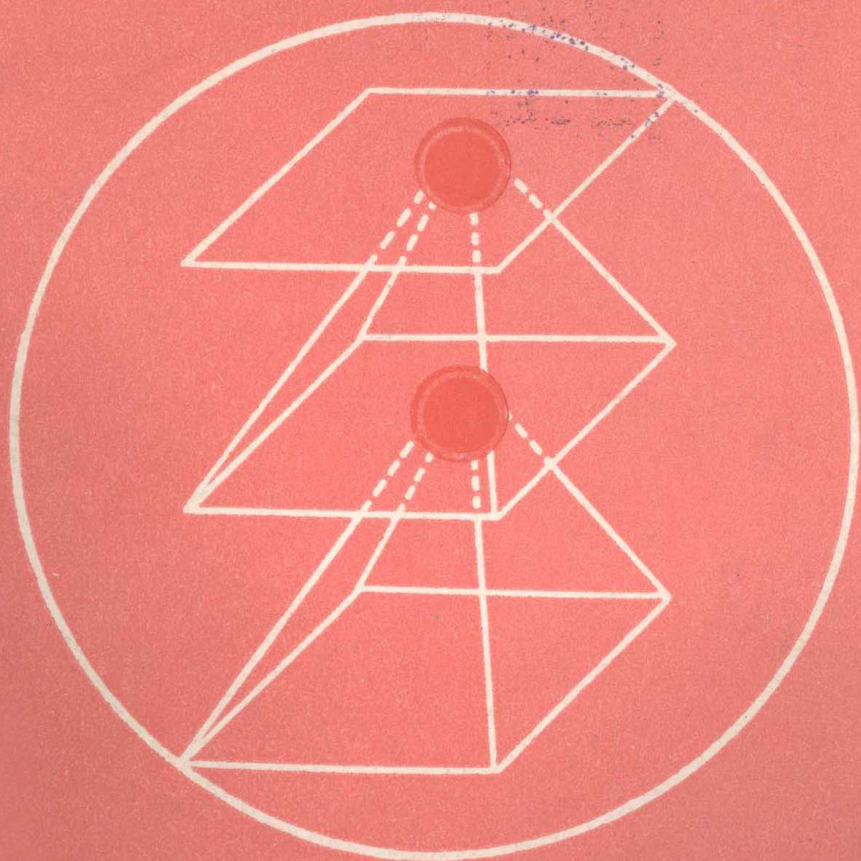


А.Д.ЦВИРКУН
В.К.АКИНФИН
М.М.СОЛОВЬЕВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ КРУПНО- МАСШТАБНЫХ СИСТЕМ



·ЭКОНОМИКА·

**А.Д.ЦВИРКУН
В.К.АКИНФЬЕВ
М.М.СОЛОВЬЕВ**

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ КРУПНО- МАСШТАБНЫХ СИСТЕМ

**(НА ПРИМЕРЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
ОТРАСЛЕЙ И КОМПЛЕКСОВ)**



МОСКВА «ЭКОНОМИКА» 1983

ББК 65.9(2)23

Ц 28

Рецензент: доктор экономических наук,
профессор А. М. ПЯТКИН

Ц $\frac{0604020102-116}{011(01)-83}$ 45-83

© Издательство «Экономика», 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

Усложнение структуры народнохозяйственных систем, обусловленное ростом размеров и сложности производственных процессов и процессов управления ими, выдвигает ряд проблем, связанных с научным обоснованием построения таких структур.

Важный класс сложных (больших) систем представляют крупномасштабные системы, характеризующиеся, если говорить о народнохозяйственных системах, комплексным (международным, межотраслевым) взаимодействием элементов системы, рассредоточенных на значительной территории, требующих для своего развития существенных затрат ресурсов и времени.

Для элементов рассматриваемых систем характерны длительные сроки развития, необходимость учета влияния обеспечивающих отраслей народного хозяйства, что порождает особую инерционность развития систем и требует долгосрочного планирования развития их структуры.

Под структурой крупномасштабной системы в данной работе понимается состав ее элементов с соответствующими взаимосвязями в динамике их развития и функционирования. Непрерывность развития, выражающаяся в постоянном изменении структуры системы, является важнейшей особенностью крупномасштабных систем. Процесс развития крупномасштабных систем носит необратимый характер, т. е., как правило, интегральные характеристики, определяющие «продукт» на «выходе» системы, в процессе развития в целом не убывают, хотя характер изменения отдельных элементов системы может быть различен. При этом в процессе развития расширяется состав элементов крупномасштабной системы и усложняются их взаимосвязи.

При управлении развитием крупномасштабной системы необходимо взаимосвязанное решение двух групп вопросов. К первой относятся вопросы развития структуры управляемой производственно-транспортной системы, т. е. определение оптимального состава элементов и их взаимосвязей, рас-

пределение плановых заданий по элементам и т. п. Ко второй — вопросы развития структуры системы управления, включающие выбор иерархии управления, распределение выполняемых функций управления между уровнями и узлами системы.

В настоящее время во многих отраслях народного хозяйства разрабатываются долгосрочные программы развития структур крупномасштабных систем. Примерами таких систем могут служить: топливно-энергетический комплекс СССР в целом и отдельные его отрасли; создаваемый комплекс атомных электростанций в европейской части СССР; региональный Канско-Ачинский топливно-энергетический комплекс; Единая газоснабжающая сеть страны и др.

Основное содержание предлагаемой читателю книги составляют полученные авторами новые результаты, нашедшие конкретное применение в различных задачах планирования развития крупномасштабных систем. Излагаются методы планирования развития крупномасштабных систем, основанные на взаимодействии в процессе формирования плана развития крупномасштабных систем комплекса моделей, описывающего систему на различных уровнях детализации, в том числе на уровне агрегированных показателей и на уровне отдельных производственно-транспортных элементов. Основное внимание уделено изложению единого подхода к формализации задач планирования региональных и отраслевых программ развития крупномасштабных систем и построения расчетных оптимизационных моделей.

В основу рассматриваемого подхода положены принципы создания комплекса инвестиционных моделей, имеющего библиотеку элементов моделей, что позволяет с достаточной гибкостью формировать разнообразные модели, предназначенные для решения конкретных задач обоснования и принятия плановых решений.

Последовательно описывается комплекс моделей развития крупномасштабных производственно-транспортных систем, включающих модели развития производственных и транспортных элементов системы, строительных организаций, обеспечивающих отраслей, технологических и временных ограничений и др. Существенное внимание в книге уделено алгоритмическим средствам решения рассматриваемых задач. Приводятся примеры использования описанных моделей и методов для разработки планов развития крупномасштабных систем (долгосрочных программ строительства комплексов электростанций и магистральных ли-

ний электропередач, планирования развития Единой газоснабжающей сети страны и ряда других).

К основным проблемам оптимизации долгосрочных программ развития, рассматриваемым в книге, относятся проблемы, связанные с планированием строительства новых и реконструкции существующих объектов с учетом динамики сооружения объектов, ввода мощностей, изменения уровня потребления продукции по отдельным регионам и в целом по стране, возможностей строительных организаций и ограничений на технологию строительства. В настоящее время этим вопросам придается важное значение в связи с разработкой ряда долгосрочных программ развития систем, большое государственное значение которых отмечалось на XXVI съезде КПСС и в известном постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 12 июля 1979 года¹.

Модели и методы планирования развития структуры крупномасштабных систем, излагаемые в книге, родились благодаря исследованиям, проведенным в Институте проблем управления в области синтеза структур топливно-энергетических, отраслевых и региональных производственно-транспортных систем.

Авторы надеются, что данная книга послужит дальнейшим исследованиям в рассматриваемой области, а результаты, представленные в ней, найдут применение при планировании развития крупномасштабных народнохозяйственных систем.

¹ Материалы XXVI съезда КПСС. М.: Политиздат, 1981, с. 50, 125; О дальнейшем совершенствовании хозяйственного механизма и задачах партийных и государственных органов: Постановление ЦК КПСС от 12 июля 1979 года; Об улучшении планирования и усилении воздействия хозяйственного механизма на повышение эффективности производства и качества работы: Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 12 июля 1979 года. М.: Политиздат, 1979, с. 8—13, 31.

ВВЕДЕНИЕ

При разработке крупномасштабных систем возникает проблема взаимосвязанного описания, анализа и синтеза различных аспектов деятельности систем: процессов выбора целей и принятия решений, обработки информации, технологических процессов.

Обычно для крупномасштабных систем оказывается невозможным описание их структурных свойств и особенностей на одном уровне детализации, поэтому такие системы должны представляться в виде взаимосвязанной совокупности элементов различных уровней детализации и этапов развития: уровня целей функционирования подсистем и системы в целом; функций и задач элементов системы; звеньев организационной иерархии; производственных и транспортных объектов; технических средств и т. д. Причем на указанных этапах и уровнях описания структур крупномасштабных систем могут использоваться различные средства и языки — вербальные описания, теория множеств, аналитические и графоаналитические, алгоритмические процедуры, альтернативно-графовая формализация и т. п.

При синтезе структуры сложных систем эффективным является принцип последовательного синтеза моделей допустимых вариантов построения отдельных элементов, частей и системы в целом с последующим выбором с помощью синтезируемой модели структуры системы наилучшего варианта ее реализации и развития. Такой подход позволяет выделить типовые задачи синтеза структуры сложных систем, детализация которых определяется этапом и целями разработки.

Задачи синтеза структуры крупномасштабных систем могут быть поставлены для различных уровней детализации описания системы. На верхнем уровне формализуются цели, реализуемые системой управления, выполняемые ею функции и задачи управления. Основу рассмотренной формализации составляет агрегативно-декомпозиционный

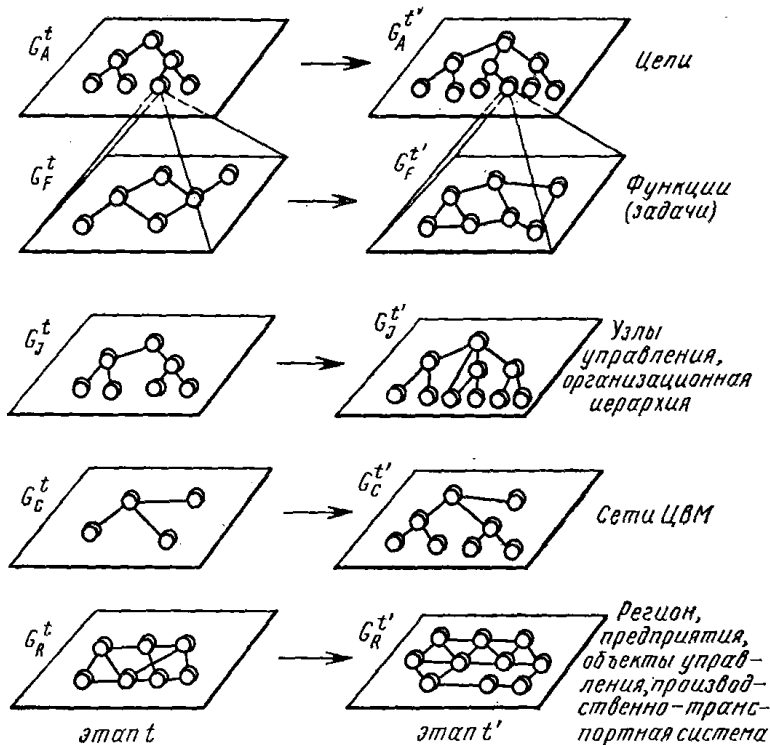


Рис. 1

подход [37], состоящий в представлении системы в виде совокупности взаимосвязанных элементов различного уровня детализации. Для формализации взаимосвязей различных вариантов построения элементов системы используется альтернативно-графовая формализация, в которой различные варианты построения элементов (либо множества таких элементов) задаются в виде вершин альтернативного графа, а дуги отражают их взаимосвязи. Очевидно, что данный граф может быть также представлен на различных уровнях детализации (на уровнях отраслей, предприятий и т. д.).

Агрегативно-декомпозиционный подход включает два взаимосвязанных этапа: последовательную декомпозицию выполняемых системой целей, функций, задач и агрегирование (объединение) на соответствующих уровнях детализации элементов для генерирования вариантов построения системы в целом на рассматриваемом уровне детализации.

На рис. 1 граф $G_A = (A, \Gamma_A)$ задает взаимосвязи множества альтернативных вариантов выполнения целей управления, реализуемых системой; здесь A — множество вершин

графа, соответствующих различным уровням детализации целей, выполняемых системой, а Γ_A — множество дуг, отражающих характер их взаимосвязей.

Граф $G_F = (F, \Gamma_F)$ задает альтернативные варианты реализации функций и задач управления; здесь F — множество вершин графа, отражающих альтернативные варианты реализации функций (задач) системы, Γ_F — множество дуг графа, отражающих логические взаимосвязи и последовательность их выполнения при реализации. Элементы данного графа являются детализацией вершин графа G_A .

Граф $G_J = (J, \Gamma_J)$ определяет варианты реализации узлов системы управления и их взаимосвязи.

Граф $G_C = (C, \Gamma_C)$ отражает структуру сети ЦВМ и может быть детализирован до устройств отдельной ЦВМ (модулей, микропроцессоров и т. д.).

Граф $G_R = (R, \Gamma_R)$ определяет взаимосвязи управляемых объектов, элементов производственно-транспортных систем, регионов, предприятий и может быть детализирован до отдельных этапов и объектов технологического процесса, агрегатов и т. д.

Как отмечалось выше, агрегативно-декомпозиционный подход включает агрегирование на соответствующем уровне детализации элементов для генерирования вариантов построения системы в целом. Агрегирование может быть выполнено различными способами, и на характер агрегирования существенное влияние оказывает вид графа G_J , отражающего характер взаимосвязей узлов системы, вид графа G_C , отражающего структуру сети ВЦ, и также вид графа G_R , отражающего особенности управляемых производств и объектов. Задачи агрегирования элементов соответствующих уровней (G_A , G_F) возникают также при распределении этих элементов по элементам графов G_J и G_C с учетом их взаимосвязи с элементами графа G_R . С учетом специфики различных систем соответствующие задачи синтеза структуры сложных систем могут быть сформулированы на каждом из приведенных уровней детализации построения системы.

Структурные параметры считаются традиционно той основой, костяком системы, которые наиболее консервативны и мало изменяются во времени. Однако при создании крупномасштабных систем, когда планирование осуществляется на 10, 15 и более лет структурные параметры перестают быть неизменными.

Этапы $t, \dots, t'$ и т. д. на рис. 1 отражают динамику развития элементов структуры крупномасштабных систем,

при этом возникает ряд важных новых задач синтеза их структуры.

Динамические задачи синтеза структуры систем могут быть сформулированы для одного уровня или совокупности уровней развития элементов системы.

Динамический характер задач синтеза структуры требует создания методов формализации и оптимизации: от сценариев развития (с учетом целевых программ, долгосрочных планов развития производства, принципов управления и методов контроля за реализацией и стимулированием выполнения плана) до выбора рациональных производственных и управленческих структур, включая вопросы рационального использования вычислительной техники.

Учет динамики развития элементов при анализе и синтезе структуры требует совместного использования оптимизационных и имитационных моделей, итеративных процедур выбора рациональных вариантов структуры системы.

Структура крупномасштабной системы в каждый период планирования может быть представлена в виде семейства множеств

$$C(\tau) = \{E(\tau), A(\tau), X(\tau), T\},$$

где $E(\tau)$ — множество элементов системы в период развития системы $\tau \in T$; $A(\tau)$ — множество взаимосвязей элементов системы в период $\tau \in T$; $X(\tau)$ — множество характеристик элементов системы в период $\tau \in T$; T — множество рассматриваемых периодов планирования развития системы.

Множество элементов системы в каждый период планирования τ представляет собой совокупность реально существующих и функционирующих к периоду τ элементов $E_1(\tau)$ и элементов системы $E_2(\tau, \tau')$, $(\tau < \tau') \in T$, находящихся на стадии развития и ввод в эксплуатацию которых предусмотрен в период τ . Таким образом,

$$E(\tau) = E_1(\tau) \cup E_2(\tau, \tau'), (\tau < \tau') \in T, E_1(\tau) \cap E_2(\tau, \tau') = \emptyset.$$

Различные свойства элементов системы $l_i \in E(\tau)$ описываются посредством их характеристик на различных уровнях детализации. Каждому элементу системы i в период планирования τ соответствует множество его характеристик

$$X_i^\tau = \{X_{ij}/i \in I^\tau, j \in J_i^\tau\},$$

где I^τ — множество индексов элементов системы, J_i^τ — множество индексов характеристик элемента i в период τ

Таким образом, на множествах $E(\tau)$ и $X(\tau)$ задано соответствие соответствия ψ_E^τ для каждого периода планирования τ :

$$\psi_{EX}^\tau = \{(l_i, X_i(\tau)) / l_i \in E(\tau), X(\tau)\}.$$

Функциональная часть крупномасштабных систем формулируется в виде альтернативных графов на уровнях целей функционирования и выполняемых функций и функциональных задач. Организационная часть системы формулируется аналогичным образом на уровнях: узлов управления (организационной иерархии), регионов, предприятий, отдельных объектов управления, производственных и технологических процессов, агрегатов, а также сетей ЭВМ и вычислительных центров. На полученной таким образом многоуровневой модели крупномасштабной системы в виде взаимосвязанной совокупности альтернативных графов различной степени детализации элементов структуры и их взаимосвязей ставятся задачи синтеза структуры подсистем и системы в целом. При этом выделяются задачи двух типов:

задачи оптимизации структурного построения системы на одном уровне детализации, которые формально сводятся к поиску оптимальных подграфов на генерированных моделях системы данного уровня [25];

задачи оптимального построения структуры крупномасштабной системы, которые формально сводятся к построению альтернативных графов различных уровней и их отображению друг на друга [37, 39].

В ряде случаев является необходимым совместное решение этих задач.

Модели синтеза структуры крупномасштабной системы включают:

модели производственно-технологической и производственно-транспортной структуры системы, которые должны отражать состав основных производственных и транспортных элементов и их взаимосвязи (с учетом специализации, создания, реконструкции и т. д.);

модели организационно-функциональной (управленческой) структуры системы, которые отражают иерархию управления, характер взаимосвязей управляющих узлов различных уровней, распределение функций управления по уровням и узлам системы с учетом возможных принципов управления и функционирования системы (в том числе структуры автоматизированного информационно-управляющего комплекса).

Модели описания элементов представляются в соответствии с задачами исследования и иерархической струк-

турой системы на различных агрегированных (детализированных) уровнях. Поэтому важное значение имеет разработка моделей и методов стандартизации описания элементов систем и их структурных взаимосвязей. Наибольшие успехи достигнуты при формализованном описании элементов экономики, элементов производственно-транспортных крупномасштабных систем, агрегативном представлении элементов сложных систем [2, 3, 9, 15, 31 и др.].

Реализация агрегативно-декомпозиционного подхода для конкретного класса крупномасштабных систем, как указывалось, включает выбор уровней и формализованных языков описания и на их основе постановку и решение взаимосвязанного комплекса задач синтеза и планирования развития. Для класса распределенных автоматизированных информационно-управляющих систем различного назначения результаты применения такого подхода рассмотрены в [37]. В данной работе основное внимание уделяется моделированию и планированию развития структур крупномасштабных производственно-транспортных систем на примере топливно-энергетических подсистем и комплексов.

* * *

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) как крупномасштабная система представляет совокупность предприятий, обеспечивающих добычу и переработку первичных топливно-энергетических ресурсов, их преобразование и доставку потребителям в удобной для использования форме. В зависимости от уровня изучения системы и характера исследования при анализе и синтезе структуры крупномасштабных топливно-энергетических систем различают следующие агрегированные элементы: разведка и подготовка запасов месторождений (обеспечивающая прирост топливно-энергетических ресурсов); добывающие отрасли (нефтяная, газовая, угольная); транспортная система (обеспечивающая транспортировку топлива и энергии от источников к потребителям); электроэнергетическая и теплообразующие отрасли; энергопотребляющие отрасли, а также экспорт топливно-энергетических ресурсов.

Длительные сроки строительства основных энергетических объектов (в среднем около 10 лет) порождают особую инерционность развития топливно-энергетического комплекса. С учетом взаимосвязанного развития отраслей народного хозяйства крупные структурные изменения в энергетике должны подготавливаться заблаговременно. Промышленное освоение принципиально новых способов

и средств получения энергии, создание крупных топливных баз (особенно в удаленных районах с суровым климатом), перестройка производственной структуры народного хозяйства занимают, как правило, десятилетия. С учетом этого период долгосрочного прогнозирования развития энергетики должен составлять от 15 до 30 лет [26]. Особенно важно это на современном этапе развития энергетики, когда начинают действовать новые существенные факторы. Научно-технический прогресс в энергетике достиг фазы конструктивной разработки и начала практической реализации принципиально новых способов получения энергии, не основанных на использовании органического топлива. Происходящее при этом расширение и изменение сырьевой базы энергетики требуют всесторонней заблаговременной подготовки и учета изменяющейся ситуации на мировом рынке. Это позволит повысить эффективность экспорта некоторых видов отечественных энергоресурсов, а также может потребовать корректировки схем энергоснабжения разных отраслей народного хозяйства вплоть до ориентации их на новые технологические схемы производства. Важное значение при этом приобретает вопрос влияния различных вариантов развития энергетики на темпы и пропорции развития народного хозяйства в целом.

Топливо-энергетический комплекс как одна из наиболее фондовооруженных сфер материального производства является крупнейшим потребителем продукции ряда отраслей народного хозяйства. На его развитие прямо или косвенно расходуется 65% производимых в стране труб и до 20% остальной продукции черной металлургии, 13—16% цемента и валовой продукции машиностроения. Все это определяет существенную зависимость темпов развития и структуры ТЭК от возможностей других отраслей народного хозяйства [23, с. 28].

Основными проблемами, возникающими при долгосрочном планировании развития ТЭК, являются: прогнозирование развития ТЭК и его частей, согласованное формирование целей и программ развития подсистем комплексов ТЭК и управление реализацией программ и планов.

При прогнозировании и формировании программ развития ТЭК учитываются основные направления экономического и социального развития страны, планы развития и размещения производительных сил, результаты прогнозирования развития научно-технического прогресса, возможности обеспечивающих отраслей, результаты геофизических исследований и геологоразведки, возможные экологические и социально-экономические последствия разви-

тия ТЭК, внешнеэкономические и другие факторы. При определении возможного состава программы развития ТЭК необходима предварительная взаимоувязка результатов прогнозирования и разработки отраслевых и комплексных программ развития ТЭК.

Оптимизация программы развития ТЭК с помощью комплекса моделей включает совместную оптимизацию программ развития подсистем и комплексов газовой, нефтяной, угольной и электроэнергетической отраслей.

Для согласования полученных планов развития на межотраслевом и межрегиональном уровнях, их оценки с народнохозяйственных позиций в комплекс моделей оптимизации развития ТЭК включается ряд моделей анализа и согласования. На основе сформированных программ развития с использованием методов оптимизации разрабатывается производственно-технологическая структура ТЭК и генеральная схема его развития.

Помимо динамики развития ТЭК в целом по стране и основным регионам, разрабатываются программы развития каждой отрасли ТЭК, состав и содержание крупнейших энергетических программ народнохозяйственного значения, объемы и сроки их выполнения, политика в области топливно- и энергоснабжения потребителей, наиболее крупные мероприятия по развитию смежных отраслей для реализации принятой программы развития топливно-энергетического комплекса и т. п.

Особое место среди рассматриваемого круга проблем занимают вопросы совершенствования и управления крупномасштабными строительными программами в отраслях топливно-энергетического комплекса страны. Это обуславливается необходимостью крупных капиталовложений в развитие энергетических подсистем и комплексов, усложнением условий строительства, необходимостью эффективного использования строительной базы, учета комплексного характера строительства и назначения объектов энергетики и другими причинами.

Совершенствование планирования и управления энергетическим строительством связано с формированием оптимальных перспективных планов и строительных программ, организацией поточного строительства объектов, подготовкой строительного производства, включая проектирование производства работ, организацию потоков по видам работ и объектам, календарные планы строительства; с размещением строительной базы, с организацией материально-технического обеспечения строительного производства, с управлением строительным производством, в

в том числе технологий производства основных видов работ.

Таким образом, проблемы совершенствования планирования и управления развитием ТЭК охватывают практически все уровни народного хозяйства. Совершенствование организации и управления ТЭК, повышение качества плановых и проектных решений требуют комплексного подхода к планированию и моделированию данного важного класса крупномасштабных систем, взаимосвязанного решения проблем на всех уровнях иерархии ТЭК.

* * *

В настоящее время и в нашей стране, и за рубежом проводятся многочисленные исследования по разработке моделей и методов планирования и управления развитием крупномасштабных систем, в частности топливно-энергетических. Представление о широком фронте этих работ дает далеко не полный список специальной литературы, помещенный в конце книги. Внимательное изучение этой обширной литературы позволяет говорить об отсутствии единого подхода к методам формализации и построения моделей управления развитием ТЭК, их комплексного использования при планировании развития крупномасштабных топливно-энергетических систем; прослеживается определенный разрыв между моделями развития топливно-энергетических систем на народнохозяйственном и отраслевом уровнях, между моделями оптимизации инвестиционных топливно-энергетических программ. Типичными недостатками ряда моделей являются разнородность используемого математического аппарата, отсутствие их увязки по используемой информации, индивидуальный характер формализации, отсутствие типовых вычислительных схем. Это выдвигает задачу разработки унифицированного формализованного описания элементов крупномасштабных топливно-энергетических систем и комплексов, типовых моделей их оптимизации.

Построение взаимоувязанного комплекса моделей развития ТЭК, основанное на агрегативно-декомпозиционном представлении уровней детализации планирования ТЭК, позволяет формализовать процесс планирования развития ТЭК в виде взаимосвязанного комплекса моделей различных уровней детализации системы и формировать план развития ТЭК как в агрегированных показателях, так и детализированный до отдельных производственно-транспортных элементов.

Детализация агрегативно-декомпозиционного подхода применительно к задачам планирования развития ТЭК позволяет выделить уровни иерархии описания системы и формализовать соответствующие им задачи оптимизации.

Как уже отмечалось, для топливно-энергетических систем характерно представление их в виде взаимосвязанной совокупности элементов двух типов — производственных и транспортных. В зависимости от рассматриваемой задачи и уровня агрегирования в качестве элементов могут рассматриваться отдельные предприятия (электростанции, месторождения, заводы, ЛЭП, магистральные газопроводы и т. п.) или взаимосвязанная совокупность предприятий (объединенные энергосистемы, газодобывающие районы, ТПК и т. п.).

На народнохозяйственном уровне иерархии ТЭК рассматривается как совокупность взаимосвязанных регионально-отраслевых комплексов и межрегиональных транспортных сетей. Задачей оптимального развития ТЭК на этом уровне иерархии является установление основных пропорций развития энергетических отраслей и межрегиональных потоков топлива и электроэнергии, обеспечивающих рациональное развитие и размещение производительных сил страны в соответствии с народнохозяйственными целями рассматриваемого периода.

На следующем уровне иерархии каждый элемент модели верхнего уровня подвергается детализации и включает взаимосвязанную совокупность производственных и транспортных элементов (рис. 2). Так, например, для систем газоснабжения производственные элементы — это совокупность разрабатываемых газовых месторождений и потребители газа (крупные предприятия и города). Связывающая их сеть газопроводов является совокупностью транспортных элементов системы. Аналогичная интерпретация возможна для региональных систем, в которые входят технологически взаимосвязанные комплексы производственных и транспортных элементов, относящихся к различным топливно-энергетическим отраслям. Характерные примеры таких систем — создающийся региональный Канско-Ачинский ТЭК, включающий совокупность угледобывающих предприятий, тепловых электростанций, базирующихся на добываемом угле, и потребителей угля и электроэнергии; Западно-Сибирский ТЭК, включающий газодобывающие предприятия, сеть магистральных газопроводов, электростанций, работающих на добываемом газе, электроэнергия которых частично используется в технологических процессах добычи и транспортировки газа.

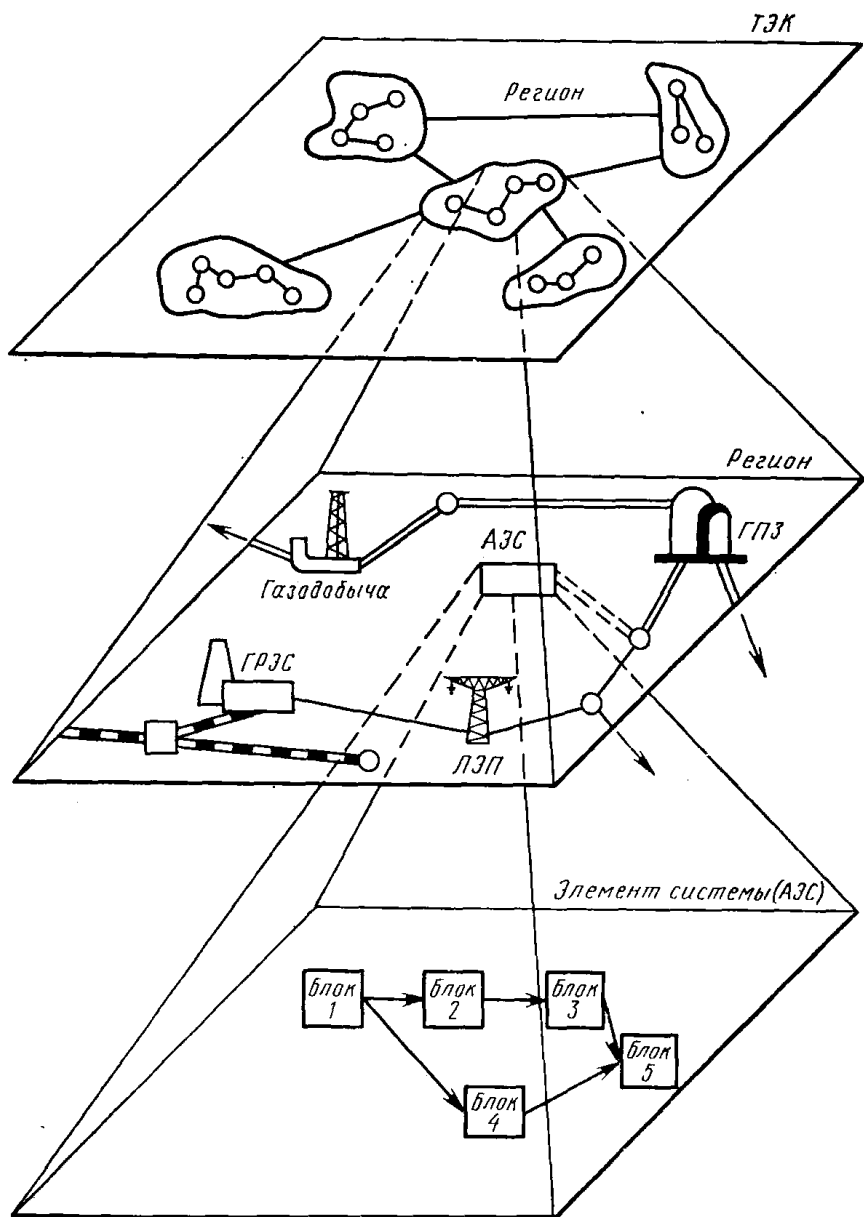


Рис. 2

Задача оптимизации планирования программ развития топливно-энергетических систем на этом уровне иерархии представления состоит в определении вариантов развития производственных и транспортных элементов системы (распределение инвестиций, определение очередности создания новых предприятий и транспортных элементов), в определении моментов ввода мощностей с учетом динамики из-