

УДК 519.87:620.9

АНАЛІЗ ТРЕНДУ ПОГОДИННОГО ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ ЕКСПОНЕНЦІЙНОГО ЗГЛАДЖУВАННЯ

С. І. Ковтун¹, Ю. В. Куц², Б. Б. Млинко³, М. Є. Фриз⁴

^{1,2,4}Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

²НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Берестейський просп., 37, м. Київ, 03056, Україна

^{3,4}Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна, тел.: +38(0352)519714, e-mail: ⁴mykh.fryz@gmail.com

Обґрунтовано застосування методу аналізу трендової компоненти погодинного електроспоживання організації, що ґрунтується на використанні лінійної моделі експоненційного згладжування Голта. Отримано оцінки параметрів моделі для різних режимів роботи організації.

Ключові слова: електроспоживання, енергетична інформатика, часовий ряд, аналіз, прогнозування, тренд, модель, експоненційне згладжування.

TREND ANALYSIS OF HOURLY ELECTRICITY CONSUMPTION OF ORGANIZATION BASED ON EXPONENTIAL SMOOTHING LINEAR MODEL

S. Kovtun¹, Y. Kuts², B. Mlynko³, M. Fryz⁴

^{1,2,4}General Energy Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, 172 Antonovycha str., Kyiv, Ukraine, 03150

²National Techn. University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Pr. Beresteyskyi, Kyiv, Ukraine, 03056

^{3,4}Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 56 Ruska str., Ternopil, Ukraine, 46001

phone: +38(0352)519714, e-mail: ⁴mykh.fryz@gmail.com

The application of the method of analysis of the trend components of the hourly electricity consumption of the organization, which is based on the use of a Holt's exponential smoothing linear model has been justified. Model parameters for different modes of operation of the organization have been obtained.

Key words: electricity consumption, energy informatics, time series, analysis, forecasting, trend, model, exponential smoothing.

ORCID: ¹0000-0002-8493-9474; ²0000-0002-8493-9474; ³0000-0003-0780-5365; ⁴0000-0002-8720-6479.

Здійснення аналізу та прогнозування електроспоживання організацій є важливим для різноманітних задач оптимізації витрат на електроенергію, підвищення енергоефективності, планування бюджету та фінансового прогнозування, зменшення навантаження на електромережу, дотримання екологічних стандартів та вимог, автоматизації процесів управління енергоспоживанням тощо. Аналіз електроспоживання за допомогою інструментів енергетичної інформатики є ключовим напрямом у підвищенні енергоефективності, зниженні витрат і створенні екологічно сталих систем. При цьому вибір моделі, методів опрацювання та комп'ютерного імітаційного моделювання електроспоживання відіграє визначальну роль [1–3].

У доповіді здійснено обґрунтування моделі погодинного електроспоживання на основі його декомпозиції на трендову, циклічну [4] та шумову складові з урахуванням різних режимів роботи організації. Також здійснено аналіз трендової компоненти на основі методу експоненційного згладжування, який є простим і водночас ефективним методом аналізу та прогнозування часових рядів.

Методи експоненційного згладжування застосовуються в різноманітних задачах моделювання та прогнозування випадкових послідовностей. Експоненційне згладжування Голта використовується для прогнозування послідовностей з трендом. Як показано в [5], методи експоненційного згладжування є алгоритмами точкового прогнозування, в основі яких лежать відповідні моделі в просторі станів. У цій доповіді обґрунтовується можливість використання лінійної моделі експоненційного згладжування Голта з адитивними похибками для опису трендової компоненти для кожного режиму енергоспоживання. Очевидно, моделі тренду для різних режимів відрізнятимуться своїми параметрами. Лінійна модель у просторі станів для тренду $x_t(\omega)$, $\omega \in \Omega$, $t \in \mathbb{Z}$, отриманого внаслідок декомпозиції електроспоживання має такий вигляд:

$$\begin{aligned}x_t(\omega) &= \ell_{t-1}(\omega) + b_{t-1}(\omega) + \varepsilon_t(\omega), \\ \ell_t(\omega) &= \ell_{t-1}(\omega) + b_{t-1}(\omega) + \alpha \varepsilon_t(\omega), \\ b_t(\omega) &= b_{t-1}(\omega) + \beta \varepsilon_t(\omega),\end{aligned}$$

де $0 < \alpha < 1$, $0 < \beta < \alpha$ [5] – параметри моделі, $\varepsilon_t(\omega)$ – послідовність незалежних випадкових величин зі скінченною дисперсією $\text{Var}(\varepsilon_t(\omega)) = \sigma_\varepsilon^2$.

У термінології методів експоненційного згладжування $\ell_t(\omega)$ має назву «level term», а $b_t(\omega)$ – «growth (slope) term». Автори [5] відносять наведену модель до класу моделей з єдиним джерелом похибок. Перший вираз являє собою рівняння спостережень, а два інші задають рівняння стану, причому похибка $\varepsilon_t(\omega)$ входить у всі три вирази. Узагальненням наведеної лінійної моделі є модель локально лінійного тренду [6], в якій передбачено наявність кількох джерел похибок. Модель експоненційного згладжування досить просто може бути поширеною для врахування нелінійної динаміки електроспоживання.

На основі моделі можна здійснювати точкове прогнозування трендової компоненти електроспоживання. Навіть більше, якщо обґрунтовано ймовірнісний розподіл похибки $\varepsilon_t(\omega)$ (у більшості випадків припускають, що цей розподіл є гауссівським), то можна здійснювати й інтервальне прогнозування.

Для використання моделі тренду на практиці необхідно задати значення дійсних параметрів α і β , а також початкові значення $\ell_0(\omega)$ та $b_0(\omega)$. Ці величини можна оцінити на основі даних вимірювань методом найменших квадратів або методом максимальної правдоподібності [5].

Отримано результати оцінювання параметрів моделі для різних режимів роботи організації. Отримані оцінки можна використовувати для задачі прогнозування локального тренду погодинного електроспоживання для відповідних режимів.

ПОСИЛАННЯ

1. В. П. Бабак, Ю. В. Куц, М. В. Мислович, М. Є. Фриз, and Л. М. Щербак, *Об'єктно-орієнтована ідентифікація стохастичних шумових сигналів*. Київ: Наук. думка, 2024. doi: <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1883-9>.
2. V. Babak, A. Zaporozhets, S. Kovtun, Y. Kuts, M. Fryz, and L. Scherbak, "Information Provision for Monitoring the Current State of Electric Power Facilities," in *Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control*, M. Bezuglyi, N. Bouraou, V. Mykytenko, G. Tymchyk, and A. Zaporozhets, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 283–309. doi: 10.1007/978-3-031-44347-3_8.
3. L. M. Scherbak, M. Y. Fryz, and V. A. Hotovych, "Electricity consumption simulation using random coefficient periodic autoregressive model," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1254, no. 1, p. 12027, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1254/1/012027.
4. Mykhailo Fryz and Leonid Scherbak, "Properties of discrete-time conditional linear cyclostationary random processes in the problems of energy informatics," *Syst. Res. Energy*, no. 1 (72), pp. 72–79, Apr. 2023, doi: 10.15407/srenergy2023.01.072.
5. R. J. Hyndman, A. B. Koehler, J. K. Ord, and R. D. Snyder, *Forecasting with Exponential Smoothing: The State Space Approach*. Berlin Heidelberg: Springer, 2008. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-71918-2>.
6. J. Durbin and S. J. Koopman, *Time Series Analysis by State Space Methods*, Second. Oxford: Oxford University Press, 2012. doi: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199641178.001.0001>.