

А.Г. АКОПЯН

МОДЕЛЬ РАНЖИРОВКИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Рассматривается проблема ранжировки энергообъектов в развивающейся электроэнергетической системе. Дается описание математической имитационной модели решения рассматриваемой проблемы, а также конкретный пример ее реализации.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, теплоснабжающая система, топливоснабжающая система, имитационная математическая модель, ранжировка, энергообъект.

Общая задача оптимизации схемы энергоснабжения региона сводится к поиску рациональной структуры и развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и его составляющих: электроэнергетической (ЭЭС), теплоснабжающей (ТСС) и топливоснабжающей (ТпСС) систем.

В данной работе сделана попытка разработать модель ранжировки энергообъектов, т.е. генерирующих мощностей ЭЭС, по типам электростанций и видам используемых энергоресурсов, т.е. модель выбора рационального сочетания мощности и месторасположения источников энергоснабжения, линий передачи энергии с учетом потребности в капитальных и материальных затратах, трудовых ресурсах [1]. Решение такой задачи приобретает особую актуальность для регионов, располагающих ограниченными топливно-энергетическими ресурсами, формирование ТЭК которых базируется на импортируемых видах энергии (как, например, Республика Армения).

Отметим, что имеющаяся для оптимизации ЭЭС исходная информация не всегда поддается четкому анализу и математической формулировке вследствие неопределенности стратегий, неполноты и недостаточной достоверности этой информации. Сказанное в значительной степени ограничивает возможности имеющегося математического аппарата оптимизации подобных сложных экономико-технологических систем. Добавим, что в математическом понимании в подобных случаях оптимальное решение просто не может быть найдено [2-4].

Рассмотрим процесс имитации получения согласованного решения формирования оптимальной структуры ЭЭС, которое базируется на результатах оптимизационных субмоделей получения набора вариантов развития существующих и предполагаемых источников энергоснабжения. При формировании имитационной модели развивающейся ЭЭС основным исходным управляющим параметром (воздействием) выступает задание по производству и отпуску энергии.

Выбор наилучшего варианта перспективного формирования структуры ЭЭС является основной задачей управления сложной экономико-технологической

системой. Ее математическую формулировку можно представить следующей последовательностью.

В наиболее общем случае можно предполагать гипотетическую ЭЭС, состоящую из m источников энергоснабжения (ТЭС, ТЭЦ, АЭС, АТЭЦ, ГЭС и др.), каждый из которых может производить ε видов энергии. Каждый k -й источник энергоснабжения может представляться t -м вариантом реализации, причем его можно записать вектором A_{kt} , показывающим объем произведенной k -м источником энергии при t -м варианте его реализации ε_{kt} и соответствующие при этом затраты Z_{kt} [3].

Такая постановка задачи сводится к построению технологических множеств S_j и P_j , состоящих из линейных комбинаций векторов

$$\sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p A_{kt} Z_{kt}$$

с дополнительным условием вида

$$\sum_{t=1}^p Z_{kt} \leq 1 \quad (k = \overline{1, m}; Z_{kt} = 0 \vee 1),$$

где Z_{kt} – интенсивность использования варианта (k, t) , принимающего дискретное значение 0 или 1, означающее выбор не более одного варианта развития каждого источника.

Общее задание по отпуску энергии источниками энергоснабжения может быть представлено n -мерным вектором ε_j , определяющим допустимые подмножества $S_j(\varepsilon_j)$ как совокупность наборов интенсивностей $\{Z_{kt}\}$, удовлетворяющих векторному неравенству

$$\sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p A_{kt}^* Z_{kt} \geq \varepsilon_j,$$

где A_{kt}^* – вектор, составленный из компонента ε_{kt} вектора A_{kt} .

Критерием выбора наилучшего решения могут служить минимум приведенных затрат, инвестиций, расхода топлива, металла и др. ограничивающие факторы. Отметим, что затраты по элементам определяются по общепринятой методике технико-экономических расчетов [1,2]. В качестве единицы измерения затрат рассматривается понятие т.н. “условной единицы – у.е.”, эквивалентной приблизительно 550 драмам.

Отличительная особенность имитационного моделирования заключается в том, что здесь громоздкие оптимизационные модели и трудоемкие расчетные процедуры заменяются последовательным вычислением затрат (капитальных, эксплуатационных, металла, топлива и др.) на основании сформулированных алгебраических уравнений, что весьма эффективно осуществляется на базе современной вычислительной техники [3,7].

Очевидно, что при величине интенсивности $Z_{kt} = 1$ данный вариант формирования ЭЭС предпочтительнее для реализации, а при $Z_{kt} = 0$ его применение

нежелательно. Такая математическая модель формирования гипотетической ЭЭС может быть представлена следующим образом:

$$\sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p 3_{kt} Z_{kt} \rightarrow \min, \quad \sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p N_{kt} Z_{kt} \geq N_p;$$

$$\sum_{t=1}^p Z_{kt} \leq 1 \quad (k = \overline{1, m}; \quad Z_{kt} = 0 \vee 1),$$

где N_{kt} – электрическая мощность k -го источника энергоснабжения при его развитии по варианту t , MBt ; N_p – расчетное энергопотребление гипотетического региона, MBt ; Z_{kt} – искомая интенсивность применения технологического решения (k, t) .

Практическую реализуемость описанной имитационной модели можно показать на примере формирования структуры гипотетической ЭЭС региона, располагающего ограниченными топливно-энергетическими ресурсами (например, Республика Армения). В качестве отправного принимается исходное состояние гипотетической ЭЭС, состоящей из ТЭС (ГРЭС и ТЭЦ), АЭС. Дальнейшее развитие ЭЭС предполагается на электростанциях с топливной технологией. В итоге рассматриваются 7 источников энергоснабжения при 3 возможных вариантах их развития ($m=7, p=3$).

На основании располагаемой информации о характере энергопотребления и динамике его роста производится формирование вероятных состояний развития ЭЭС путем заполнения определенного количества многофакторных матриц, характеризующих исходное состояние и направление развития системы с учетом длительности периода (по столбцам матрицы) и типа существующих и предполагаемых источников (по строкам матрицы). При рассмотрении задачи развития ЭЭС на отдаленную перспективу (15...20 лет) и предельно возможных изменениях информации необходимое количество многофакторных матриц может достигнуть до 10...20 [2].

Очевидно, в числе претендентов могут оказаться все возможные источники, а в качестве критериев могут выступать и другие равновеликие параметры: капитальные или материальные затраты, расход топлива. Нетрудно доказать работоспособность модели и по этим критериям. В рассматриваемом примере для ТЭС предполагается органическое газомазутное топливо при предельно высокой его стоимости для данного энергорайона. Рассматривается также вариант сооружения АЭС на базе современных ядерных энергоблоков ВВЭР-640.

В качестве иллюстрации в табл. 1 приведена многофакторная матрица исходного состояния ЭЭС и направления ее развития, а в табл. 2 – значения приведенных затрат по источникам энергоснабжения (полных 3_{kt} и удельных $3_{kt} = 3_{kt} / N_{kt}$).

Таблица 1

Многофакторная матрица вероятного состояния формирования энергоснабжающей системы гипотетического региона, состав оборудования и электрическая мощность источников ГРЭС, ТЭЦ, АЭС

Характеристики источников энерго-снабжения	Вероятные состояния формирования источников –электростанций					
	1		2		3	
	Число и тип агрегатов	Электрическая мощность, МВт	Число и тип агрегатов	Электрическая мощность, МВт	Число и тип агрегатов	Электрическая мощность, МВт
1.ГРЭС-1200 на базе энерго-блоков К-300-240	2хК-300-240	2 х 300=600	3хК-300-240	3 х 300=900	4хК-300-240	4х 300=1200
2.ГРЭС-1200 на базе энерго-блоков К-200-130	2хК-300-200-130	2 х 200=400	4хК-200-130	4 х 200=800	6хК-200-130	6х 200=1200
3.ТЭЦ-1000 на базе теплофикационных энергоблоков Т-250-240	2хТ-250-240	2 х 250=500	4хТ-250-240	4 х 250=1000	6хТ-250-240	6х 250=1500
4.ТЭЦ-1250 на базе маневренных ГТУ –250	2хГТУ-250	2 х 250=500	4хГТУ-250	4 х 250=1000	6хГТУ-250	6х 250=1500
5.ТЭС-900 на базе ГТУ –150	2хГТУ-150	2 х 150=300	4хГТУ-150	4 х 150=600	6хГТУ-150	6х 150=900
6. ТЭС-2000 на базе маневренных энергоблоков К-500-130/510	2хК-500-130/510	2 х 500=1000	3хК-500-130/510	3 х 500=1500	4хК-500-130/510	4х 500=2000
7.АЭС-2560 на базе ядерных энергоблоков ВВЭР-640	2хВВЭР-640	2 х 640=1280	3хВВЭР-640	3 х 640=1920	4хВВЭР-640	4х 640=2560

Рассмотрим поведение оптимального набора вариантов формирования структуры ЭЭС при изменении расчетного энергопотребления N_p . Анализ данных табл. 2 показывает, что в области $N_p \in [0,1500]$ (1500 – расчетная электрическая мощность технологического решения по варианту (4,3)) самым эффективным

является технологическое решение (4,3), характеризующееся минимальными удельными затратами. Очевидно, по мере роста энергопотребления появляется необходимость применения менее эффективных технологических решений. Так, из данных табл. 2 видно, что следующим по эффективности является решение (3,3), при котором область N_p составляет (1500, 3000).

Таблица 2

Приведенные затраты по источникам энергоснабжения гипотетического региона (в числителе – полные, тыс. у.е./год, в знаменателе – удельные, тыс. у.е./год, МВт)

Источники энергоснабжения	Вероятные состояния формирования источников-электростанций		
	1	2	3
2	128000/213	189000/210	246/205
2	90000/225	178000/223	265000/221
3	88000/176	168000/168	244000/162
4	83000/167	163000/163	240000/160
5	76000/253	152000/252	226000/251
6	234000/234	348000/232	458000/229
7	714000/560	990000/515	1208000/475

Аналогичным образом, увеличивая расчетное энергопотребление, придем к результирующей матрице оптимального набора вариантов (табл. 3).

Таблица 3

Результирующая матрица оптимального набора вариантов формирования гипотетической ЭЭС региона по мере возрастания энергопотребления до расчетного (значение интенсивностей Z_{kt})

Источники	Вероятные состояния формирования источников электростанций						
	123	123	123	123	123	123	123
1	000	000	001	001	001	001	001
2	000	000	000	001	001	001	001
3	000	001	001	001	001	001	001
4	001	001	001	001	001	001	001
5	000	000	000	000	000	001	001
6	000	000	000	000	001	001	001
7	000	000	000	000	000	000	001
$N_p \in$	[0, 1500]	[1500, 3000]	[3000, 4200]	[4200, 5400]	[5400, 7400]	[7400, 8300]	[8300, 10860]

Таким образом, анализ данных интенсивностей применения технологических решений позволяет производить набор оптимальных решений по всему диапазону изменения энергопотребления, ранжируя их по эффективности. Причем область минимальных суммарных приведенных затрат можно установить следующей функциональной зависимостью:

$$F(N_p) = \min \sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p 3_{kt} Z_{kt}; \{Z_{kt}\} \in S(\Theta),$$

где $S(\mathcal{E})$ – множество, определяемое условиями задачи.

Целочисленность рассматриваемой задачи показывает, что функция $F(N_p)$ графически может представляться ступенчатой линией (см. рис.).

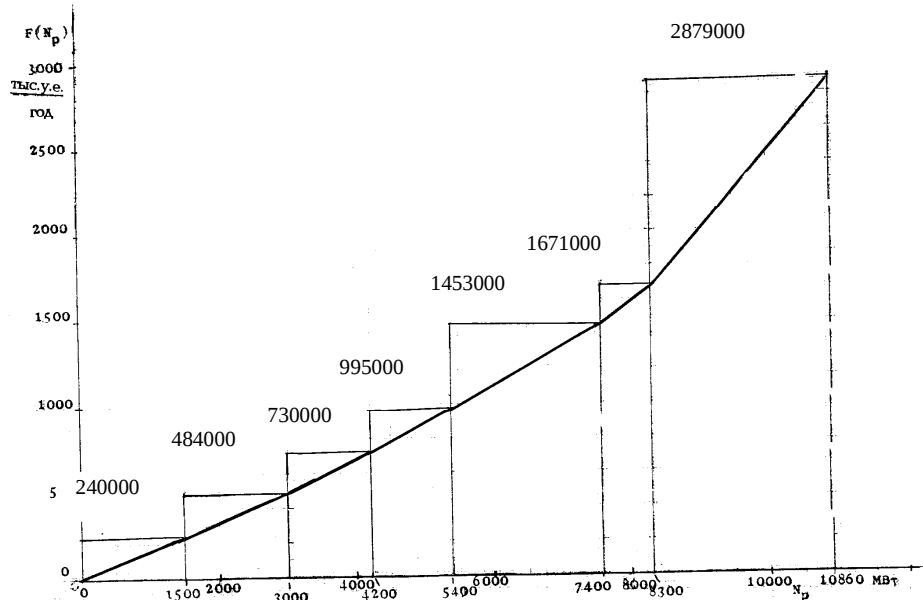


Рис. Зависимость минимальных приведенных затрат по гипотетической ЭЭС от ее мощности

При условии пренебрежения целочисленностью задачи функция $F(N_p)$ может изображаться кусочно-линейной кривой с отрезками, получающимися соединением узловых точек этой функции, где происходит присоединение новых технологических решений по убывающей эффективности. Причем угол наклона отрезков ломаной на рисунке постоянно увеличивается, т.е. названная функция является выпуклой, что играет важную роль при обосновании сходимости алгоритма решения задачи согласования заданий [3].

Дополним, что высокая степень неопределенности исходного состояния ЭЭС и перспективы ее развития, а также информация, закладываемая в основу решения задачи, не позволяют прийти к однозначному решению об оптимальности структуры ЭЭС в динамике развития. Сказанному в значительной степени “способствует” также многокритериальность задачи (минимум расхода топлива, материальных и капитальных затрат, лимиты на ресурсы, повышение качества и надежности энергоснабжения и др.) [5]. Поэтому более приемлемым методом решения задачи является нахождение множества рациональных стратегий на базе формирования и анализа результирующей “платежной” матрицы $|Z_{kt}|$, характеризующей затраты по рассматриваемым состояниям развития системы [2].

На основе подробного анализа многофакторной и результирующей “платежной” матриц можно прийти к наиболее предпочтительным (одно или

несколько) направлениям развития ЭЭС, тем самым частично преодолевая неопределенность задачи. Сказанное можно подтвердить, пользуясь несколькими критериями, применяемыми в теории игр и статистических решений [2, 6]. Характерная особенность применяемой имитационной модели заключается также в том, что она позволяет рассматривать всю вероятную область возможного роста потребности в электроэнергии, тем самым создавая условия для производства набора источников при предельно допустимых затратах.

Необходимо отметить, что имитационная модель развивающейся ЭЭС пригодна как для нахождения оптимальной структуры системы в динамике ее развития (определение очередности и сроков, приоритетности вводимых источников), так и для оптимального управления режимами работы ЭЭС и электростанций (определение очередности подключения к работе источников и агрегатов, распределение нагрузки между работающими источниками и агрегатами и др.). В последнем случае задача существенно упрощается ввиду того, что в модель закладываются текущие эксплуатационные затраты взамен трудноопределяемых приведенных затрат [3].

Отметим также, что в данном случае процесс оптимизации структуры ЭЭС рассмотрен при благоприятных условиях, без учета ограничений на какой-либо ресурс. В наиболее общем случае процесс получения согласованного решения носит многошаговый, итеративный характер. Причем при “движении” по пути к согласованному решению возможно появление необходимости учета других управляющих параметров – воздействий (предельно допустимые мощности электростанций, капиталовложения, ограничения на топливо, экономический рост и др.). В этом случае, “манипулируя” указанными управляющими параметрами – воздействиями, также можно достичь согласованного решения.

Таким образом, на основании вышеизложенного можем прийти к следующим выводам:

1. Закладываемая в основу решения задачи оптимизации структуры ЭЭС исходная информация не всегда поддается четкому математическому анализу и формулировке вследствие неопределенности стратегий, неполноты и недостаточной ее достоверности. Сказанное существенно ограничивает возможности применения имеющегося математического аппарата оптимизации сложных экономико-технологических систем. В математическом плане в подобных случаях оптимальное решение просто не может быть получено.

2. Для решения задачи оптимизации структуры и развития ЭЭС более приемлемым оказывается метод имитационного моделирования на базе разработки имитационно-вычислительных комплексов с целью создания “советчиков” для исследователя в выборе наилучшего решения. Имитационная модель ЭЭС выступает в качестве организующего блока взаимосвязанного и целеустремленного функционирования оптимизационных и игровых моделей решения локальных задач.

3. Имитационная модель позволяет производить набор оптимальных решений формирования структуры ЭЭС по всему диапазону изменения расчетного

энергопотребления, ранжируя их по эффективности, а также дает возможность решить задачу оптимального развития ЭЭС с различным характером энергопотребления и источниками энергоснабжения на базе формирования и анализа многофакторной и результирующей “платежной” матриц. Имитационная модель ЭЭС может быть применена также для задачи оптимизации управления режимами ЭЭС и электростанций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические положения оптимизации развития топливно-энергетического комплекса / Отв. ред. **Л.А. Мелентьев**. – М.: Наука, 1975. – 88 с.
2. **Аршакян Д.Т.** Математическая модель развивающейся теплоснабжающей системы // Теплоэнергетика. – 1987. – №8. – С. 50-53.
3. **Аршакян Д.Т.** Имитационное моделирование теплоснабжающей системы в составе топливно-энергетического комплекса района // Изв. высш. уч. заведений. Энергетика. – 1987. – №10. – С. 3-9.
4. **Моисеев Н.Н.** Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 489 с.
5. **Кини Р.Л., Райфа Х.** Принятие решений при многих критериях: предложение и замещение. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
6. **Нейман Дж. Фон, Моргенштерн О.** Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970. – 707 с.
7. Имитационный подход к моделированию развития и размещения генерирующих мощностей / **Д.А. Арзамасцев, С.С. Ананичева и др.** // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1987. – №6. – С. 10-18.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.09.2002.

Հ.Գ. ՀԱԿՈՔՅԱՆ

ՋԱՐԳԱՑՈՂ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ ԷՆԵՐԳԱՕՐՅԵԿՏՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՄԱՆ ՄՈՂԵԼ

Դիտարկվում է զարգացող էլեկտրաէներգետիկական համակարգում էներգաօբյեկտների դասակարգման հիմնախնդիրը: Տրվում է վերջինիս լուծման մաթեմատիկական նմանակային մոդելի նկարագրությունը, ինչպես նաև կիրառման կոնկրետ օրինակ:

H.G. HAKOPYAN

RANKING MODEL OF POWER OBJECTS FOR DEVELOPING AN ELECTRIC POWER SYSTEM

A ranking problem of power objects for a developing electric power system is considered. A mathematical imitation model description solving the problem to be considered and an example of its realization are given.