

УДК 621.331

© Кузнецов В.Г.*

**ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСЯЧНЫХ РАСХОДОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ УЧАСТКОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА
ВЫДЕЛЕНИЯ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ РЯДА**

В данной статье рассмотрены научные основы прогнозирования расходов электроэнергии дистанций электроснабжения на основе метода выделения главных компонент ряда. Выбран рациональный интервал сглаживания.

Ключевые слова: прогноз, тяговая подстанция, расход электроэнергии.

Кузнецов В.Г. Прогнозування місячних витрат електроенергії електрифікованих ділянок на основі методу виділення головних компонент ряду. У даній статті розглянуті наукові основи прогнозування витрат електроенергії дистанцій електропостачання на основі методу виділення головних компонент ряду. Обрано раціональний інтервал згладжування.

Ключові слова: прогноз, тягова підстанція, витрата електроенергії.

V.G. Kuznetsov. Monthly power consumption forecasting of electrified sections on the basis of the selection of principal components of the series. This article discusses the scientific basis of forecasting a power consumption of electrified sections on the basis of the allocation of principal series component. It's selected a rational smoothing interval.

Keywords: forecasting, traction substation, power consumption.

Постановка проблемы. В связи с переходом железных дорог Украины на закупку электроэнергии на оптовом рынке и внедрением микропроцессорных автоматизированных систем коммерческого учёта электроэнергии возникла возможность определять фактические профили нагрузки тяговых подстанций с минимальным интервалом усреднения. Знание фактического профиля нагрузки позволяет решать ряд прикладных задач, среди которых можно выделить задачу прогнозирования расходов электроэнергии в дистанциях электроснабжения. Данная задача является особенно актуальной при внедрении во всех хозяйствах железнодорожного транспорта энергосберегающих мероприятий.

Анализ последних исследований и публикаций. Научно-практические аспекты применения прогрессивных методов закупки электроэнергии для железных дорог Украины приведены в работах [1, 2]. Метод выделения главных компонент временного ряда развит в работах [3, 4].

Целью данной статьи является изложение методики прогнозирования месячных расходов электроэнергии тяговых подстанций на основе метода выделения главных компонент временного ряда (метода «Гусеница»).

Изложение основного материала. Метод «Гусеница» [3, 4] предполагает выполнение следующих шагов.

1. Сглаживание исходного временного ряда.
2. Определение главных компонент.
3. Восстановление исходного ряда по главным компонентам.
4. Собственно прогнозирование.

Положим, что заданы значения расходов электроэнергии x в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_N , где $t_{i+1} - t_i = h$ для всех $1 \leq i \leq N-1$ и $t_1 < t_2 < \dots < t_N$. Будем обозначать $x_i = x(t_i)$. Последовательность x_1, x_2, \dots, x_N образует временный ряд. Сделаем предварительные преобразования исходного временного ряда.

* д-р техн. наук, доцент, ГВУЗ «Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна», г. Днепропетровск

Для этого ряда выбираем интервал сглаживания длины M ($M \leq \frac{N}{2}$). Это один из центральных этапов метода, от которого во многом зависит качество прогнозирования. Первый интервал сглаживания охватывает x_i от x_M , второй – от x_2 до x_{M+1} , и т.д.; последний - от x_{N-M+1} до x_N . Расположим их в виде матрицы:

$$x = (x_{ij})_{ij}^{k,M} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_M \\ x_2 & x_3 & x_4 & \dots & x_{M+1} \\ x_3 & x_4 & x_5 & \dots & x_{M+2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_k & x_{k+1} & x_{k+2} & \dots & x_{r+N} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $k = N-M+1$.

Будем считать первый столбец матрицы (1) значениями случайной величины ξ_1 , второй столбец – значениями случайной величины ξ_2 , и т.д., последний столбец значениями случайной величины ξ_m , полученными в результате наблюдений.

Для системы случайных величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m$ запишем корреляционную матрицу:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где
$$r_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k \frac{1}{S_i S_j} (x_{i+l-1} - \bar{x}_i)(x_{j+l-1} - \bar{x}_j),$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k x_{i+l-1}, \quad \bar{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k x_{j+l-1},$$

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{l=1}^k (x_{i+l-1} - \bar{x}_i)^2}, \quad S_j = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{l=1}^k (x_{j+l-1} - \bar{x}_j)^2},$$

r_{ij} характеризует силу линейной связи между ξ_i и ξ_j , т.е. между i -м и j -м столбцами матрицы X .

Для выделения главных компонент вычислим собственные числа λ_i и собственные векторы Y_i корреляционной матрицы. Есть различные численные методы определения собственных чисел и соответствующих им собственных векторов матриц. Для определения собственных чисел и собственных векторов корреляционной матрицы R хорошо приспособлен метод скалярных произведений с исчерпыванием, ориентированный на симметричные матрицы. Для корреляционной матрицы $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_M = M$.

Переобозначим вычисленные собственные векторы и образуем из них матрицу P . В этой матрице i -ый столбец представляет собой i -ый собственный вектор.

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_M) = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{M1} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{M2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{1M} & P_{2M} & \dots & P_{MM} \end{bmatrix}.$$

Главные компоненты вычисляются по формуле $X \cdot P = Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, или более подробно:

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1M} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kM} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{M1} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{M2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{1M} & P_{2M} & \dots & P_{MM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1M} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{k1} & y_{k2} & \dots & y_{kM} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где
$$y_{ij} = \sum_{l=1}^M x_{il} P_{jl}.$$

Далее производится отбор некоторого числа r главных компонент ряда.

Проведём восстановление исходного ряда x_1, x_2, \dots, x_N по главным компонентам. Для

Список использованных источников:

1. Бітюков С.Д. Оптимізація витрат Донецької залізниці при закупівлі електроенергії на тягу поїздів / С.Д. Бітюков, В.Г. Кузнецов, В.Г. Сиченко, Т.І. Кирилюк // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2011. – № 122. – С. 93-100.
2. Бітюков С.Д. Оптимізація споживання електроенергії на електричному транспорті з використанням інформації автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії / С.Д. Бітюков, В.Г. Кузнецов, В.Г. Сиченко // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – №3(26). – С. 39-44.
3. Hotelling H. Analysis of a complex statistical variables into principal components / H. Hotelling // J. Educ. Psych. – 1994. – С. 417-441.
4. Golyandina N. The "Caterpillar"-SSA method for analysis of time series with missing values / N.Golyandina, E. Osipov // Journal of Statistical Planning and Inference. – 2007. – № 8. – С. 2642-2653.

Bibliography:

1. Bityukov S.D. Cost optimization of Donetsk railway during purchasing of electricity for traction needs / S.D. Bityukov, V.G. Kuznetsov, V.G. Sytchenko, T.I. Kirilyuk // Bulletin of Ukrainian state academy of railway transport. – 2011. – № 122. – P. 93-100. (Ukr.)
2. Bityukov S.D. Optimization of energy consumption of electric transport using information from automated information system of commercial registration / S.D. Bityukov, V.G. Kuznetsov, V.G. Sytchenko // Problems of general energy. – 2011. – № 3(26). – P. 39-44. (Ukr.)
3. Hotelling H. Analysis of a complex statistical variables into principal components / H. Hotelling // J. Educ. Psych. – 1994. – P. 417-441.
4. Golyandina N. The "Caterpillar"-SSA method for analysis of time series with missing values / N.Golyandina, E. Osipov // Journal of Statistical Planning and Inference. – 2007. – № 8. – P. 2642-2653.

Рецензент: А.Н. Муха

д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ДНУЖТ ім. акад. В. Лазаряна»

Статья поступила 29.04.2013