

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СТОХАСТИЧНИХ СИНАЛІВ У ЗАДАЧАХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФОРМАТИКИ

**М. Є. Фриз<sup>1</sup>, Л. М. Щербак<sup>2</sup>, С. Д. Харченко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна

тел.: +38(0352)519714, e-mail: <sup>1</sup>mykh.fryz@gmail.com

<sup>1,2,3</sup>Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна, тел.:

+38(044)2946740

*Проаналізовано властивості лінійних та умовних лінійних циклостационарних випадкових процесів та їх застосування у задачах енергетичної інформатики, зокрема як математичних моделей стохастичних сигналів та процесів у енергетичних системах.*

**Ключові слова:** енергоефективність, енергетична інформатика, моніторинг, математична модель, випадковий процес

## MATHEMATICAL MODELS OF STOCHASTIC SIGNALS IN THE PROBLEMS OF ENERGY INFORMATICS

**M. Fryz<sup>1</sup>, L. Scherbak<sup>2</sup>, S. Kharchenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ternopil Ivan Puluj National Technical University

<sup>1,2,3</sup>General Energy Institute of NAS of Ukraine

*The properties of linear and conditional linear cyclostationary random processes and their application in the problems of energy informatics have been analyzed as mathematical models of stochastic signals and processes in energy systems.*

**Keywords:** energy efficiency, energy informatics, monitoring, mathematical model, random process

**ORCID:** <sup>1</sup>0000-0002-8720-6479, <sup>2</sup>0000-0002-1536-4806, <sup>3</sup>0000-0001-9808-7607

Проблеми та виклики сучасної енергетики пов'язані з нестабільністю та частковою керованістю відновлюваних джерел енергії, невизначеністю поведінки споживачів енергії (яка більше не обов'язково відповідає стандартним профілям навантажень), децентралізацією, модифікацією динамічних характеристик енергетичних систем тощо [1]. Існує гостра потреба в істотному внеску з боку спільноти комп'ютерних наук для подолання вищезазначених проблем. Це можна зробити в рамках енергетичної інформатики, що являє собою міждисциплінарну галузь досліджень, що динамічно розвивається. Енергетична інформатика поєднує єдиною методологією комп'ютерні науки, системи керування та системи енергетичного менеджменту [1, 2]. Важливі напрямки енергетичної інформатики пов'язані з моніторингом, збором, аналізом, розгортанням і використанням даних про енергооб'єкти, моделюванням, симуляцією та прогнозуванням поведінки енергетичних систем і відповідних їм стохастичних процесів [1], включаючи математичне та комп'ютерне імітаційне моделювання електронавантаження та електроспоживання з метою підвищення рівня енергоефективності.

Аналіз та моделювання споживання енергетичних ресурсів (зокрема, електроспоживання [3], газоспоживання [4], водоспоживання [5]) також є важливим інструментом для вирішення проблем кластеризації груп споживачів, аналізу профілів споживання, прогнозування споживання енергії, розробки інформаційних систем моніторингу та діагностики енергооб'єктів, а також стану довілля об'єктів електроенергетики.

Математична модель, яка є теоретичною основою структурно-алгоритмічної та технічної реалізації інформаційних систем і технологій, повинна бути адекватною досліджуваному процесу, відображати фізичний механізм його генерації, а також бути придатною для виконання його теоретичного аналізу, вирішення задач моніторингу та діагностики енергетичних об'єктів за результатами експериментів.

Лінійні та умовні лінійні випадкові процеси [6] є математичними моделями, що задовольняють вищевказаним вимогам, представляючи досліджувані сигнали та процеси у вигляді суми багатьох випадкових стохастично залежних імпульсів, що виникають у випадкові моменти часу, які утворюють неоднорідний пуассонівський потік.

За допомогою цього підходу можна здійснювати математичне моделювання процесів споживання енергоресурсів, стохастичні вібраційні сигнали енергетичних об'єктів тощо. Розглядувані моделі стохастичних сигналів дозволяють також враховувати циклічні властивості поведінки споживачів.

#### ПОСИЛАННЯ

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. P. 58–63.
2. Babak V., Scherbak L., Kuts Yu., Zaporozhets A. Information and measurement technologies for solving problems of energy informatics. Proceedings of the 1st International Workshop on *Information Technologies: Theoretical and Applied Problems* 2021. Ternopil, Ukraine: CEUR Workshop Proceedings, 2021. Vol. 3039. P. 24–31.
3. Fryz M., Scherbak L. Statistical analysis of random coefficient periodic autoregression and its application for short-term electricity consumption forecasting. *Technical Electrodynamics*. 2019. № 2. P. 38–47.
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. 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.
6. Фриз М. Є. Властивості умовних лінійних процесів та їх застосування в прикладних задачах математичного моделювання стохастичних сигналів. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки*. 2012. № 6. С. 228–238.