УДК 519.8

Ф.А. ШАРИФОВ

ЗАДАЧА ВЫБОРА РЕЖИМОВ ОБЪЕДИНЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПО АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Рассматривается задача определения оп-тимального режима включения и отключения отдельных или групп блоков энергосистемы при условии установления баланса между вырабатываемой и потребляемой электроэнергией на заданный период

В регионах различные станции объединяются в генераторные группы, которые передают вырабатываемую ими электроэнергию по сети энергосистемы. Количество общей вырабатываемой энергии должно удовлетворять суммарной потребности региона в электроэнергии. Суммарная потребность региона в электроэнергии для определенного периода определяется через потребности в энергии этого региона для краткосрочных периодов (например, в течение суток по часам). Другими словами, график суммарного количества потребления энергии на некоторый период задается как график, состоящий из графиков на краткосрочные период. Этот график может имеет несколько локальных максимумов и минимумов, которые отражают употребление электроэнергии в максимальном или минимальном количестве на заданный период. Поэтому необходимо корректировать уровень (количества) вырабатываемой электроэнергии в зависимости от мощностей потребности региона, таким образом, чтобы между вырабатываемой и потребляемой электроэнергией установился баланс. При этом следует учесть потери энергии в сети энергосистемы, а также ограничения сверху и снизу на активные мощности электростанции.

Для определения оптимального режима работы электростанции на краткосрочный период (скажем, в течение часа), учет потери энергии в сети, а также ограничения сверху и снизу на активные мощности электростанции являются достаточными при установлении баланса между вырабатываемой и потребляемой электроэнергией. Однако для установления баланса на заданный период (например, в течение суток) многие специфические условия работы на краткосрочный период интегрируются, и при этом требуется учитывать специфику включения и отключения блоков энергосистемы. Для формулировки задачи выбора оптимального режима объединенной энергосистемы по активной мощности отметим, что потеря энергии в сети задается как квадратичная функция от мощности энергоблоков, в линейной и в квадратичной части которой присутствуют неотрицательные коэффициенты. Ограничения на активные мощности задаются сверху и снизу. При этом затраты на функционирование энергосистемы задаются как сумма затрат для отдельных электростанции, которые заданы как функция от вырабатываемой активной мощности энергоблоков.

При этих данных в задаче выбора оптимального режима объединенной энергосистемы по активной мощности требуется выбрать наилучший режим работы энергосистемы, при котором достигается минимум суммарных затрат на функционирование энергосистемы при балансе между вырабатываемой и потребляемой общей энергией с учетом потерь энергии в сети, а также при ограничениях сверху и снизу на допустимые активные мощности энергоблоков.

Для определения наилучшего режима на заданный период эти условия должны быть интегрированы по краткосрочным периодам.

Данное описание общей задачи выбора оптимального режима объединенной энергосистемы по активной мощности в дальнейшем будет использовано для формулировки математических моделей этой задачи относительно краткосрочного и заданного периодов. С этой целью, рассматриваются некоторые математические допущения, обусловленные природой рассматриваемых задач.

1. Задача оптимизации краткосрочных режимов объединенной энергосистемы по активной мощности (задача 1)

Эта задача заключается в отыскании суммарных минимальных затрат на функционирование системы в течение заданного краткосрочного периода (например, в течение часа) при выполнении следующих ограничений:

(i) уравнение баланса между суммарной потребляемой и производимой энергии с учетом потерь энергии в сети;

(ii) двусторонние ограничения на мощности, пропускаемые по контролируемым линиям для передачи энергии, или на их потребления в энергосистемах;

(iii) двусторонние ограничения на допустимые мощности вырабатываемой энергии по каждой электростанции.

Основные допущения, используемые при математической формулировке модели данной задачи:

- переменными задачи являются неизвестные мощности электростанций, включенных в рассматриваемую модель.

- затраты как функция от мощности для каждой электростанций, рассматриваемых в модели, является неубывающей кусочно-линейной допускающей возможно разрывы конечной величины (1-го рода)
- функция суммарных потерь энергии в сети является квадратичной функцией от переменных задачи (мощностей электростанций)
- коэффициенты квадратичной функции потерь и каждой линейной функции передаваемых мощностей однозначно определяются структурой и параметрами (проводимости) сети энергосистемы и указателем тяжести нагрузки системы (дневной или ночной минимум, максимум нагрузки).

С учетом принятых допущений математическая модель рассматриваемой задачи формулируется так: найти

$$\min \sum_{i=1}^{n} f(x_i) \tag{1}$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^{n} x_i - \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_i x_j - \sum_{i=1}^{n} a_i x_i = Q, \tag{2}$$

$$l_k \le \sum_{i=1}^{n} c_{ik} \le d_k, \quad k = 1,...,m, \tag{3}$$

$$p_i \le x_i \le q_i, \quad i = 1,...,n, \tag{4}$$

где n – число генераторных групп; x_i –неизвестная мощность генераторной группы $i = 1,...n$; $f_i(x_i)$ – кусочно-линейная функция затрат для генераторной группы $i = 1,...n$; Q –суммарная мощность нагрузок; $A = \{a_{ij}\}$, $i, j = 1,...,n$, $a = (a_1,...,a_n)$ –соответственно матрица и вектор коэффициентов квадратичной функции потерь; $C = \{c_{ik}\}$, $i = 1,...,n$, $k = 1,...,m$ – матрица коэффициентов контролируемых функций мощностей; $l = (l_1,...,l_m)$, $d = (d_1,...,d_m)$ –векторы верхних и нижних границ для контролируемых параметров; $p = (p_1,..., p_n)$, $q = (q_1,...,q_n)$ – векторы верхних и нижних границ для вырабатываемых мощностей генераторных групп.

В этой модели задачи 1, ограничения (1)–(3) –математическое выражение неформального описания (i)–(iii).

2. Задача оптимизации на заданный период режимов объединенной энергосистемы по активной мощности (задача 2)

Данная задача отыскания минимума суммарных затрат энергосистемы на производство и потребление энергии в течение заданного периода (1–3-суток) рассматривается в ограничениях (i)–(iii). Однако в этом случае условия (i)–(ii) должны выполнятся для каждого единиц (часа) заданного периода, а ограничения (iii) становятся интегральными, т. е. они относятся к заданному периоду в целом. Кроме этого к системе может быть добавлено следующее интегральное ограничение:

(iv) разность количества вырабатываемой энергии в заданный период для двух заданных электростанции не превышает заданную величину.

С помощью перечисленных ограничений легко формулируются ограничения по балансу используемых гидроресурсов для каскадов ГЭС в течение заданного периода. Для формулировки математической модели данной задачи, предположим, что задан график суммарного потребления энергии в течение заданного периода (рис. 1)

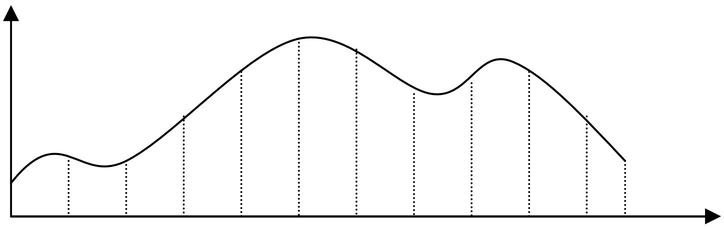

РИС. 1

Подграфик этого графика можно рассматривать представляя в виде объединения вертикальных фрагментов (полос, как показано на рис 1). При этом каждая полоса соответствует некоторой единице времени (например, часовому периоду) заданного периода. В этом случае математическую модель задачи можно сформулировать как объединение множества моделей задачи 1, добавляя в функционал затраты, связанные с переходом от одной полосы к последующей минимизируя полученный суммарный функционал. При таком подходе число переменных задачи равно числу переменных, умноженному на число ее вертикальных полос. Подобным образом растет и число ее ограничений.

Другой подход связан с аппроксимацией подграфика горизонтальными полосами (рис. 2).

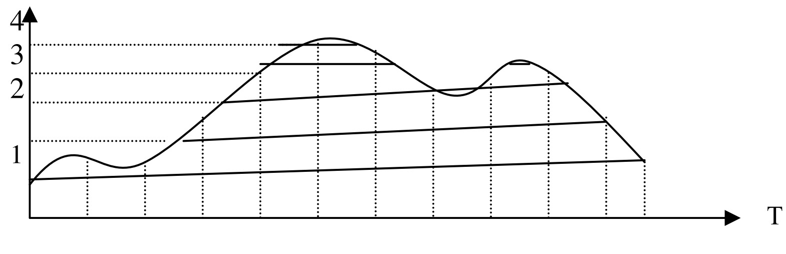

РИС. 2

Каждому фрагменту соответствует интервал или интервалы его функционирования и мощность, соответствующая его высоте графике. Для каждого интервала k и электростанции i обозначим неизвестную мощность $x_{ik} \geq 0$. В этих терминах математическая модель задачи содержит меньшее число переменных, чем модель, полученная выше указанным способом. Для простоты, предположим, что $p_i = 0$ для всех i.

Пусть задана кусочно-линейная, неубывающая функция

$$f_i(x_i) = \begin{cases} a_i x_i + b_i, & x_i > 0, \\ 0, & x_i = 0 \end{cases}$$

краткосрочных затрат на производство мощности x_i для каждой электростанции i и $\phi_{ik}(x_{ik})$ – функция затрат на выработку мощности x_{ik} для электростанции i работающей по варианту k. Если λ_k (часов)– общее время работы электростанции i по варианту k, тогда $\phi_{ik}(x_{ik}) = a_i / \lambda_k + b_i x_{ik}$, поскольку затраты a не зависят от времени работы по варианту k. Поэтому после построения функции $\phi_{ik}(x_{ik})$ по этой схеме для всех i и k функционал задачи 2 записывается в виде

$$\sum_{k=1}^{K} \lambda_k \sum_{i=1}^{n} \phi_{ik}(x_{ik}). \tag{5}$$

Здесь K -число интервалов аппроксимации. Ограничения задачи (1)–(4) легко преобразовать для задачи 2 в терминах переменных x_{ik}. После подобного преобразования ограничения этой задачи, соответствующие (2)–(4), имеют вид

$$\sum_{s=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} x_{is} - \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{k} (\sum_{s=1}^{k} x_{is})(\sum_{s=1}^{k} x_{js}) - \sum_{s=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} a^{k}{}_{i} x_{is} = Q_k, \tag{6}$$

$$l_k^j \leq \sum_{j=1}^{K} \sum_{i=1}^{n} c_{ik}^j \leq d_k^j, \ k = 1,...,m, \ j = 1,....,K, \tag{7}$$

$$p_i \leq \sum_{k=1}^{K} x_{ik} \leq q_i, \quad i = 1,...,n, \tag{8}$$

Здесь $Q_k = \sum_{s=1}^{k} Q_s$, где Q_s –суммарная мощность, соответствующая варианту s; для $s = 1,...,K$ и $k = 1,...,K$.Коэффициенты матриц $A_k = \{a_{ij}^k\}$, $C_j = \{c_{ik}^j\}$, $i, j = 1,...,n$, $k = 1,...,m$ и вектора $a^k = (a_1^k,...,a_n^k)$ – аналоги матриц A, C и вектора a в задаче 1, рассчитанные относительно мощностей суммарного потребления сети.

Таким образом, в задаче 2 требуется найти минимум функции (5) при ограничениях (6)–(8). Для решения задачи можно применить схемы декомпозиции, изложенные в [1, 2] путем которых решены разнообразные задачи размещения и задачи оптимального проектирования различных энергетических систем.

Ф.А. Шаріфов

ЗАДАЧА ВИБОРУ РЕЖИМІВ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ З АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Розглядається задача визначення оптимального режиму включення і відключення окремих чи груп блоків енергосистеми за умови встановлення балансу між виробленою та спожитою електроенергією на заданий період.

F.A. Sharifov

SHEDULING CHOICE PROBLEM FOR POWER SYSTEMS JOINTED BY ACTIVE STATE

We consider the design minimum cost scheduling for choosing an active state of power systems that must be operated in a short time or for given time. We formulate the problem as finding a minimum nonlinear function with quadratic and linear type constrains.

1. *Михалевич В.С., Трубин В.А., Шор Н.З.* Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования. – М.: Наука, 1988. – 259 с.
2. *Уайлд Д.* Оптимальное проектирование. – М.: Мир, 1981. – 272 с.