УДК 621.311.1

Л.П.Падалко, А.И.Баранников, Н.Н.Никольская

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Задача определения производства электроэнергии на электростанциях энергосистемы возникает при перспективном, годовом и внутригодовом планировании основного производства. Наличие фактора неопределенности информации, необходимой для решения данной задачи, дает возможность (с учетом принципа равноточности [1]) ориентироваться на приближенные методы решения, адекватные уровню достоверности исходной информации. В этой связи представляют интерес статистические методы.

Электроэнергия на ТЭС вырабатывается в теплофикационном и конденсационном режимах. Поскольку факторы, оказывающие влияние на размеры теплофикационной и конденсационной выработки, различны, то определение их можно осуществлять раздельно. Данная статья посвящена вопросу определения выработки электроэнергии по конденсационному режиму.

Если факторы, оказывающие влияние на размер производства электроэнергии, интерпретировать как случайные величины, то изменение выработки электроэнергии на элестростанции может быть представлено в виде случайного процесса

$$Э(t) = f(t) + \varepsilon(t), \qquad (1)$$

где $f(t)$ – неслучайная функция, характеризующая тренд изменения выработки; $\varepsilon(t)$ – случайная величина с нулевой средней.

Определение размера производства электроэнергии на электростанциях может быть представлено в форме задачи прогнозирования многомерного временного ряда, если производство электроэнергии в энергосистеме представляется в виде вектора $Э(t)$, компонентами которого являются размеры производства электроэнергии $Э_1(t), Э_2(t), ..., Э_m(t)$ на отдельных электростанциях. Задача формулируется следующим образом. Имеются отчетные данные многомерного временного ряда $Э(t)$ для $t = 1, 2, ..., \tau$. Требуется оценить значение вектора $Э(\tau + l)$ на период упреждения, равный l.

Наличие тренда позволяет осуществлять прогноз на основе экстраполяции. Простая экстраполяция элементов вектора $Э(t)$ на основе применения методов одномерного прогнозирования недостаточно эффективна вследствие взаимной коррелированности этих элементов. Эту трудность можно преодолеть, если воспользоваться методами факторного анализа [2], которые позволяют перейти от вектора коррелированных параметров Э к вектору некоррелированных факторов F . Векторы Э и F связаны соотношением

$$Э = AF . \qquad (2)$$

Здесь А – матрица факторных нагрузок, которая строится на основе корреляционной матрицы R.

Если матрица А квадратная, то некоррелированные факторы определяются как

$$F = A^{-1} Э.$$

В этом случае число факторов F_i равно числу исходных параметров $Э_i$. Многие факторы F_i вносят несущественный вклад в общую дисперсию модели (2). Это позволяет ограничиться их числом, меньшим числа исходных параметров. Такие факторы, называемые главными, определяются по формуле

$$F = BЭ, \tag{3}$$

где В – матрица размером k x n $(k < n)$, для вычисления которой существует ряд эффективных алгоритмов [2].

Схема прогнозирования производства электроэнергии с помощью главных факторов сводится к следующему. На основании отчетных данных вектора Э (t) для $t = 1, 2, ..., \tau$ по выражению (3) определяются значения вектора F(t). Некоррелированность компонент вектора F(t) позволяет прогнозировать их на момент $\tau + 1$ с помощью методов одномерного прогнозирования. После этого прогноз $Э(\tau + 1)$ определяется как

$$Э(\tau + 1) = AF(\tau + 1).$$

Изложенный экстраполяционный подход к оценке прогнозных значений производства электроэнергии на электростанциях не всегда может оказаться эффективным из-за наличия нерегулярности в изменениях выработки во времени. В этих условиях более эффективным является применение регрессионных моделей, выражающих зависимость производства электроэнергии на отдельных электростанциях от факторов-аргументов. К ним могут быть отнесены такие показатели, как величина суммарного производства (или отпуска) электроэнергии в энергосистеме, размеры потребления энергии в основных узлах электропотребления, сведения о составе работающего оборудования электростанции или ее готовности за рассматриваемый плановый период, информация о величинах межсистемных перетоков энергии. Обозначая указанные факторы через x_i, уравнение регрессии представим в следующем виде:

$$Э_i = f_i(x_1, x_2, ..., x_n). \tag{4}$$

Для построения регрессионной модели необходимо выбрать обоснованный состав независимых переменных и форму уравнения регрессии, правильно оценить коэффициенты уравнения [3]. Выбор независимых переменных и формы уравнения осуществляются на основе эмпирических соображений, так как формального метода решения этих задач не существует.

Коэффициенты уравнений определяются обычно с помощью метода наименьших квадратов. При этом для целей прогнозирования целесообразно применение его модифицированного варианта с весовыми коэффициентами. Искомые параметры находятся в результате решения безусловной экстремальной задачи

$$\min \sum_{t=1}^{\tau} [f_i^{(t)} (x_1, x_2, ..., x_n) - Э_i(t)]^2 \alpha^{-t}, \tag{5}$$

где $Э_i(t)$ – отчетные данные о выработке электроэнергии для i-й станции; α – коэффициент, меньший единицы $(0 < \alpha < 1)$. Введение коэффициента α дает возможность придать больший вес в оценке коэффициентов тем значениям выработки, которые находятся ближе к моменту осуществления прогноза. Это позволяет при осуществлении прогноза в большей степени учесть закономерность влияния факторов на интересующий показатель, сложившуюся в последние моменты времени отчетного периода $t = 1, 2, ..., \tau$. Применение регрессионного уравнения для целей прогноза предполагает решение трех проблем: определение значений факторов x_i на период упреждения, выяснение применимости уравнений регрессии для оценок значений вне диапазона наблюдений этого показателя и факторов, трансформирующих точечные прогнозы в интервальные. В результате решения других задач независимые переменные определяются вне рамок прогностической модели. Вторая проблема обусловлена тем, что получаемые на основе регрессионной модели прогнозные оценки будут объективно обеспечивать уровень показателя лишь в том случае, если характер взаимосвязи, свойственный отчетному периоду, сохранится на предстоящий период. Можно предполагать, что для относительно небольшого периода упреждения изменение характера взаимосвязи будет несущественным. Для отражения влияния на показатель структурных особенностей системы в модель вводятся характеризующие их факторы. Третья проблема взаимосвязана с первой и сводится к определению доверительных интервалов прогноза, который определяется как

$$\overline{Э}(t) \pm t_a \sigma_э,$$

где $\overline{Э}(t)$ – расчетное значение $Э(t)$; $\sigma_э$ – среднеквадратическая ошибка тренда; t_a – значение t-критерия Стьюдента.

Качество прогнозных оценок может быть проверено для ретроспективных данных, т.е. путем сравнения прогнозных и фактических значений показателя $Э(t)$ для моментов времени отчетного периода. Для количественной оценки качества прогнозов могут быть использованы статистические характеристики (например, коэффициент расхождения)

$$\nu = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{\tau} (Э^{п}(t) - Э(t))^2}}{\sum_{t=1}^{\tau} Э^2(t)}, \tag{6}$$

где $Э^{п}(t)$ и $Э(t)$ – соответственно прогнозные и фактическое значение показателя выработки.

Следует, однако, заметить, что значения показателей качества прогнозов, рассчитанные для ретроспективных данных, сохраняют свой уровень на период упреждения лишь в том случае, если на этот период сохраняется отмеченный ранее характер взаимосвязи между показателем и факторами.

Перспективным может быть применение эконометрических моделей [4], которые представляют собой систему взаимосвязанных друг с другом регрессионных уравнений. Для рассматриваемой здесь задачи эта модель в общем виде записывается как

$$\begin{aligned} Э_1 &= \varphi_1(Э_2, Э_3, ..., Э_m, x_1, x_2, \cdots, x_n); \\ Э_m &= \varphi_m(Э_1, Э_2, ..., Э_{m-1}, x_1, x_2, ..., x_n). \end{aligned}^{т} \tag{7}$$

Такая форма записи модели называется структурной. Для линейного случая она может быть представлена в виде

$$AЭ + BX = \varepsilon, \tag{8}$$

где A, B – матрицы коэффициентов модели; ε – вектор ошибок.

Прогнозное значение вектора Э получается в результате разрешения модели (8) относительно этого вектора

$$Э = A^{-1}BX + A^{-1}\varepsilon \tag{9}$$

Система уравнений эконометрической модели, записанная в форме (9), называется приведенной. Эконометрическая модель лучше отражает причинно-следственный механизм, существующий в реальности, однако ее применение более сложно. Один из подходов к ее использованию заключается в построении приведенной модели, а затем в обратном переходе к структурной. Более подробно методы построения и использования эконометрической модели изложены в работе [4].

Литература

1. Мелентьев Л.А. Оптимизация и управления в больших системах энергетики. – М., 1977. 2. Харман Г. Современный факторный анализ. – М., 1977. 3. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. – М., 1975. 4. Шаттелес Т. Современные экономические модели. – М., 1975.