

# Автоматизация маркетинговой задачи управления энергопотреблением предприятия

К. И. Богаенко, В. С. Смирнов, А. Г. Мазуренко

Для оценки эффективности капиталовложений в автоматизацию управления энергетическими режимами может быть использована производственная экономическая модель

$$Z(Z_1, Z_2, t) = Z_{от} + \sum_{i=1}^n a_i Z_{1i}(t) + [П_{от} + \sum_{j=1}^n (b_j Z_{2j}(t) - c_j Z_{3j}(Z_3(Z_1, t)))] , \quad (1)$$

где  $Z_{от}$  — затраты на устройства контроля и управления, программное и математическое обеспечения;  $a_i Z_{1i}(t)$  — затраты на трудовые ресурсы;  $П_{от}$  — номинальные затраты на электроэнергию;  $b_j Z_{2j}(t)$  — затраты на оплату потерь электрической энергии и штрафы за невыполнение требований энергоснабжающих организаций;  $c_j Z_{3j}(Z_3, t)$  — экономия, достигнутая за счет удовлетворения требований энергоснабжающей организации, в отношении потребления активной и реактивной энергии из энергосистемы в часы "пик" и "провалов" электрических нагрузок, снижения основной платы за электрическую энергию, уменьшение потерь электрической энергии в источниках реактивной мощности и т. д.

Для задаваемых функций  $Z_{1i}(t)$  задача (1) может быть решена графически.

При минимизации целевой функции (1) возникает задача построения оптимального производственного плана и поиска оптимальных решений

$$b_3: \text{argmax} [C_0(B_3) \int C_p(k) f(k/a_3) dk] ,$$

где  $C_0(B_3)$  — множество альтернатив;  $k$  — множество критериев оценки качества альтернатив;  $C_p(k)$  — многомерная функция полезности;  $f(k/a_3)$  — функция плотности условного распределения вероятности на значениях множества критериев, отражающих известную степень уверенности и опыта решений;  $b_3$  — альтернатива, соответствующая наилучшему решению.

Систему целесообразно синтезировать на основе принципов системного подхода, оптимальности и иерархичности. Необходимо автоматизировать весь процесс управления активной и реактивной мощностями: сбор и обработку входной информации, учет, планирование, контроль, оперативное управление и регулирование.

Проведенные исследования показали, что технически целесообразно и экономически эффективно автоматизировать решение следующей задачи оптимального управления:

требуется так управлять режимами активной и реактивной мощности предприятия в часы "пик", "провалов" и прочие часы суток, изменяя режим работы отдельных приемников электрической энергии (потребителей-регуляторов (ПР) электрических нагрузок) и режим работы источников реактивной мощности — конденсаторных установок и

синхронных двигателей, чтобы плата за электрическую энергию в расчетном интервале времени была минимальной при условии, что токи отдельных элементов системы электроснабжения, напряжения у электроприемников, объем и показатели качества выпускаемой продукции не выходили за пределы заданных.

На первом этапе исследуют нагрузочные режимы предприятия, рассматривают размещение устройств контроля и управления, оценивают базисные и пиковые источники регулирования.

Базисные ПР снижают или увеличивают базу — среднестатистическое значение совмещенной нагрузки предприятия (СНП) по активной и реактивной мощности в часы "пик" и "провалов". Основное назначение пиковых ПР — компенсация пиков — превышений СНП по активной, реактивной мощности над среднестатистическим значением.

Электрические приемники с точки зрения потребления электрической энергии целесообразно разделить на характерные группы в зависимости от нагрузочных режимов: равномерная, кратковременная, повторно-кратковременная, циклическая, непериодическая, неравномерная и т. д.

Устанавливают зависимости между активной и реактивной мощностью. В случае линейной зависимости между реализациями нестационарных случайных графиков  $P(t)$  и  $Q(t)$  взаимосвязь между ними оценивают через корреляционные моменты. Для анализа взаимосвязи между случайными процессами  $P(t)$  и  $Q(t)$ , когда корреляционный и регрессионный анализы неприемлемы, используют взаимодисперсионные функции

$$\theta_{QP}(t, P_B) = M \left\{ [M(Q_t / P_B) - M(Q_t)]^2 \right\},$$

где  $M(Q_t / P_B)$  — условное математическое ожидание;  $M(Q_t)$  — математическое ожидание.

Для заданной функции плотности вероятности в виде нормального закона закон распределения для зависимости

$$Q = a_0 + aP^2$$

рекомендуют использовать

$$f(Q) = \begin{cases} 0 & \varphi \leq a \\ \frac{1}{\sigma P - \sqrt{8b}(q-a)} \left[ \text{EXP} \left\{ -\frac{1}{2\sigma P} \left[ \left( \frac{Q-a}{b} \right)^{0,5} - MP \right] \right\} - \right. \\ \left. - \text{EXP} \left\{ -\frac{1}{2\sigma P} \left[ \left( \frac{Q-a}{b} \right) - MP \right]^2 \right\} \right] & Q > a. \end{cases}$$

Эффективность управления существенно зависит от достоверности полученных данных и погрешности измерений. Поэтому требуется сравнительно простая оценка достоверности отображения информации, а также определение погрешности измерений.

Учитывая известную взаимосвязь между параметрами электрической цепи, достоверность измерений может быть оценена по совместным показаниям группы приборов.

Погрешность измерений складывается из погрешностей вносимых измерительными трансформаторами потерей напряжения в контрольном кабеле от трансформатора напряжения до датчика напряжения и в ин-

формационном канале. Результирующая погрешность, образованная суммой случайных величин, является случайной величиной и может быть охарактеризована математическим ожиданием и дисперсией (стандартным отклонением). Основная информация о погрешностях — паспортные данные аппаратуры, статистические характеристики измеряемых величин, которые могут обрабатываться в реальном времени.

Исходные данные, полученные от датчиков, представляют в виде матрицы таким образом, чтобы номер подразделения соответствовал номеру элемента матрицы. Данные автоматизированного учета расхода электрической энергии заносят в две матрицы, одна из которых диагональная — учитывает потребление энергии без учета расхода межцеховых перетоков мощности, а вторая — с учетом этих перетоков. Сумма матриц показывает электропотребление соответствующего подразделения.

Структура системы управления активной и реактивной мощностью включает в себя известные подсистемы:

- планирования режимов  $P(t)$ ,  $Q(t)$  (ПС 1) ;
- оперативного управления режимами базисных ПР (ПС 2);
- оперативного учета СНП по  $P(t)$ ,  $Q(t)$  (ПС 3);
- оперативного управления режимами пиковых ПР по активной и реактивной мощности (ПС 4);
- регулирования нагрузок (ПС 5).

Задачи ПС 1 и ПС 2 решаются вычислительным комплексом на основе математических моделей и методов для задаваемых интервалов времени. По результатам решения определяют оптимальные значения: СНП  $P(t)$ ,  $Q(t)$  в часы "пик" и "провалов", суточные программы управления базисными и пиковыми ПР.

Результаты решения задач в виде соответствующих документов согласовывают в отделе главного энергетика.

Задачи ПС 3 решаются информационно-вычислительным устройством на основе входной информации с датчиков. Рассмотренным выше способом формируют массивы текущих значений СНП по  $P(t)$  и  $Q(t)$  в текущее время  $t$ . Указанные массивы поступают на вход ПС 4. Сюда же операторы вводят информацию о плановых значениях СНП.

Задача ПС 4. Оптимальное управление реактивными мощностями пиковых СД по времени суток по заданным программам, оперативный контроль СНП по реактивной мощности, оценка текущего состава пиковых СД и текущей суммарной реактивной мощности, генерируемой (потребляемой) ими, оптимальная коррекция мощностей пиковых СД.

Задачи ПС 5 решаются автоматическими регуляторами в подразделениях предприятия.

Информационное пространство АСУ включает следующие информационные потоки:

1. Условно-постоянная информация (множество массивов, характеризующие интервалы времени, суточные программы, нормативные данные и т. д.).

2. Входная информация (множество внешней информации о текущих значениях измеряемых величин и т. д.).

3. Выходная информация (текущие оптимальные значения управляющих команд, полученных в результате решения соответствующих задач по заданным алгоритмам).

Алгоритм управления представляют в виде графа, вершинами которого являются функциональные задачи, а ребра — информационные связи между ними.