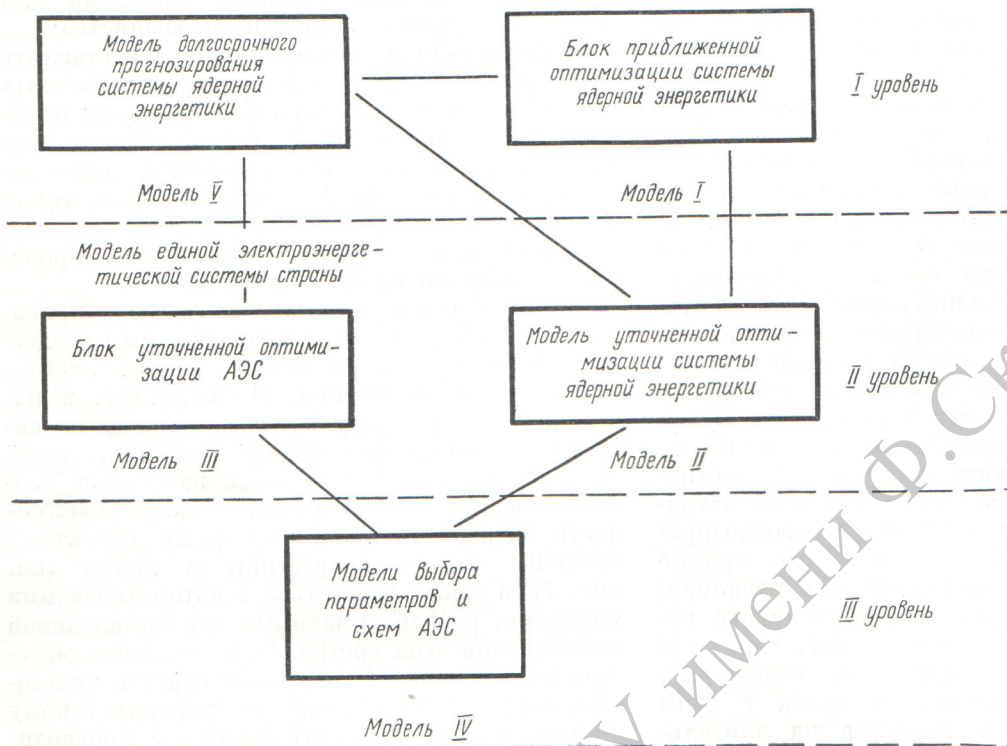
Таким образом, математическое моделирование является наиболее целесообразным средством анализа развития таких сложных систем, как ядерная энергетика. По-видимому, в настоящее время следует создавать взаимосвязанную совокупность математических моделей для изучения разнообразных вариантов развития ядерной энергетики. Такая совокупность моделей должна учитывать структуру больших систем энергетики в целом (см. рис. 1), а также сочетаться с математическими моделями, разрабатываемыми для комплексной оптимизации этих систем. Опыт создания математических моделей позволяет считать целесообразным их построение по иерархическому принципу. Так, для оптимизации и прогнозирования развития системы ядерной энергетики может быть предложен комплекс взаимосвязанных моделей (рис. 3).

Модель I является блоком системы ядерной энергетики в общей модели оптимизации развития общенергетической системы страны (см. рис. 1). В ней производится взаимная комплексная увязка развития пяти специализированных систем: электроэнергетической, ядерной энергетики, газоснабжающей, нефтеснабжающей и угольной промышленности. В итоге в системе ядерной энергетики определяются экономически обоснованные масштабы развития, основные районы размещения АЭС, приближенные режимы их работы, допустимые экономические показатели и др.

Модель II является моделью второго уровня иерархии. В ней по итогам решений модели I производится уточненная комплексная оптимизация развития системы ядерной энергетики.

Модель III принадлежит ко второму уровню иерархии. Она является блоком общей модели оптимизации развития структуры единой электроэнергетической системы и служит для уточнения экономичности, размещения и режимов использования АЭС конденсационного и теплофикационного типов как элементов этой системы.

МОДЕЛЬ ОБЩЕЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТРАНЫ



Р и с. 3. Схема комплекса математических моделей для оптимизации и прогнозирования развития системы ядерной энергетики.

Модель IV принадлежит к третьему уровню иерархии и производит комплексную оптимизацию параметров и схем АЭС заданных типов.

Все эти модели предназначены для оптимизации и прогнозирования развития ядерной энергетики на период до 20 лет. Предполагается их использование в едином итерационном цикле с полным учетом прямых и обратных связей, а также имеющихся внешних ограничений на развитие ядерной энергетики.

Модель V имеет специальное назначение осуществлять долгосрочное прогнозирование на период более длительный, чем 20 лет. Предполагается, что эта модель, с одной стороны, базируется на решениях, полученных в моделях I—IV, а с другой — позволяет уточнить решения, получаемые на срок примерно 20 лет с учетом более длительной перспективы. В последнем и заключается основное назначение модели V как модели первого уровня.

Математическая модель состоит из описания объекта (системы ядерной энергетики), его внешних связей, целевой функции и алгоритма

исследования модели. В описание исследуемой системы включаются: список конкурирующих в течение прогнозируемого периода типоразмеров (как АЭС с их существующими, проектными и прогнозируемыми показателями, так и предприятий топливного цикла), а также описание внутренних структурных связей между отдельными элементами системы.

Принятые описания внешних и внутренних связей накладывают на возможные пути развития ядерной энергетики учитываемые в модели основные ограничения на: суммарную по интервалам прогнозируемого периода мощность АЭС и выработку ими электроэнергии; режим использования АЭС; величину вновь вводимой установленной мощности АЭС новых типов (например, с быстрыми реакторами); динамику повышения единичных мощностей вновь вводимых блоков АЭС; допустимую величину технико-экономических показателей АЭС; степень освоения вновь вводимых АЭС; запасы плутония в системе (принимается, что запас товарного вторичного ядерного горючего плутония и  $U^{233}$  в системе всегда  $\geq 0$ ); затраты

на извлечение первичного ядерного горючего из природных ресурсов.

В модели учитывается возможность изменения показателей АЭС как по годам ввода, так и после ввода их в эксплуатацию.

Опыт использования математических моделей для изучения развития больших систем энергетики позволяет достаточно уверенно исследовать рассматриваемую модель на основе применения методов линейного программирования. В такой модели сложным и спорным надо считать вопрос о выборе критерия целевой функции (критерия цели).

При выборе вида целевой функции важно определить ее таким образом, чтобы результат был устойчив относительно вариации ряда исходных предпосылок, в особенности тех, для которых возможна известная неопределенность при их назначении. К числу таких предпосылок следует отнести, например, глубину прогнозирования, способ учета затрат на эксплуатацию систем и за пределами глубины прогнозирования, значения нормативных коэффициентов эффективности и одновременности затрат.

Предлагаемый ниже вид целевой функции — один из возможных ее видов. Он может подлежать специальному дополнительному обсуждению. Тем не менее, по оценке авторов, он обладает рядом достоинств с точки зрения удовлетворения указанных выше требований. Его применение, с одной стороны, позволяет избежать использования недостоверных исходных данных для будущих лет, а также зависимости от нормативного коэффициента эффективности, с другой стороны, предлагаемый вид целевой функции для реальных глубин прогнозирования и возможных темпов развития ядерной энергетики хорошо согласуется с данными, которые могут быть получены при использовании методики «приведенных затрат», применяемой для оценки эффективности сооружения отдельных объектов при текущем проектировании и строительстве.

В общем случае такой критерий может быть записан в виде

$$Z = \sigma_{\text{н}} \sum_k \sum_{t=1}^T (K_{k,t} + I_{k,t}) (1 + \sigma_{\text{пр}})^{1-t} + \sum_k I_{k,t > T} (1 + \sigma_{\text{пр}})^{1-T}, \quad (1)$$

где  $T$  — величина расчетного периода;  $\sigma_{\text{н}}$  — коэффициент эффективности капиталовложений в прогнозируемом периоде;  $K_{k,t}$  — капиталовложения в  $k$ -й объект в год  $t$ ;  $I_{k,t}$  —

издержка эксплуатации  $k$ -го объекта в год  $t$ ;  $I_{k,t > T}$  — среднегодовые издержки эксплуатации объекта за пределами прогнозируемого периода.

В этом выражении суммирование производится по всем годам прогнозируемого периода (длительностью  $T$ ) и всем энергетическим объектам, вводимым в строй и эксплуатирующимся в течение этого периода. Вид критерия (1) предполагает, что за пределами расчетного периода издержки производства по системе считаются постоянными, а капиталовложения равны нулю. Иначе говоря, предполагаются условия, неприменимые для развивающейся системы и тем в большей мере, чем длительнее период  $T$ .

За пределами возможной глубины прогноза  $T$  точность определения величины издержек  $I_{k,t > T}$ , как правило, недопустимо низка. Поэтому, по-видимому, для рассматриваемой модели было бы правильнее исключить из рассмотрения последний член выражения (1). Тогда критерий экономической оптимизации можно упрощенно записать в виде

$$Z = \sum_k \sum_{t=1}^T (K_{k,t} + I_{k,t}) (1 + \sigma_{\text{пр}})^{1-t}. \quad (2)$$

Принятие в этом критерии равнозначными значения величин  $K$  и  $I$  требует дополнительного изучения. Строгая формальная оптимизация по выражению (2) приводит к вводу в конце прогнозируемого периода только тех АЭС, которые характеризуются минимальными начальными капиталовложениями (без учета издержек производства, которые могут быть значительными). Поэтому при анализе устойчивости решения с использованием целевой функции (2), по-видимому, определится временной интервал устойчивого решения  $T'$ . Тогда величина  $T'$  — временной интервал оптимального решения, а  $T - T'$  — интервал квазиоптимального решения. В модель могут быть введены и иные виды целевой функции, например минимум расхода первичного ядерного горючего. Важно отметить, что рассматриваемая модель строится как динамическая, учитывающая последствие принимаемых решений за период прогноза, разделенный на отдельные отрезки времени, что в наибольшей мере соответствует свойствам системы ядерной энергетики. Это же касается оценки влияния величины коэффициента дисконтирования на устойчивость результата прогноза, что будет выяснено расчетно-экспериментальным путем.

Построенная модель применительно к ЭЦВМ БЭСМ-4 позволяет производить расчеты для 25 временных интервалов. Применительно к ЭЦВМ более высокого класса она может учитывать большее число временных интервалов.

Для динамических расчетов денежный критерий оптимизации можно записать следующим образом:

$$Z = \sum_{k=1}^n \sum_{\tau=1}^T (K_{k,\tau} + K_{k,\tau}^0 + I_{k,\tau}^0 + I_{k,\tau}) + \sum_{t=1}^T (I_0^0 + I_0), \quad (3)$$

где выражение в первых скобках — вновь вводимые АЭС, а во вторых — существующие АЭС;  $K_{k,\tau}$  — приведенные капитальные затраты на сооружение АЭС  $k$ -го типа, вводимых в эксплуатацию в году  $\tau$ ;  $K_{k,\tau}^0$  — приведенные капиталовложения в первоначальную загрузку АЭС;  $I_{k,\tau}^0$  — постоянная составляющая приведенных эксплуатационных издержек за период эксплуатации в течение прогнозируемого периода АЭС  $k$ -типа, вводимых в году  $\tau$ ;  $I_{k,\tau}$  — топливная составляющая приведенных эксплуатационных издержек за весь период эксплуатации вводимых АЭС в течение прогнозируемого периода;  $I_0^0$ ,  $I_0$  — соответственно постоянные и топливные приведенные затраты за время эксплуатации существующих к началу расчетного периода АЭС.

Особенность рассматриваемой модели заключается в возможности ее использования для исследования оптимального развития структуры ядерной энергетики и нормативного прогнозирования, поскольку в ней предусматривается выбор оптимальной структуры в пространстве возможных путей развития ядерной энергетики с учетом возможной неопределенности решений.

Из изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Для правильного развития пока формируемой и капиталоемкой системы ядерной энергетики важно научно обоснованное долгосрочное прогнозирование, которое позволит принять правильные решения с учетом долготеряемого последствия этих решений.

2. Поскольку система ядерной энергетики является одной из важных в совокупности больших систем энергетики, прогнозирование ее развития должно осуществляться в рамках единой общеэнергетической системы страны. При этом при глубине прогнозирования более 20 лет возможен упрощенный учет ее внешних связей с другими системами энергетики в основном путем варьирования темпов роста мощностей АЭС.

3. Для оптимизации и долгосрочного прогнозирования развития ядерной энергетики рекомендуется взаимосвязанный комплекс математических моделей.

4. Рассмотренная в статье основа математической модели долгосрочного прогнозирования развития ядерной энергетики, по-видимому, может быть важным средством такого прогнозирования.

5. Дополнительного изучения требует опыт применения денежных и иных критериев целевой функции модели.

6. Опыт экспериментальных расчетов по модели долгосрочного прогнозирования позволит существенно усовершенствовать его методы.

Поступила в Редакцию 17/V 1971 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вопросы оптимизации и управления большими системами энергетики. Т. I. Труды СЭИ СО АН СССР. Иркутск, 1970.
2. Л. А. Мелентьев. «Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт», № 2 (1971).
3. Э. Янч. Прогнозирование научно-технического прогресса. М., «Прогресс», 1970.
4. Nucl. Week, 11, № 5, 1 (1970); Atomic Energy Clearing House, 16, № 5, 58 (1970).