

Д.Т. АРШАКЯН, Г.М. ХОСТИКЯН

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АРМЕНИИ**

Разработана модель нахождения оптимальной структуры генерирующих мощностей ЭЭС Армении по типам электростанций и видам используемых энергоресурсов с учетом потребности в капитальных и материальных затратах, трудовых ресурсах.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система (ЭЭС), генерирующие мощности, имитационная модель, многофакторная матрица, ранжировка.

Целью оптимизационных расчетов является нахождение эффективных методов производства, распределения и использования продукции топливно-энергетического комплекса, общая потребность в которой задана на более высоком иерархическом уровне плановыми предложениями. В качестве критерия оптимизации можно рассматривать минимум приведенных затрат [1, 3]:

$$Z = E_n K + I, \quad (1)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;  $K$  – капиталовложения, *у.е.*;  $I$  – ежегодные расходы, *у.е./год*.

Многие проекты, финансирования и расчеты по определению направления развития ЭЭС Армении производились в долларовых эквивалентах. В данной работе в качестве единицы измерения принимается “условная единица” (*у.е.*), эквивалентная 570 драмам.

Отметим, что для оптимизации ЭЭС Армении необходимая располагаемая исходная информация большей частью носит нормативный, директивный и прогнозный характер, не всегда поддающийся четкому анализу и математической формулировке вследствие неопределенности стратегий, неполноты и недостаточной достоверности. Выбор оптимального состава энергообъектов представляет сложную математическую задачу нахождения экстремума многокомпонентной целевой функции при существующих ограничениях.

Сказанное в значительной степени ограничивает возможности применения имеющегося математического аппарата оптимизации подобных экономико-технологических систем, а в математическом понимании оптимальное решение просто не может быть найдено [1, 4].

Рассмотрим процесс имитации получения согласованного решения формирования оптимальной структуры ЭЭС Армении. Формирование планового решения базируется на результатах оптимизационных субмоделей получения набора вариантов развития существующих и предполагаемых источников энергоснабжения. Поэтому основным входным управляющим параметром выступает плановое задание по производству и отпуску энергии.

Выбор наилучшего варианта перспективного плана формирования структуры ЭЭС является основной задачей управления сложной экономико-технологической системой. В наиболее общем случае можно предполагать гипотетическую ЭЭС,

состоящую из  $m$  источников энергоснабжения (ТЭЦ, АЭС, ГЭС и др.), каждый из которых может производить  $\varepsilon$  видов энергии (электроэнергии, теплоты различных потенциалов). Критерием выбора наилучшего решения может служить минимум приведенных затрат, функционал которых по ЭЭС можно описать выражением

$$Z_c = \sum_{i=1}^m Z_{c_i} = \sum_{j=1}^s Z_{ТЭЦ_j} + \sum_{j=1}^l Z_{АЭС_j} + \sum_{j=1}^g Z_{ГЭС_j} + \dots \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $Z_c$  – приведенные затраты по  $i$ -му элементу системы, *у.е./год*;  $Z_{ТЭЦ_j}$ ,  $Z_{АЭС_j}$ ,  $Z_{ГЭС_j}$  – то же, соответственно, по  $j$ -й ТЭЦ, АЭС, ГЭС и др., *у.е./год*.

При такой постановке задачи математическая модель формирования гипотетического ЭЭС может быть представлена в виде

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

$$k = \overline{1, m}, \quad Z_{kt} = 0 \vee 1,$$

где  $Z_{kt}$  – искомая интенсивность применения технологического решения ( $k, t$ ), которая может принимать дискретное значение 0 или 1;  $N_{kt}$  – электрическая мощность  $k$ -го источника энергоснабжения при его развитии по варианту  $t$ , *МВт*;  $N_p$  – расчетное электропотребление гипотетического района, *МВт*. При  $Z_{kt} = 1$  данный вариант формирования ЭЭС предпочтительнее, а при  $Z_{kt} = 0$  его применение нежелательно.

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).

Очевидно, в числе претендентов могут оказаться все возможные источники, а в качестве критерия могут выступать и другие равновеликие параметры [2,3].

ЭЭС Армении развивалась в составе объединенной системы Закавказья и Единой ЭС Советского Союза, которая и координировала энергоснабжение Армении, Азербайджана и Грузии. В условиях объединенной ЭЭС планирование электроэнергетики осуществлялось в интересах всей системы в целом. При таком подходе первоочередными считались задачи энергоснабжения всего региона, без должного учета особенностей отдельной республики. В результате этого в Армении были построены электростанции, работающие на природном газе и мазуте, хотя в республике фактически нет собственных запасов органического топлива и приходится его импортировать. В рамках такого подхода для дальнейшего развития ЭЭС была построена атомная электростанция (ААЭС). Единственным собственным источником производства электроэнергии в Армении является гидроэнергия.

Таким образом, экономический спад, вызванный распадом Советского Союза, привел к значительному сокращению электропотребления в республике.

Энергогенерирующее оборудование станций устаревает физически и морально, возникает необходимость в коренной реконструкции и модернизации, а иногда – в замене и демонтаже. Разработаны планы сценариев развития генерирующих мощностей для всех энергообъектов республики, основанные на

изучении материалов ведущих организаций (отечественных и зарубежных) в сфере энергетики и экономики. Основные направления развития ЭЭС республики будут заключаться в реконструкции и расширении существующих ТЭС и АЭС в технически допустимых и экономически целесообразных пределах, причем расширение теплофикации рассматривается на базе как конденсационных, так и теплофикационных энергоблоков.

В итоге рассмотрению подверглись 5 источников энергоснабжения Армении при 4 возможных вариантах их развития ( $m=5, p=4$ ). Эти сценарии представлены в виде вариантов в табл. 1.

Таблица 1

Многофакторная матрица располагаемого и вероятного состояния формирования ЭЭС Армении

Номер и тип энерго-объектов	Исходные мощности по энергообъектам, МВт			
	Вариант 1		Вариант 2	
	Число и тип агрегатов	Эл. мощн.	Число и тип агрегатов	Эл. мощн.
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1. ААЭС	-	0	1хВВЭР - 440	407.5
2. ГРЭС	3хК-200	600	4хК - 200 1хК - 300	1100
3. ЕрТЭЦ	1хПТ- 50-130 1хР - 50-130	100	1хПТ - 50-130 1хР - 50-130 1хПГУ - 80	180
4. СРК	Севан. -1х17 Атарб. - 1х40,8 Гюмуш. -1х56 Канак. - 1х26	139.8	Севан. - 1х17 Атарб. - 2х40,8 Гюмуш. - 1х56 Канак.- 2х12,5 1х26 Ереван. -1х22	227.56
5. ВК	Спанд. - 38 Шамб. - 85,5 Татев. - 52,4	175.9	Спанд. - 2х38 Шамб. - 1х85,5 Татев. - 2х52,4	266.3
	Вариант 3		Вариант 4	
<b>1</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1. ААЭС	2хВВЭР - 440	815	2хВВЭР - 440 1хВВЭР- 640	1455
2. ГРЭС	4хК - 200 2хК - 300	1400	4хК - 200 2хК - 300 1хПГУ - 440	1840

Продолжение табл. 1

3. ЕрТЭЦ	1хПТ- 50-130 1хР - 50-130 1хПГУ-80 1хГТУ-180	260	1хПТ- 50-130 1хР - 50-130 1хПГУ - 80 1хГТУ -180 1хПГУ - 400	660
4. СРК	Севан – 2х17 Атарб – 2х40,8 Гюмуш –2х56 Арзни – 2х23,5 Канак.-2х12,5 2х26 Ереван -1х 22	325.5	Севан – 2х17 Атарб – 2х40,8 Гюмуш – 4х56 Арзни – 3х23,5 Канак.-4х12,5 2х26 Ереван – 2х22	556
5. ВК	Спанд – 2х38 Шамб – 1х85,5 Татев – 3х52,4	318.7	Спанд – 2х38 Шамб – 2х85,5 Татев – 3х52,4	404

Приведенные затраты по энергообъектам рассчитываются на основании методических принципов ведения технико-экономических расчетов согласно действующим методическим положениям и инструктивным материалам [2]:

В качестве примера рассмотрим ААЭС:

$$Z_{\text{ААЭС}} = E_{\text{н}} K_{\text{ААЭС}} + I_{\text{ААЭС}} + z_{\text{т}} B_{\text{ААЭС}}, \quad (4)$$

где  $K_{\text{ААЭС}}$  – капитальные вложения по ААЭС, *у.е.*;  $I_{\text{ААЭС}}$  – годовые эксплуатационные расходы, *у.е./год*;  $B_{\text{ААЭС}}$  – расход топлива по ААЭС, *т.у.т/год*;  $z_{\text{т}}$  – удельные приведенные затраты на топливо, *у.е./т.у.т.*

Аналогично рассчитаны полные затраты и удельные показатели по остальным энергообъектам ЭЭС (табл. 2).

Таблица 2

Приведенные затраты по энергообъектам,  
связанные с электрической мощностью

Номер и тип энерго- объектов	Приведенные затраты по энергообъектам							
	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
	полные	удель- ные	полные	удель- ные	полные	удель- ные	полные	удель- ные
	млн.у.е./ год	тыс.у.е./ год.МВт	млн.у.е./ год	тыс.у.е./ год.МВт	млн.у.е./ год	тыс.у.е./ год.МВт	млн.у.е./ год	тыс.у.е./ год.МВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. ААЭС	0	0	364,6	0,895	613,9	0,753	914,9	0,629
2. ГРЭС	310,8	0,518	492,6	0,447	579,3	0,414	701,9	0,381
3. ЕрТЭЦ	54,9	0,548	85,8	0,477	115,1	0,443	270,3	0,409
4. СРК	68,3	0,489	93,6	0,411	112,4	0,345	156,7	0,282
5. ВК	80,6	0,458	101,7	0,382	100,9	0,317	102,5	0,254

Рассмотрим поведение оптимального набора вариантов формирования структуры ЭЭС при изменении расчетного энергопотребления  $N_p$ . Анализ данных табл. 2 показывает, что в области расчетного энергопотребления  $N_p$  от 0 до 404 (404 - расчетная электрическая мощность технологического решения - 5:4) самым эффективным является технологическое решение - 5:4, характеризующееся минимальными удельными приведенными затратами.

По мере роста расчетного энергопотребления появляется необходимость применения менее эффективных технологических решений. Согласно табл. 3, следующим по эффективности является решение - 4:4, при котором область расчетного энергопотребления составляет [404, 960]. Аналогичным образом, увеличивая расчетное энергопотребление, приходим к результирующей матрице (табл. 3).

Таблица 3

Матрица оптимального набора вариантов по мере возрастания энергопотребления

Энерго- объекты	Вероятные состояния формирования источников – энергообъектов																			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
$N_p \in$	[0, 404]				[404, 960]				[960, 2800]				[2800, 3460]				[3460, 4915]			

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

$$F(N_p) = \min \sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p z_{kt} Z_{kt}; \quad \{Z_{kt}\} \in S(\mathcal{E}), \quad (5)$$

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

Целочисленность рассматриваемой задачи показывает, что функцию  $F(N_p)$  графически можно представить ступенчатой линией (см. рис.). 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 постоянно увеличивается, т.е. названная функция является выпуклой, что играет важную роль при обосновании сходимости алгоритма решения задачи согласования плановых заданий.

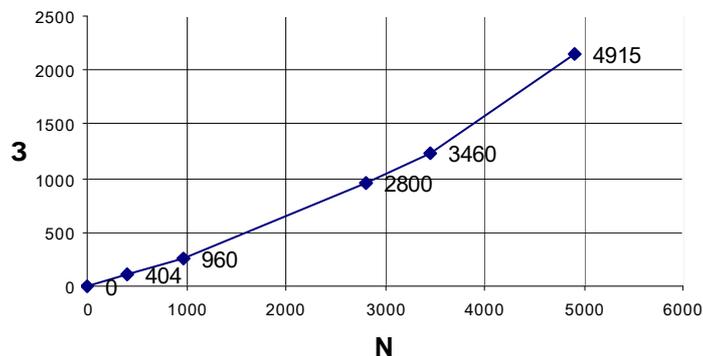


Рис. Зависимость минимальных суммарных приведенных затрат по ЭЭС от ее мощности

Высокая степень неопределенности исходного состояния ЭЭС и перспективы ее развития, а также информация, закладываемая в основу решения задачи, не позволяют прийти к однозначному решению относительно оптимальности структуры ЭЭС в динамике развития. 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 матрицы можно прийти к наиболее предпочтительным направлениям развития ЭЭС, тем самым частично преодолевая неопределенность задачи [6, 7].

Приведенная имитационная модель развивающейся ЭЭС Армении 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 источников и агрегатов, распределение нагрузки между работающими источниками и агрегатами и др.) [5, 6].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мелентьев Л. А.** Оптимизация развития и управления больших систем энергетики.- М.: Высшая школа, 1976. – 336 с.
2. **Аршакян Д.Т.** Математическая модель развивающейся теплоснабжающей системы // Теплоэнергетика. - 1987. - N 8. - С. 50-53.
3. **Шипова А. Н.** Экономика энергетики СССР.- М.: Высшая школа, 1986. - 352 с.
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. Арзамасцев Д. А., Ананичева С. С., Мардер Л. И., Мызин А. Л., Стаймова Е. Д. Имитационный подход к моделированию развития и размещения генерирующих мощностей // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.- 1987.- № 6. - С. 10-18.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 18.01.2002.

**Դ.Թ. ԱՐՇԱԿՅԱՆ, Գ.Մ. ԽՈՍՏԻԿՅԱՆ**

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԶԱՐԳԱՑՈՂ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ  
ԻՄԻՏԱՑԻՈՆ ՄՈՂԵԼ**

Մշակված է Հայաստանի էլեկտրաէներգետիկական համակարգի հզորությունների օպտիմալ կառուցվածքի որոշման մոդելն ըստ էլեկտրակայանների տիպերի և վառելիքի տեսակի՝ էլնելով կապիտալ և նյութական ծախսերից ու աշխատանքային ռեսուրսների պահանջարկից:

**D.T. ARSHAKYAN, G.M. KHOSTIKYAN**

**IMITATION MODEL FOR DEVELOPING POWER STATIONS  
IN ARMENIA**

An optimum structure model of the power system capacities in Armenia is developed. The types of power plants and energy resources according to the demand in capital and material costs as well as in labor resources are given.