

Данная задача, как и предыдущая, должна решаться с помощью двухэтапного метода.

В статье задача рассматривалась в статической постановке. Учитывая наблюдаемую в последние годы тенденцию разуплотнения суточного графика нагрузки, предложенная модель может быть использована для решения рассматриваемой задачи в наиболее общей, динамической постановке. При этом частный оптимум, полученный для каждого года, будет соответствовать оптимальному решению для всего расчетного периода оптимизации.

Расчеты, выполненные по изложенной методике для одной из энергосистем на уровень нагрузки 1985 г., показали, что соотношение между базовыми, полупиковыми и пиковыми мощностями должно быть соответственно 74,2, 16,1 и 9,7%.

Резюме. Изложенный в статье подход позволяет экономически обоснованно подойти к выбору оптимального соотношения между базовыми и маневренными генерирующими источниками в энергосистеме.

#### Л и т е р а т у р а

1. Мелентьев Л.А., Лаврененко К.Д. О выборе эффективного оборудования для работы в переменной части графика нагрузки электроэнергетических систем. - "Теплоэнергетика", 1971, № 3.
2. Рокотян С.С., Волькенау И.М., Волкова Е.А. Требования энергосистем к маневренности оборудования. - "Теплоэнергетика", 1971, № 3.
3. Озарной И.Н. Формирование структуры генерирующих мощностей. - "Электрические станции", 1972, № 6.
4. Гельтман А.Э., Шапиро Н.И. Анализ эффективности использования ТЭЦ для покрытия пиковых электрических нагрузок. - "Теплоэнергетика", 1968, № 2.

УДК 621.311.16.014

В.В. Петров, канд. техн. наук, Р.И. Белоусова

#### РАСЧЕТ КОРРЕКЦИИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Режим энергосистемы может отклоняться от предварительно рассчитанного суточного графика нагрузки. При этом могут нарушаться ограничения по режиму работы оборудования и ка-

честву электроэнергии отпускаемому потребителям. Своевременная коррекция режима энергосистемы в течение всего процесса снизит вероятность возникновения или развития аварии и аварийных отключений в энергосистеме.

В качестве режимных контролируемых параметров решаемой задачи рассматриваются: модули напряжений в узлах сети  $U_i$ ; модули токов в линиях ( $I_{ij}$ ); модули разности фазовых углов напряжений между любыми узлами сети ( $\theta_{ij}$ ).

Ввод контролируемых параметров в заданные границы обеспечивается вариацией регулирующих величин: коэффициентов трансформации трансформаторов, регулируемых под нагрузкой  $\tau_{ij}$ , активной  $P_i$  и реактивной  $Q_i$  мощностью источников генерации.

При нарушении контролируемых параметров режима энергосистемы проводится оперативная коррекция по критерию минимума корректирующих воздействий с учетом регулировочного диапазона контролируемых параметров и регулирующих величин:

$$P_{\gamma}^{\min} \leq \Delta P_{\gamma} + P_{\gamma}^{\circ} \leq P_{\gamma}^{\max}; \quad Q_{\rho}^{\min} \leq \Delta Q_{\rho} + Q_{\rho}^{\circ} \leq Q_{\rho}^{\max}; \quad (1)$$

$$(\tau_{ij})_{g}^{\min} \leq (\Delta \tau_{ij})_g + (\tau_{ij})_g^{\circ} \leq (\tau_{ij})_g^{\max};$$

$$U_i^{\min} \leq \Delta U_i + U_i^{\circ} \leq U_i^{\max}; \quad (2)$$

$$-I_{ij}^{\max} \leq \Delta I_{ij} + I_{ij}^{\circ} \leq I_{ij}^{\max};$$

$$-\theta_{ij}^{\max} \leq \Delta \theta_{ij} + \theta_{ij}^{\circ} \leq \theta_{ij}^{\max}.$$

где  $\Delta P_{\gamma}$ ,  $\Delta Q_{\rho}$ ,  $(\Delta \tau_{ij})_g$  - соответственно приращения активной, реактивной мощности источников генерации и коэффициентов трансформации трансформаторов, регулируемых под нагрузкой (РПН);  $\gamma$ ,  $\rho$ ,  $g$  - количество станций, регулирующих соответственно активную, реактивную мощность и количество регулируемых под нагрузкой трансформаторов.

Поставленная задача может быть решена методом линейного программирования [1]

$$\min \left\{ C^T x \mid Ax = b, x \geq 0 \right\},$$

где  $C$  - вектор коэффициентов целевой функции;  $b$  - вектор свободных членов;  $A$  - матрица коэффициентов чувствительности;  $x$  - искомый вектор.

Использование метода линейного программирования требует представление информации в канонической форме. При этом ограничения, заданные в виде системы двусторонних неравенств, преобразуются в уравнения с положительными переменными путем введения дополнительных переменных. Методика преобразования неравенств в равенства приведена в [2]. В рассматриваемой задаче неравенства (1), (2) представлены в виде:

$$\begin{aligned}
 x_{\gamma} - x_{2\gamma} - x[2(\gamma + \rho + g) + \gamma] &= P_{\gamma}^{\min} - P_{\gamma}^0; \\
 x_{2\gamma} - x_{\gamma} - x_{2(\gamma + \rho)} &= P_{\gamma}^0 - P_{\gamma}^{\max}; \\
 -M_p^u x_{\gamma} + M_p^u x_{2\gamma} - M_Q^u x(2\gamma + \rho) + M_Q^u x_{2(\gamma + \rho)} - \\
 -M_{\tau}^u x(2\gamma + 2\rho + g) + M_{\tau}^u x_{2(\gamma + \rho + g)} - x_6(\gamma + \rho + g) &= \\
 = -U_i^{\max} + U_i^0; \\
 M_p^u x_{\gamma} - M_p^u x_{2\gamma} + M_Q^u x(2\gamma + \rho) - M_Q^u x_{2(\gamma + \rho)} + \\
 + M_{\tau}^u x(2\gamma + 2\rho + g) - M_{\tau}^u x_{2(\gamma + \rho + g)} - \\
 -x[6(\gamma + \rho + g) + \alpha] &= -U_i^{\min} - U_i^0,
 \end{aligned}$$

где  $M_p^u$ ,  $M_Q^u$ ,  $M_{\tau}^u$  - матрицы чувствительности напряжений к вариации соответственно активной, реактивной мощности и коэффициентов трансформации трансформаторов с РПН.

Сформированная в канонической форме задача может быть решена методом линейного программирования. Стандартные программы [3], реализующие метод линейного программирования, требуют больших затрат машинного времени, что неприемлемо для решения оперативных задач. Кроме того, специфика задачи оперативной коррекции режима энергосистемы состоит в том, что только относительно небольшая часть контролируемых параметров одновременно выходит за пределы заданных ограничений.

Учитывая особенности данной задачи, разработан алгоритм расчета оптимальных корректирующих воздействий, позволяющий ввести нарушенные контролируемые параметры в область заданных ограничений с максимальной скоростью. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 1.

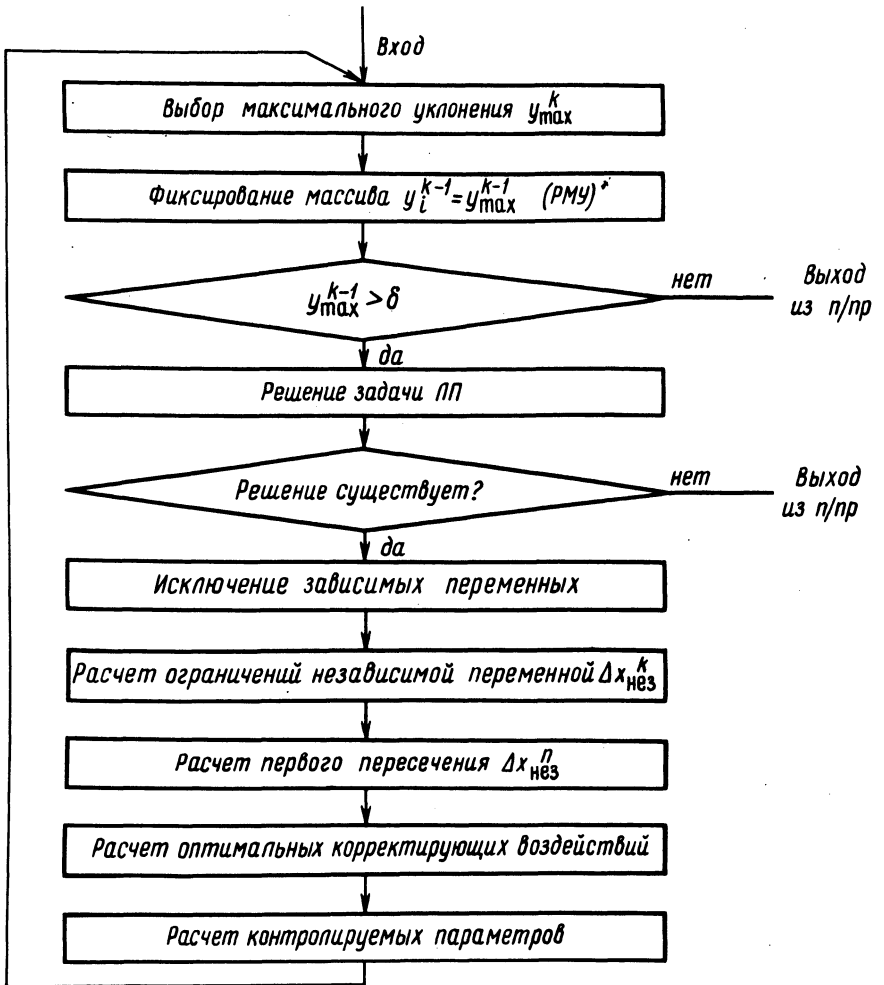


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета корректирующих воздействий.

Суть алгоритма состоит в том, что из всего множества контролируемых параметров выбираются нарушенные параметры с равным максимальным отклонением от граничной области. Уравнения, описывающие массив равных максимальных отклонений (РМУ), решаются методом линейного программирования при условии отсутствия ограничений на переменные. При наличии решения проводится исключение зависимых переменных и формирование массива РМУ как функции одной произвольно выбранной независимой переменной. Если выбранная независимая переменная имеет свободный регулировочный диапазон, рассчитывается значение ее приращения в точке пересечения с одним из отклонений. Зная приращение независимой переменной, рассчитываются оптимальные корректирующие воздействия, а затем и контролируемые параметры энергосистемы. Расчет, таким образом, повторяется до тех пор, пока нарушенные контролируемые параметры не будут введены в область заданных режимных ограничений или все регулировочные диапазоны независимых переменных не будут исчерпаны.

Разработанная методика, алгоритм и программа оперативного ввода контролируемых параметров в область заданных ограничений позволяют получить на каждом шаге итерации приближение к оптимальному решению по всем контролируемым параметрам и значительно сократить время поиска решения. Для энергосистемы размерностью 100 узлов решение задачи линейного программирования на машине ЕС-1030 занимает примерно 45 . . . 70 мин [3]. Если в рассматриваемой системе количество нарушенных параметров не превышает 10 . . . 20, то применение предлагаемого алгоритма позволит сократить время счета в 5 . . . 7 раз.

Резюме. Представляется возможность в любой момент времени получать решение задачи, близкое к оптимальному, и использовать его для цели оперативного управления.

### Л и т е р а т у р а

1. Белоусова Р.И. Методика ускоренного расчета послеаварийного режима энергосистемы. - "Изв. вузов СССР. Энергетика", 1974, № 5.
2. Мякишева Е.Д. Стандартная программа для решения задачи линейного программирования на машине БЭСМ-4, сер.: Стандартные программы решения задач математического программирования, вып. 9. М., 1968.
3. Математическое обеспечение ЕС ЭВМ, вып. 5. Система линейного программирования. Минск, 1974.