

Фриз М.Є., к.т.н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя
e-mail: mykh.fryz@gmail.com, тел. +380974605090

Млинко Б.Б., к.т.н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя
e-mail: mlynko@ukr.net

Щербак Л.М., д.т.н., професор,
провідний науковий співробітник
Інститут загальної енергетики НАН України
e-mail: prof_scherbak@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕСУРСОСПОЖИВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АВТОРЕГРЕСІЇ З ВИПАДКОВИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ

Abstract. *The primary objective of the paper is to establish a procedure for simulating the resource (energy, gas, water) consumption using the random coefficient periodic autoregressive model, which has periodic parameters and creates cyclostationary properties while also accounting for the investigated process conditional heteroscedasticity.*

Key words: *resource consumption, random coefficient periodic autoregressive model, cyclostationarity, mathematical model, computer simulation, white noise, digital filter.*

Сучасні проблеми та виклики в енергетичному секторі, які пов'язані з нестабільністю та частковою керованістю генераторів відновлюваної енергії, невизначеністю поведінки споживачів енергії, децентралізацією вимагають комплексних наукових прикладних досліджень у сфері енергетичної інформатики [1]. Важливими напрямками енергетичної інформатики є збір, аналіз, розгортання та використання даних про енергетичний стан, моделювання та прогнозування поведінки енергетичних об'єктів і процесів, включаючи математичне та комп'ютерне моделювання споживання енергії [2], а також інших ресурсів (водоспоживання, газоспоживання, тощо) [3, 4]. Математичні моделі, представлені у вигляді лінійних випадкових процесів (ЛВП) із неперервним чи дискретним часом [4, 5] є дуже корисними для розв'язання вищезазначених задач аналізу ресурсоспоживання. Вони, зокрема, дозволяють врахувати циклостаціонарність досліджуваних процесів, спричинену, наприклад, ритмічною поведінкою споживачів електроенергії, газу, води, тощо.

Для задач статистичного моніторингу, прогнозування, діагностики та комп'ютерного моделювання ЛВП із дискретним часом використовують здебільшого у вигляді авторегресійної послідовності, а для циклостаціонарних процесів – як періодичну авторегресію. Подібним чином, модель авторегресії з випадковими коефіцієнтами (АРВК) [6] є ефективним інструментом для статистичного аналізу умовних лінійних випадкових процесів (УЛВП) [7, 8].

Метою роботи є підвищення ефективності комп'ютерного моделювання стохастичних процесів, які характеризують динаміку ресурсоспоживання з використанням моделі періодичної авторегресії з випадковими коефіцієнтами (ПАРВК).

На першому етапі моделювання необхідно виконати генерування центрованих незалежних випадкових векторів із заданою коваріаційною матрицею. Ми рекомендуємо генерувати їх як нормально розподілені випадкові вектори. Метод багатовимірного моделювання нормально розподілених випадкових векторів є добре відомим, але слід врахувати те, що коваріаційна матриця є змінною в часі та періодичною.

На другому етапі потрібно здійснювати моделювання центрованого нормального білого шуму з періодичною дисперсією. При цьому необхідно враховувати змінну в часі періодичну дисперсію модельованого білого шуму.

Третій етап - моделювання послідовності ПАРВК з використанням випадкових об'єктів, отриманих на попередніх кроках. Беручи до уваги зв'язок між моделлю авторегресії з випадковими коефіцієнтами та цифровими фільтрами, даний етап моделювання здійснюється таким чином:

- спроектувати лінійний рекурсивний цифровий фільтр із випадковими коефіцієнтами;
- подати білий шум отриманий на другому етапі на вхід цього фільтра;
- вихідний сигнал цього фільтра тоді являє собою послідовність ПАРВК.

На четвертому етапі слід додати детерміновану компоненту, яка є періодичною функцією з дискретним часом. Ця функція є математичним сподіванням змодельованого часового ряду ресурсоспоживання.

Етапи верифікації та валідації моделі охоплюють перевірку комп'ютерного коду на наявність будь-яких програмних помилок, візуальне порівняння змодельованих і реальних даних та використання статистичних оцінок і тестів, тощо.

Висновки. Запропонований метод комп'ютерного імітаційного моделювання стохастичних шумових процесів ресурсоспоживання дозволяє врахувати їх циклостационарність та умовну гетероскедастичність.

Список літератури

1. Schmeck H., Monti A., Hagenmeyer V. Energy Informatics: Key Elements for Tomorrow's Energy System. Commun. ACM. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. Vol. 65, № 4. PP. 58–63.
2. Fryz M., Scherbak L. Properties of discrete-time conditional linear random process in the problems of energy informatics. System Research in Energy. 2023. № 1 (72). PP. 72-79.
3. Фриз М.Є., Михайлович Т.В. Обґрунтування математичної моделі водоспоживання у вигляді умовного лінійного випадкового процесу. Електроніка та системи управління. 2010. № 3(25). С. 137–142.
4. Марченко Б.Г., Мулик Н.В., Фриз М.Є. Обґрунтування математичної моделі газонавантажень. Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя. 2005. Том 10, № 2. С. 138–142.
5. Fryz M. Mixing property and ergodicity of linear random processes. 2009 IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Rende, Italy, 2009, pp. 343-346.
6. Regis M., Serra P., Edwin R. van den Heuvel. Random autoregressive models: A structured overview. Econometric Reviews. 2022. Vol. 41, Issue 2. PP. 207-230.
7. Fryz M., Mlynko B. Properties of Stationarity and Cyclostationarity of Conditional Linear Random Processes. Proceedings of the 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). Lviv, Slavske, Ukraine, 2020. - PP. 166–170.
8. Fryz M., Scherbak L., Karpinski M., Mlynko B. Characteristic Function of Conditional Linear Random Process. Proceedings of the 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems. CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, November 16-18, 2021, pp. 129-135.