

ЭНЕРГЕТИКА

Э. О. ОВСЕПЯН

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ  
 ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И СРОКОВ ИХ ВВОДА

Одним из важнейших направлений развития отечественной энергетики является концентрация энергетического производства, укрупнение энергоустановок и их агрегатов, что создает большие возможности для применения более совершенного оборудования и сокращения сроков ввода в действие энергетических объектов. Однако укрупнение энергоустановок имеет целесообразные пределы, определяемые комплексным воздействием разнообразных факторов. К числу основных факторов, влияние которых необходимо учесть [1]—[4], относятся внутростанционные, системные и местные условия, а также фактор времени.

Определение оптимальной мощности вводимых в эксплуатацию электростанций с учетом этих факторов представляет собой сложную технико-экономическую задачу, решение которой возможно при соответствующей математической модели и средств вычислительной техники. Общая постановка задачи. Имеется величина суммарных затрат  $Z$ , состоящая из капитальных вложений  $K$  и эксплуатационных расходов  $H$ , представленных в виде функций от совокупности структурных параметров энергосистемы и сопряженных отраслей

$$Z[\bar{Z}(t)] = Z[K(\bar{Z}(t)); H(\bar{Z}(t))], \quad (1)$$

где  $\bar{Z}(t)$  — совокупность параметров (мощность и выработка электростанций, параметры ТЭП, расход топлива и т. д.) в году  $t$ . При этом совокупность  $\bar{Z}(t) = \{t, \bar{X}(t), Y(\bar{X}, t)\}$  состоит из независимых  $\bar{X}(t)$  и зависимых  $Y(\bar{X}, t)$  параметров. В качестве независимого параметра принимаются мощности электростанций в  $t$ -м году. Все остальные параметры (расход топлива, параметры транспортных устройств и т. д.) принимаются зависящими от вектора независимых параметров. Поэтому можем сказать, что  $\bar{Z}(t) = \bar{X}(t)$ .

Задача оптимизации сводится к выбору оптимального вектора  $\bar{X}$ , минимизирующего функцию (1). Оптимальные величины мощностей вновь вводимых электростанций должны быть определены при условии оптимального покрытия роста потребности в электроэнергии. Рассматриваемая задача по своему характеру является многовариантной, ди-

намической, затраты по сравниваемым вариантам производятся в течение длительного промежутка времени, поэтому существующие методы выбора наиболее эффективного технического решения (методы «срока окупаемости дополнительных капитальных вложений», «минимума приведенных расчетных затрат» и др.) не могут быть использованы. В данном случае, кроме изменений технико-экономических показателей во времени, необходимо также учесть, что сроки окупаемости у некоторых объектов частично выйдут за пределы планового периода. Это означает, что часть капитальных вложений, пропорциональная этим долям сроков окупаемости, предназначена для последующего времени и должна окупиться после планового периода. Включение всей величины вложений по данным объектам в затраты рассматриваемого периода было бы неверно. В то же время необходимо учесть в расчетах долю от капитальных вложений, произведенных до рассматриваемого планового периода, если они не успели окупиться. С этой целью нами предлагается использовать показатель суммарных затрат  $Z_T$  за плановый период  $T$ , имеющий следующий вид

$$Z_T = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T K_{i,t} \cdot E_{11} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T H_{i,t} \rightarrow \min, \quad (2)$$

при условиях

$$r = \begin{cases} 1, & \text{если } \tau_i < 0; \\ \tau_i, & \text{если } \tau_i > 0; \end{cases} \quad (2')$$

$$r = \begin{cases} \tau_i - T_{11}, & \text{если } \tau_i < 0 \text{ и } \tau_i + T_{11} \leq T; \\ \tau_i - T_{11} - 1, & \text{если } \tau_i > 0 \text{ и } \tau_i + T_{11} + 1 < T; \\ T, & \text{если } \tau_i + T_{11} \geq T, \end{cases} \quad (2'')$$

где  $K_{i,t}$ ,  $H_{i,t}$  — соответственно приведенные капитальные вложения и эксплуатационные расходы по  $i$ -му объекту (очереди);

$\tau_i$  — порядковый номер года ввода в эксплуатацию  $i$ -го объекта (очереди) от начала планового периода;

$E_{11} = \frac{1}{T_{11}}$  — нормативный коэффициент экономической эффективности.

Записав функцию (1) в развернутом виде с учетом критерия (2), получим целевую функцию для рассматриваемой задачи

$$Z = \sum_{i,j,l}^{n,m,n} \sum_{t'}^T [K_{i,t}^j (X_{i,t}^j) + K_{i,t}^{lj} (X_{i,t}^{lj})] \cdot E_{11} + \\ + \sum_{r,t}^{c,n} \sum_{t'}^T [K_{r,t} (g_{r,t}) + K_{r,t}^l (Y_{r,t}^l)] \cdot E_{11} + \\ + \sum_{i,j,l}^{n,m,n} \sum_{t'}^T [H_{i,t}^j (X_{i,t}^j) + H_{i,t}^{lj} (X_{i,t}^{lj})] + \quad (3)$$

$$+ \sum_{\tau, l} \sum_{t'}^{c, l, T} [H_{\tau, t}(g_{\tau, t}) + H'_{\tau, t}(Y'_{\tau, t}) - Y_{\tau, t}] \rightarrow \min,$$

где

$$t' = \begin{cases} 1, & \text{если } \tau_i < 0; \\ \tau_i, & \text{если } \tau_i > 0; \end{cases} \quad (3')$$

$$t'' = \begin{cases} \tau_i + T_{II}, & \text{если } \tau_i < 0 \text{ и } \tau_i + T_{II} \leq T; \\ \tau_i + T_{II} - 1, & \text{если } \tau_i > 0 \text{ и } \tau_i + T_{II} - 1 < T; \\ T, & \text{если } \tau_i + T_{II} > T. \end{cases} \quad (3'')$$

Минимизация функционала (3) производится при следующих ограничениях, отражающих балансовые уравнения [5]:

1. Баланс выпуска и распределения электроэнергии за  $t$ -й год

$$\sum_a X'_{i, t} = \sum_a X''_{i, t}, \quad (i = 1, 2, \dots, a; t = 1, 2, \dots, T). \quad (4)$$

Таких уравнений для одного года будет  $l$ .

2. Баланс добычи и распределения топлива по каждому  $\tau$ -му пункту добычи за  $t$ -й год

$$g_{\tau, t} = \sum_c Y'_{\tau, t}, \quad (\tau = 1, 2, \dots, c; t = 1, 2, \dots, T). \quad (5)$$

Таких уравнений для одного года будет  $\tau$ .

3. Баланс по каждому виду топлива из пункта добычи  $\tau$  и каждой  $i$ -й электростанции за  $t$ -й год

$$\sum_c X'_{i, t} i'_c = \sum_{\tau} Y'_{\tau, t} i'_c, \quad (i = 1, 2, \dots, a; \tau = 1, 2, \dots, c; t = 1, 2, \dots, T). \quad (6)$$

Таких уравнений для одного года будет  $i$ .

В выражениях (3) — (6) приняты следующие обозначения:

$i, j, \tau, l$  — соответственно, возможные пункты размещения электростанций, потребления электроэнергии, добычи топлива и виды энергии;

$K_{i, l}, K_{i, l}^I, H_{i, l}, H_{i, l}^I$  — соответственно, капитальные вложения и эксплуатационные расходы для производства электроэнергии на  $i$ -ой электростанции и передачи ее в  $j$ -й пункт потребления;

$g_{\tau, t}, K_{\tau, t}, K_{\tau, t}^I, H_{\tau, t}, H_{\tau, t}^I$  — соответственно, объем производства, капитальные вложения и себестоимость единицы топлива в  $\tau$ -м пункте добычи и затраты на ее транспортировку в  $l$ -й пункт;

$X'_{i, t}, X''_{i, t}, Y'_{\tau, t}$  — соответственно, вводимые мощности электростанций (очереди), передаваемые мощности из  $i$  в  $j$  и количество топлива, транспортируемого из пункта добычи  $\tau$  в  $i$ -ю электростанцию;

$i_l^l$  — количество топлива  $\tau$ -го вида, потребляемое для производства  $l$ -го вида электроэнергии (единицы);

$\alpha_{i,l}^l$  — переходный коэффициент для данной электростанции от мощности к выработке.

Для использования в решении практических задач, не требующих большой степени точности, функционал (3) может быть несколько упрощен. В этом случае можно не учитывать разницу в качестве вырабатываемой электроэнергии (т. е.  $l = a - 1$ ), ограничить количество пунктов потребления электроэнергии  $j$ , считая потребителем центры потребления и т. д. С учетом вышесказанного, функционал (3) будет иметь следующий вид

$$Z = \sum_i^n \sum_{\tau}^r \left[ K_{i,\tau}^t(X_{i,\tau}) + \sum_j^m K_{i,l}^t(X_{i,l}^t) + \sum_j^c K_{\tau,l}^t(Y_{\tau,l}^t) \right] E_{i,l} + \\ + \sum_i^n \sum_{j'}^r \left[ X_{i,\tau}^t \cdot U_{i,\tau}^t(X_{i,\tau}) + \sum_j^m X_{i,l}^t \cdot U_{i,l}^t(X_{i,l}) + \sum_j^c S_{\tau,l}^t(Y_{\tau,l}^t) \right] - \min, \quad (7)$$

где  $K_{i,\tau}^t$ ,  $S_{\tau,l}^t$  — соответственно капитальные вложения на транспорт и оптовая цена топлива вида  $\tau$ , доставляемого в пункт  $i$ ;

$U_{i,\tau}^t$ ,  $U_{i,l}^t$  — соответственно себестоимость производства электроэнергии на  $i$ -й электростанции и передачи в  $j$ .

Условия (3'), (3'') и балансовые уравнения 4—6 остаются в силе.

Для решения задачи в каждом рассматриваемом году независимые параметры подразделяются на три группы: замещаемые, претенденты и фиксированные [6]. В группу замещаемых входят электростанции, условно введенные в данном году. В группу претендентов включается мощность всех электростанций, ввод которых возможен в данном году, а также дополнительная мощность, которая может быть получена на действующих электростанциях рассматриваемой системы и за счет перетоков из других энергосистем. В группу фиксированных входят электростанции, действующие в данной энергосистеме на начало рассматриваемого года (в соответствии с критерием (2) и условием (2')). Для минимизации функционалов (2) и (7) рассматриваются варианты, в которых замещаемые параметры последовательно вытесняются параметрами из группы претендентов. Процесс продолжается до получения минимального значения функционала.

С целью упрощения процесс решения задачи разбивается на два этапа. На первом этапе подготавливаются следующие исходные данные:

1. Определяются все возможные пункты размещения электростанций. Для каждого пункта размещения уточняются возможные типы и мощности электростанций.

2. С учетом всех возможных пунктов размещения и мощностей электростанций составляются возможные схемы электрических сетей.

3. Для каждого пункта размещения методами оптимального программирования определяются оптимальные схемы топливоснабжения для различных возможных мощностей электростанций.

4. Исходя из местных условий, сроков строительства, внутривыставочных и других факторов разрабатывается методика расчета затрат для варьируемых величины мощностей  $[k=f(X_{i,t}), H=f(X_{i,t})]$ .

5. Составляется график потребной мощности на основании перспективных графиков нагрузки с учетом величины резервов.

Задача решается градиентным методом нелинейного программирования [7]. В качестве исходного решения принимаем допустимые значения  $X_{i,t}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $t = 1, 2, \dots, T$ ). Определяется значение функционала  $Z$ , имеющего вид (3) или (7) в исходной точке  $\bar{X}_0$ .

Для определения наименьшего значения функционала  $Z$  внутри области допустимых значений двигаемся против направления градиента

$$\text{grad } Z = \left( \frac{\partial Z}{\partial X_1^1}, \frac{\partial Z}{\partial X_2^1}, \dots, \frac{\partial Z}{\partial X_n^1}, \frac{\partial Z}{\partial X_1^2}, \frac{\partial Z}{\partial X_2^2}, \dots, \frac{\partial Z}{\partial X_n^2}, \dots, \frac{\partial Z}{\partial X_1^T}, \frac{\partial Z}{\partial X_2^T}, \dots, \frac{\partial Z}{\partial X_n^T} \right),$$

где  $\frac{\partial Z}{\partial X_i^t}$  — значение соответствующих частных производных в точке  $\bar{X}_0$ .

Из-за отсутствия аналитических выражений для  $Z(X_i)$ , определяются приближенные значения частных производных, придавая по очереди всем  $X_i$  приращения  $\Delta X_i$  и вычисляя соответствующие приращения  $\Delta Z_{i,t}$  в точке  $\bar{X}_0$ . За градиент функции  $Z$  при достаточно малых  $\Delta X_i$  можно приближенно принять выражение

$$\text{grad } Z = \left( \frac{\Delta Z}{\Delta X_1^1}, \frac{\Delta Z}{\Delta X_2^1}, \dots, \frac{\Delta Z}{\Delta X_n^1}, \frac{\Delta Z}{\Delta X_1^2}, \frac{\Delta Z}{\Delta X_2^2}, \dots, \frac{\Delta Z}{\Delta X_n^2}, \dots, \frac{\Delta Z}{\Delta X_1^T}, \frac{\Delta Z}{\Delta X_2^T}, \dots, \frac{\Delta Z}{\Delta X_n^T} \right), \quad (8)$$

Каждому независимому переменному  $X_i^t$  дается приращение пропорционально значению  $\frac{\Delta Z}{\Delta Z_{i,t}}$  и находится новая точка  $\bar{X}_1$ . Далее определяется значение градиента  $Z$  в точке  $\bar{X}_1$  и продолжается движение против направления градиента до тех пор, пока все значения  $\frac{\Delta Z}{\Delta X_i^t}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $t = 1, 2, \dots, T$ ) станут равны нулю (в пределах точности расчета). Определяем оптимальное значение  $X_i^t$ .

Таким образом, приведенная методика позволяет определить оптимальные мощности электростанций с учетом многих переменных во времени факторов.

Է. Հ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

ԻԿԿՏՐԱԿԱՅՈՆՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ՀԶՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՎ ՆՐԱՆՑ ՇԱՀԱԿՈՐԾՄԱՆ  
ՀԱՆՁՆԵՆԴՈՒ ԺԱՄԿԵՏՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Նշվում է, որ էներգետիկ տեղակայումների խոշորացումն ունի իր նպասակահարմարության սահմանը, որը պայմանավորված է տարրեր գործոնների ներկայանային, սիստեմային, տեղական և այլն) համատեղ ներգործությամբ:

Հոդվածում առաջարկված է տվյալ խնդրի լուծման մաթեմատիկական մոդել՝ ձևակերպված դումարային հաշվային ծախսերի ֆունկցիոնալի ձևով, որը կախված է արտադրվող էներգիայի քանակից և բալանսային սահմանափակումներից՝ ըստ վառելիքի ու էլեկտրաէներգիայի: Առաջարկվող մոդելը թույլ է տալիս հաշվի առնել հիմնական գործոններն իրենց գինամիկությամբ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Черкухин А. А. Основные вопросы экономической эффективности капитальных вложений в электроэнергетике СССР, М., 1963.
- 2 Овсепян Э. О. Оптимальное планирование ввода мощностей тепловых электростанций с учетом фактора времени. Сборник научных трудов Ереванского политехнического института, т. 22. Ереван, 1965.
- 3 Пиркутский Ю. А. Методологические вопросы прогнозирования структуры мощностей в энергетических системах. (Автореферат кандидатской диссертации), М., 1967.
- 4 Овсепян Э. О. Концентрация производства в энергетике. Сб. «Экономические предпосылки и резервы роста производства». Ереван, 1968.
- 5 Рыбальский В. И. Учет принципов организации строительства при размещении предприятий. Сборник «Математические методы и проблемы размещения производства», М., 1963.
- 6 Методы математического моделирования в энергетике, Иркутск, 1966.
- 7 Когин Б. М., Тер-Микаелин Т. М. Решение инженерных задач на цифровых вычислительных машинах, М., 1964.