

$$x_3 = -\frac{\nu + \omega}{2} - j \frac{\nu - \omega}{2} \sqrt{3} .$$

$$\text{Тогда } z_1 = x_1 - \frac{p^2}{6} ; z_2 = x_2 - \frac{p^2}{6} ; z_3 = x_3 - \frac{p^2}{6} .$$

В качестве  $\nu$  и  $\omega$  берутся любые значения кубических корней из соответствующих комплексных чисел, удовлетворяющие соотношению

$$\nu \omega = -\frac{k}{3} = -\frac{p^2 - 4r}{48} + \frac{p^4}{36} = \frac{p^4}{36} - \frac{p^2 - 4r}{48} .$$

Последовательно решая уравнения (13) и (9), находим значение  $I_{\text{Опт}}$ , т.е. оптимальное значение расходов на проведение текущего ремонта и обслуживание сети

$$I_{\text{к опт}} = I - I_{\text{Опт}} .$$

#### Л и т е р а т у р а

1. Электротехнический справочник. - М.: Энергия, 1975, т.3. - 587 с. 2. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике. - М.: Наука, 1974. - 880 с.

УДК 621.311.1

Л.П.Падалко, канд.техн.наук, В.Н.Нагорнов, инженер (БПИ)

#### ПРОБЛЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТИ ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Проблема выявления рациональных путей покрытия переменной части графика электрической нагрузки обусловлена как экономическими, так и техническими аспектами развития электроэнергетики. Экономическая сторона объясняется различием стоимостных характеристик источников разного типа, изменением структуры топливного баланса, требующего все большего использования для нужд энергетики ядерного топлива. Кроме того, многие экономические показатели электростанций зависят также и от режима их использования.

Требования технического характера обуславливаются неравномерным режимом электропотребления, предъявляющим повышенные требования к маневренным свойствам оборудования: скорости набора и сброса нагрузки, глубине разгрузки. Данные требования не могут быть в полной мере удовлетворены только за счет оборудования мощных КЭС или АЭС. Недостаток маневренных источников в энергосистеме вызывает вынужденную работу базового оборудования в переменной части графика нагрузки. Это приводит к повышенному износу оборудования, снижению надежности и экономичности. Перенасыщение энергосистем базовыми генерирующими источниками уже на сегодня ставит вопрос о целесообразности использования оборудования ТЭС в полупиковом режиме.

Таким образом проблема рационального покрытия переменной части графика нагрузки заключается не только в выборе оптимального режима работы эксплуатируемого оборудования, но и в формировании оптимальной структуры генерирующих источников на перспективный период. Рассмотрим экономико-математическую модель поставленной задачи, сформулированную на основе позиционной оптимизации [1]. В этой модели суточный график нагрузки ЭЭС эквивалентуется в виде определенного количества зон, которые охватывают всю площадь этого графика. Каждая зона графика характеризуется определенной нагрузкой и числом часов ее использования. В практических задачах достаточная точность может быть получена при разбивке графика на 4 - 6 зон, каждой из оптимизируемых мощностей генерирующих источников предоставляется право работать в любой зоне графика нагрузки, за исключением тех зон, в которых имеются ограничения по техническим условиям. Предполагается, что внутри каждой из зон графика все оптимизируемые энергоустановки эксплуатируются в режиме, отвечающем параметрам данной зоны графика нагрузки. Показатели удельных затрат оптимизируемых электростанций в разных зонах графика ЭЭС принимаются дифференцированными.

Применительно к статической постановке задачи целевая функция может быть записана в виде

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

где  $x_{ij}$  - мощность  $i$ -й станции в  $j$ -й зоне графика нагрузки;  $c_{ij}$  - удельные затраты по  $i$ -й станции в  $j$ -й зоне на единицу мощности.

Для действующих электростанции  $x_{ij}$  означает их рабочую мощность, а  $c_{ij}$  – удельные затраты топлива на единицу мощности в денежном измерении. Для данного случая  $c_{ij}$  определяется

$$c_{ij} = z_{Ti} b_{ij} h_{ij},$$

где  $z_{Ti}$  – замыкающие затраты на топливо, сжигаемого на  $i$ -й электростанции;  $b_{ij}$  – показатель удельных затрат на топливо;  $h_{ij}$  – число часов использования  $i$ -й электростанции в  $j$ -й зоне. Для вновь сооружаемых электростанций  $x_{ij}$  означает вводимую мощность электростанции, которая будет использоваться в  $j$ -й зоне. Показатель  $c_{ij}$  в данном случае выражает удельные приведенные затраты на единицу вновь вводимой мощности и определяется так:

$$c_{ij} = (E_n + p)k_i + z_{Ti} b_{ij} h_{ij},$$

где  $p$  – коэффициент, учитывающий отчисления на амортизацию и обслуживание;  $k_i$  – удельные капиталовложения в  $i$ -й генерирующий источник.

В составе ограничений задачи прежде всего следует учесть условие выполнения баланса мощности, записываемое в виде:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \geq P_{\max}$$

Ограничение по балансу энергии может быть представлено так:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} h_{ij} \geq \Theta_{\text{год}}$$

В математической модели могут быть в принципе учтены ограничения, диктуемые техническими соображениями по каждому типу генерирующих источников. К числу таковых относятся, например, ограничения по располагаемой мощности действующих источников, по предельной мощности вновь сооружаемой электростанции, различные ограничения режимного характера и т.д.

В вышеприведенной модели было записано предположение, что годовой режим электропотребления представляется одним характерным суточным графиком нагрузки. Для приближения предлагаемой модели к реальным условиям необходимо более полное представление годового режима электропотребления. Это требует введения не одного, а нескольких характерных суточ-

ных графиков нагрузки. Таковыми могут быть, например, графики рабочих, субботних и воскресных суток, взятые для каждого месяца, квартала или сезона. Данное обстоятельство вносит существенные усложнения в модель, однако делает ее более адекватной фактическому режиму электропотребления. Рассмотрим принципы математической формулировки приведенной выше математической модели с учетом указанных условий. Предположим, что модель формулируется для месячного периода, представляемого с помощью трех характерных суточных графиков. Обозначим число соответствующих суток через  $n_p$ ,  $n_c$ ,  $n_B$ , тогда целевая функция запишется:

$$Z = \sum_{l=1}^3 K_l \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ijl} x_{ijl} \rightarrow \min,$$

где  $x_{ijl}$  - мощность  $i$ -й станции в  $j$ -й зоне для  $l$ -го характерного графика;  $K_l$  - количество рабочих, субботних и воскресных суток в рассматриваемом месяце.

Условия по балансу мощности и энергии для характерных суток

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ijl} \geq P_l;$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ijl} h_{ijl} \geq \Theta_l, \quad l = \overline{1,3}.$$

Предполагая, что мощности электростанций в режимных зонах рабочих суток будут всегда выше мощностей, получаемых для тех же зон субботних и воскресных суток, коэффициенты целевой функции  $c_{ijl}$  для разных типов суток будут определяться по-разному. Поскольку мощности вновь вводимых электростанций будут определяться величинами  $x_{ijl}$  для рабочих суток в коэффициентах  $c_{ijl}$ , для них должны быть учтены капитальные затраты и соответственно отчисления на амортизацию и обслуживание. Коэффициенты  $c_{ijl}$  для воскресных и субботних суток включают в себя только затраты на топливо. Способы формирования этих коэффициентов были описаны ранее.

Если предположить, что нагрузка энергопотребления непрерывно растет из года в год, то даже при неизменной неравномерности суточного режима электропотребления (либо даже при небольшом уменьшении переменной части графика нагруз-

ки) необходимость в пиковой, полупиковой и базовой мощности будет возрастать. Отсюда следует, что оптимум задачи в динамической постановке будет равен сумме оптимумов для статической постановки. В противном случае, т.е. когда темпы снижения пиковости будут превышать темпы роста нагрузки, сумма частных оптимумов не будет соответствовать динамическому оптимуму. В данной ситуации оказывается необходимой динамическая формулировка задачи.

Целевая функция динамической модели для случая представления годового режима в виде одного суточного графика может быть представлена

$$\begin{aligned}
 Z = E_H \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m (k_{i\Delta} x_{it} + p_i k_i (x_{i0} + \sum_{s=1}^{t-1} \Delta x_{is})) + \\
 + \sum_{j=1}^n b_{ij} x_{ij} h_{ij} \delta_{jt} + \sum_{i=1}^m p_i k_i (x_{i0} + \sum_{s=1}^{t-1} \Delta x_{is}) + \\
 + \sum_{j=1}^n b_{ij} x_{ij} h_{ij} \delta_{jt} .
 \end{aligned}$$

Ограничения задачи

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^n x_{ij} &= x_{i0} + \sum_{s=1}^{t-1} \Delta x_{is}; \\
 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} &= P_t, \quad t = \overline{1, T}; \\
 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} h_{ij} &\geq \Theta_t,
 \end{aligned}$$

где  $\Delta x_{ij}$  - мощность, вводимая на  $i$ -й электростанции в  $t$ -м году;  $x_{ij}$  - мощность  $i$ -й электростанции, учитывающая в  $j$ -й режимной зоне в  $t$ -м году.

В данной модели мощность участия рассматриваемых генерирующих источников в любой зоне графика нагрузки энергосистемы и число часов использования мощности на каждом интервале развития ЭЭС являются независимыми переменными. Поэтому режим работы всех электростанций может оптимизироваться в модели в любой год развития ЭЭС независимо от

того, в каком режиме работала данная электростанция в предшествующие годы.

На основе рассмотренных моделей с помощью ЭВМ ЕС-1030 был проделан комплекс расчетов по выявлению оптимальной структуры генерирующих мощностей для Белорусской и Ленинградской энергосистем. При уровне замыкающих затрат на мазут 40 - 45 руб/т.у.т., уголь 35 - 38 руб/т.у.т. и цене ядерного топлива 8 - 11 руб/т.у.т. была выявлена экономическая целесообразность перевода части эксплуатируемых КЭС и ТЭС на органическом топливе в полупиковый режим. Расчеты также подтвердили необходимость первоочередного ввода АКЭС, АТЭС по отношению к электростанциям на органическом топливе.

### Л и т е р а т у р а

1. Шарыгин В.С. Линейная математическая модель по выбору структуры энергосистемы с усовершенствованным учетом режима. - Экономика и математические методы, 1973, т. 1X, №1, с. 122 - 130. 2. Падалко Л.П. Критерии и методы оптимального управления электроэнергетической системой. - Минск: Наука и техника, 1979. - 200 с.

УДК 621.316.1.027.5.019.3

А.П.Крысенко, инженер (БО ЭСП)

### ВЫБОР ОБЪЕМА, ОЧЕРЕДНОСТИ И МЕСТ УСТАНОВКИ УСТРОЙСТВ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Надежность электроснабжения сельских потребителей не отвечает уровню современного сельскохозяйственного производства, характеризующегося комплексной электромеханизацией и автоматизацией технологических процессов. Одним из основных способов повышения надежности электроснабжения, не требующих существенной реконструкции распределительной сети, является оснащение ее противоаварийной автоматикой - устройствами автоматического секционирования (УС), пунктами автоматического ввода резерва (АВР), а также сооружение резервных связей (РС) между линиями, обеспечивающее повышение эффективности автоматики. Осуществление автоматизации в широком масштабе требует разработки планов автома-