ЛИТЕРАТУРА

1. Анищенко В. А. Выявление ошибок сигнализации положения коммутирующей аппаратуры при помощи ЭВМ // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). — 1982. — № 9. — С. 24—28.

2. Анищенко В. А. Совместный контроль достоверности сигнализации положений коммутационной аппаратуры и измерений аналоговых переменных // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1994. — № 1—2. — С. 9—13.

3. Анищенко В. А., Суле Итопа Малик. Комбинированный контроль достоверности сигнализации положения коммутационной аппаратуры и измерений аналоговых переменных // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1995. — № 3—4. — С. 52—56.

4. Анищенко В. А., Шутов А. Л. Функциональная диагностика сигнализации положения коммутационных электрических аппаратов // Электропотребление, энергоснабжение, электрооборудование: Тез. докл. всероссийской науч.-техн. конф. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, 1999. — С. 14—16.

5. Анищенко В. А., Шутов А. Л. Диагностика сигнализации положения коммутационных аппаратов в системах электроснабжения // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 2000. — № 1. — С. 23—27.

6. Надежность и эффективность в технике. — Т. 9. Техническая диагностика / И. М. Синдеев, В. Ф. Воскобоев, Д. В. Гаскаров и др.; Под общ. ред. В. В. Клюева, П. П. Пархоменко. — М.: Машиностроение, 1987. — 352 с.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 14.02.2000

УДК 621.311

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТЕЙ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Канд. техн. наук ДУЛЕСОВ А. С.

Хакасский государственный университет имени Н. Ф. Катанова

Одной из важнейших задач в условиях рыночной экономики является оптимальная загрузка по мощности электроэнергетической системы (ЭЭС). Она достигается, в частности, наилучшим распределением загрузки электростанций, но лишь в том случае, когда последняя располагает резервом мощности и топлива. Решение задачи может быть достигнуто путем применения методов оптимизации.

Задача оптимизации сводится к определению экстремального значения критерия при наличии ограничений. Оптимальный режим будет достигаться за счет наиболее экономичного распределения активных мощностей между включенными на параллельную работу станциями.

В статье предлагается математическая модель, описывающая задачу и один из подходов ее реализации, основанный на методе множителей Лагранжа. Решение ориентировано на определение оптимального распределения мощностей между станциями в ЭЭС.

Будем рассматривать задачу оптимального распределения активной мощности между ТЭС ЭЭС без учета затрат на собственные нужды. Необходимо найти такой режим работы ТЭС, который обеспечивал бы наименьшие затраты по топливу. При этом должно быть соблюдено условие баланса между спросом и предложением. Целевой функцией при этом будет такая, которая описывает достижение максимума прибыли на определенном интервале времени. Прибыль образуется как разность между доходом от продажи энергии и затратами на топливо. Задача максимизации прибыли будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{n}[T_i P_i(x_i) - c_i x_i]_t \to \max, \tag{1}$$

при условии, что

$$\sum_{i=1}^{n} P_i(x_i) = P_0 + \Delta P, \qquad x_i > 0; \qquad i = 1, 2, ..., n. \tag{2}$$

В целевой функции первое слагаемое представляет собой доход от реализации, второе — затраты на топливо. Здесь n – количество КЭС в ЭЭС; T_i – тариф на отпущенную i-й КЭС электроэнергию; c_i – стоимость единицы топлива, приобретенного и доставленного на i-ю КЭС; P_0 – спрос на электроэнергию (активную мощность) в ЭЭС; ΔP – величина потерь электроэнергии в ЭЭС; x_i – количество единиц топлива, затрачиваемого на производство электроэнергии i-й станцией; t – индекс времени; $P_i(x_i)$ – производственная функция.

Производственная функция представляет собой зависимость объема выпускаемой продукции от величины затрачиваемого ресурса [1] и имеет вид: $P_i = A_i x_i^{a_i} - b_i$, где A_i, a_i и b_i параметры, положительные по величине. Для каждой КЭС данная функция описывает зависимость выдаваемой активной мощности от расхода топлива и представляет собой расходную характеристику, краткое определение которой дано в [2]. В отличие от расходной, производственная функция учитывает не только расход топлива, но и такие ресурсы, как трудовые и капитал. Последние приняты в $P_i(x_i)$ постоянными. Данная производственная функция отличается от классической производственной функции Кобба-Дугласа тем, что она сдвинута по оси абсцисс вправо на величину коэффициента b_i. Данный сдвиг позволяет учесть ситуацию, когда станция, работающая на холостом ходу, не выдает активной мощности. Поэтому в математической модели величина $x_i > \sqrt[a_i]{b_i / A_i}$. Параметры производственной функции могут быть определены с помощью нелинейного метода наименьших квадратов [3]. Производственная функция позволяет описать взаимосвязь между расходом (затратами) топлива в масштабе ЭЭС и конечным выпуском продукции (электроэнергии) станции. Функция удовлетворяет ряду свойств:

1) $P(0) = 0$ – без топлива нет выдачи мощности;

2) $\partial P(x) / \partial x > 0$ – с ростом затрат на топливо увеличивается объем выпуска. Частная производная представляет собой удельный прирост

мощности станции на единицу затраченного топлива (энергоэффективность станции);

3) $\partial^2 P(x)/\partial x^2 \le 0$ – с ростом затрат на топливо при неизменном количестве других затрат (ресурсов, потребляемых станцией) величина прироста выпуска на каждую дополнительную единицу топлива не растет (закон убывающей эффективности).

Поскольку для производственной функции все свойства выполняются, решение (1) при ограничении (2) может быть найдено с помощью метода Лагранжа

$$L(x_i, \lambda) = \sum_{i=1}^{n} [T_i P_i(x_i) - c_i x_i] + \lambda [P_0 + \Delta P - \sum_{i=1}^{n} P_i(x_i)].$$

Для последующего решения функцию Лагранжа представим как систему уравнений в развернутом виде:

$$\partial L(x_i, \lambda)/\partial x_i = T_i A_i a_i x_i^{a_i - 1} - c_i - \lambda A_i a_i x_i^{a_i - 1} = 0, \qquad i = 1, 2, \ldots, n;$$

$$\partial L(x_i, \lambda)/\partial \lambda = \sum_{i=1}^{n} A_i x_i^{a_i} - b_i - P_0 - \Delta P = 0.$$

Решение данной системы, состоящей из $n+1$ уравнения, может быть получено с помощью градиентных методов. В частности, путем применения пакета «MATHCAD 7» на IBM MMX 166 были получены искомые результаты.

На основании графика электропотребления, изменяя P_0, определялось множество оптимальных решений x_i^*. Множество точек $x_i^*(P_0)$, соответствующих различным значениям P_0 (при условии, что $\Delta P = \text{const}$), образуют в пространстве x_i линию, которую можно назвать линией оптимального поведения КЭС в ЭЭС. Она будет претерпевать изменения как в случае регулирования тарифов, так и цен на топливо.

Помимо (2), в модели учитывались такие ограничения, как: $P_i(x_i) \le P_{iy}$; $P_i(x_i) \ge P_{ixx}$, где P_{iy} и P_{ixx} – соответственно установленная мощность и мощность холостого хода i-й КЭС. Решение задачи достигалось следующим образом: если какое-либо из указанных ограничений, количество которых равно $2n$, не выполнялось, то его правая и левая части приравнивались; из равенства определялось значение x_i; задача решалась вновь, но уже с фиксированным значением x_i.

Модель справедлива и для ЭЭС, содержащих ТЭС и ГЭС, работающих с сезонным или суточным регулированием мощности. Здесь вводятся дополнительные ограничения, составленные исходя, например для ГЭС, из наличия границ верхнего бьефа водохранилища.

На тепловых станциях, где агрегаты различаются между собой по техническим параметрам, их расходные характеристики отличаются друг от друга. В случае необходимости дополнительного учета экономического поведения агрегатов на станции и, следовательно, всех станций в ЭЭС, модель будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} [T_i P_{ij}(x_{ij}) - c_i x_{ij}]_t \to \max;$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} P_{ij}(x_{ij}) = P_0 + \Delta P;$$

$$x_{ij} > 0; \quad i = 1, 2, ..., n; \quad j = 1, 2, ..., m,$$

где m – количество агрегатов на станции.

Таким образом, упрощенная математическая модель позволяет определить экономичный оптимальный режим работы ЭЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Замков О. О., Толстопятенко А. В., Черемных Ю. Н. Математические методы в экономике. – М.: МГУ имени М. В. Ломоносова, 1997.

2. Электрические системы и сети / Под ред. Г. И. Денисенко. – К.: Вища шк., 1986.

3. Математическая экономика на персональном компьютере / Пер. с яп. М. Кубонива, М. Табата, С. Табата, Ю. Хасэбэ; Под ред. М. Кубанова. – М.: Финансы и статистика, 1991.

Представлена кафедрой
экономической информатики

Поступила 25.11.1999

УДК 621.316.35.064.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ РАСЩЕПЛЕННЫХ ФАЗ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ОБЛЕДЕНЕНИЮ

Инж. ПЛАТОНОВА И. А., асп. МОШОНКИН В. С.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

В работе обсуждается построение математической модели расчета аэродинамических характеристик проводов расщепленной фазы (РФ), подверженных обледенению. Проводится сравнительный анализ колебаний РФ различной конфигурации с учетом обледенения и без него. Для проведения вычислительного эксперимента используется математическая модель колебаний РФ, построенная в [1].

Колебания расщепленной фазы могут быть вызваны, например, порывом ветра, внезапным сбросом гололеда и т. д. В процессе ее движения возникают аэродинамические усилия, действующие на элемент длины dx каждого провода РФ: