

представляет собой множество объектов с одинаковым сроком эксплуатации и является подмножеством множества линий, которые выполнены на одинаковых опорах и принадлежат к одному и тому же классу напряжения. Если объем слоя достаточен, найдем средние оценки и дисперсии объемов работ каждого слоя.

Возможны случаи отсутствия каких-либо данных в слое (пустые слои). В [2] приводятся пути преодоления этой сложности.

Аналогичные рассуждения могут быть применены и к определению объемов дефектов.

Л и т е р а т у р а

1. Комплекс задач АСУ по учету и анализу информации об отключениях и повреждениях электроустановок/ З.Б. Севрюк, Г.И.Балуева, Г.А.Сенькина, Э.С.Шварц и др. – В сб.: Автоматизация управления Белорусской энергосистемой. – Минск: Польша, 1975, с.29 – 32. 2. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании. – М.: Статистика, 1978, вып. 1. – 221 с.

УДК 621.311.016.3.001.573:681.3

У.Бернхардт, инженер (ГДР)

ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАФИКОВ НАГРУЗОК ЭНЕРГОСИСТЕМ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Ввиду большого влияния электрических нагрузок на принятие решений в задачах оптимизации и развития энергосистем вопросам вероятностного определения и моделирования графиков нагрузок энергосистем в последние годы уделяется большое внимание. При этом основная цель заключается в обобщенном представлении электрических нагрузок на определенном интервале времени, отражающем их внутренние существенные связи и позволяющем их описывать аналитически.

В этих целях автором была создана программа для ЕС ЭВМ "KATRIN", производящая статистический анализ графиков нагрузок. Она позволяет определить такие их числовые характеристики, как математическое ожидание (МО), дисперсия, среднеквадратичное отклонение (СКО), коэффициент корреляции

графиков активной $P(t)$ и реактивной $Q(t)$ нагрузок, коэффициенты линейного уравнения регрессии

$$Q'(t) = A + BP(t). \quad (1)$$

Представление графика $Q(t)$ как вероятностной функции $Q'(t)$ от $P(t)$ полезно для моделирования $Q(t)$ лишь при известном графике $P(t)$. Коэффициенты A и B определяются методом наименьших квадратов [1].

Программа также предназначена для определения коэффициентов нестационарной гармонической модели графиков нагрузок [2]. Ввиду высокой степени периодической устойчивости графиков нагрузок, вызванной ритмичностью потребления электрической мощности, целесообразна их тригонометрическая интерполяция с помощью интегралов Фурье, что способствует аналитическому описанию.

Кроме того, программа позволяет установить распределение суточных графиков нагрузок (для выяснения характера их законов распределения) и степень устойчивости реализации характерных графиков (например, 10 рабочих дней), для чего определяются МО, дисперсия, СКО, распределение и автокорреляционная функция в каждый час рассматриваемого графика, а также гармонический состав усредненного графика и другие показатели.

Проведенные автором многочисленные расчеты электрических нагрузок позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Для аналитического описания устойчивых временных трендов графиков электрических нагрузок выгодно применять нестационарную гармоническую модель. В этом случае МО трендов не искажаются, хорошо воспроизводится периодичность процесса. Для случая суточных трендов [2] при включении первых пяти гармонических среднеквадратичная погрешность аппроксимации находится в пределах 1 - 4% для графиков активной и 0,4 - 2% для графиков реактивной нагрузок (по отношению к $P(t)_{\max}$). Естественное и искусственное усреднение графиков потребителей приводит к снижению погрешности на 1 - 2% за счет отбрасывания случайных отклонений.

Аналогично [2] может быть представлен недельный тренд. Годовой тренд целесообразно представить в виде

$$P'_O(r) = P_O(r_2) + \frac{P_O(r_1) - P_O(r_2)}{2} \left(\cos \frac{2\pi}{T} r + 1 \right) + \frac{2 \Delta_{\text{год}}^e}{100T} r, \quad (2)$$

здесь $P_0(r_1)$ и $P_0(r_2)$ – суточные МО зимнего (r_1) и летнего (r_2) графика рабочих дней; e – годовой прирост мощности в % от $\Xi_{\text{год}}$ за период $T=365$ дней.

2. Нормированный коэффициент корреляции между графиками $P(t)$ и $Q(t)$ находится в пределах 0,7 – 0,95, что говорит о высокой степени их взаимосвязи и утверждает приемлемость [1]. СКО находится в пределах 1 – 4%. Полезным оказывается, что замена $P(t)$ в (1) на его гармонически аппроксимированный график приводит фактически к идентичным СКО.

3. Приведение коэффициентов гармонической модели [2] и уравнения (1) к суточным МО позволяет использовать их в качестве типовых. Тогда, например, годовой тренд можно моделировать, задавая соответствующий тип суточного и недельного тренда, зимнее и летнее МО графика рабочих дней и годовой прирост для данного узла нагрузки.

4. Почасовые СКО от их МО лежат в пределах 5–15% от суточного МО. Ввиду фактического отсутствия корреляционной связи между почасовыми СКО и их МО ($R < 0,5$) целесообразно принимать постоянство и равенство их средним величинам. Хотя почасовые автокорреляционные функции остаточных членов процесса [1] $P_{\xi}(t)$ и $Q_{\xi}(t)$ показывают переменный характер, по практическим соображениям можно предполагать для них нормальный закон распределения с описанным СКО. Тогда процесс потребления мощности можно представить как

$$P(t) - jQ(t) = P'(t) + P_{\xi} - j[Q(t) + Q_{\xi}], \quad (3)$$

здесь $P'(t)$ и $Q'(t)$ – аппроксимирующие графики действительных графиков $P(t)$ и $Q(t)$, а $P'(t)$ в общем виде по выражению

$$P'(t) = \prod_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \cos\left(\frac{2\pi}{T_i} jt - \theta_{ij}\right), \quad (4)$$

где i – номер учитываемого тренда с периодом T_i ; j – номер гармонической ($j = 0, 1, \dots$) i -го тренда с амплитудой P_{ij} и фазовым углом θ_{ij} . График $Q'(t)$ может быть представлен аналогично (4) или по выражению (1).

Для эффективного определения параметров (3) создана программа APPDAY, выбирающая из набора типовых суточных тренд, APPWE и APPYEAR для представления недельных и годовых трендов.

Предложенная вероятностно-определенная нестационарная модель графиков нагрузок может быть использована в целях прогнозирования графиков нагрузок и электропотребления для времени устойчивости входящих в нее трендов, определения таких характеристик, как максимум, минимум, средняя средне-квадратичная величина, $T_{\text{макс}}$, τ и др.

Созданная автором программа для ЕС ЭВМ "АДЕКВАТ" позволяет моделировать годовой график нагрузок потребителей с учетом суточного, недельного и годового трендов (см. п.4), определять вышеназванные величины и годовое распределение.

Гипотеза о нормальном законе распределения [1] не противоречит опытным данным. Поэтому, зная годовое МО и СКО, годовой график можно в определенных целях статистически моделировать, например, для определения баланса [3] реактивной мощности узлов нагрузок, что также реализовано в программе.

"АДЕКВАТ" способствует уточнению определения потерь энергии. Оперирование в этих целях с величинами $P_{\text{макс}}$ и τ в сложозамкнутых сетях приводит к труднооценимым погрешностям. Обладая вышеописанной моделью, целесообразно на основе временной синхронизации всех графиков нагрузок данной энергосистемы $l = 1, 2, \dots, N$ выделить определенное количество характерных режимов $h = 1, 2, \dots, K$, адекватно отражающих годовые графики. Если интервалы синхронизации выделить таким образом, чтобы распределение внутри них было близко к нормальному, то средние \dot{S}_{1n} и среднеквадратичные мощности $\dot{S}_{1n}^{\text{сркв}}$ этих интервалов будут фактически идентичны и годовые графики нагрузки энергосистемы можно представить в матричном виде:

$$\dot{S}^{\text{сркв}} \approx \begin{vmatrix} \dot{S}_{11} \dots \dot{S}_{1n} \dots \dot{S}_{1K} \\ \dot{S}_{21} \dots \dot{S}_{2n} \dots \dot{S}_{2K} \\ \dots \\ \dot{S}_{N1} \dots \dot{S}_{Nh} \dots \dot{S}_{NK} \end{vmatrix} \quad (5)$$

Величины матрицы (5) определяются программой "АДЕКВАТ" для $K=18$ и 24 . Потери энергии в системе можно опеределить, рассчитывая потери мощности для каждого режима h (столбца матрицы) и умножая их на время существования режима t_h :

$$\delta \mathcal{E} = \sum_{h=1}^K \delta P_{h t_h}. \quad (6)$$

Проведенные расчеты утверждают приемлемость предлагаемой методики.

Л и т е р а т у р а

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: -М.: Изд-во физико-математической лит., 1962, -564с. 2. Бернхардт У. Нестационарная гармоническая модель суточных графиков электропотребления. -Изв. вузов. Энергетика, 1980, №9, с.102-106. 3. Бернхардт У. Определение баланса реактивной мощности на основе вероятностной модели графиков нагрузок. -Изв. вузов. Энергетика, 1981, №9, с.95-99.

УДК 621.315.21:537.312.62

И.А.Ступак, ст.преподаватель (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕКОТОРЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Для электроснабжения крупных потребителей и электроемких производств промышленных предприятий разработано много разновидностей электропитающих схем традиционного исполнения. При больших рабочих токах в этих схемах имеются значительные потери мощности и энергии. Снизить эти потери позволяют сверхпроводящие источники и токопроводы в их сочетании с обычным электропитающим оборудованием.

На этом основании, используя обычные и нетрадиционные источники и коммутационные аппараты, можно сформировать разнообразные схемы (модели) электроснабжения электроемких производств и крупных потребителей промышленных предприятий

Основной задачей данной статьи является разработка алгоритмов и составление программ расчета технико-экономических показателей (ТЭП) отдельных элементов, формирование различных моделей электроснабжения электроемких производств, выполнение расчетов для отдельных элементов и моделей на ЭВМ, исследование и анализ полученных результатов.

Для определения ТЭП схем электроснабжения были установлены аналитические зависимости стоимости отдельных элементов этих схем от энергетических (мощности, напряжения, то-