

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ І СИГНАЛІВ У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

С.І. Ковтун¹, Ю.В. Куц^{1,2}, М.Є. Фриз^{1,3}

¹Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна,
тел.: (067) 997-67-59, e-mail: sveta_kovtun@ukr.net

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Берестейський просп., 37, м. Київ, 03056, Україна,
тел.: (066) 660-41-49, e-mail: y.kuts@ukr.net,

³Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна,
тел.: (097) 460-50-90, e-mail: mykh.fryz@gmail.com

Дано обґрунтування математичної моделі концентрації забруднення повітря у вигляді умовного лінійного випадкового просторово-часового поля, що враховує фізичну природу забруднення та дає можливість здійснювати аналіз його динаміки в системі моніторингу довкілля об'єктів енергетики.

Ключові слова: математична модель, моніторинг довкілля, віброшумові сигнали, електроспоживання, забруднення повітря, умовне лінійне випадкове поле.

MATHEMATICAL MODELS OF PROCESSES AND SIGNALS OF THE ENERGY FACILITIES ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM

S.I. Kovtun, Y.V. Kuts², M.E. Fryz³

¹General Energy Institute of National Academy of Sciences of Ukraine,
172 Antonovycha str., Kyiv, Ukraine, 03150
phone: (067) 997-67-59, e-mail: sveta_kovtun@ukr.net

²National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
37, Beresteyskyi Prosp., Kyiv, 03056, Ukraine
phone: (066) 660-41-49, e-mail: y.kuts@ukr.net

³Ternopil Ivan Puluj National Technical University,
56, Ruska Str., 46001, Ternopil, Ukraine
phone: (097) 460-50-90, e-mail: mykh.fryz@gmail.com

The justification of a mathematical model of air pollution concentration in the form of a conditional linear random spatial-temporal field has been carried out which takes into account the physical nature of pollution and makes it possible to analyze its dynamics in the environmental monitoring system of energy facilities.

Key words: mathematical model, environmental monitoring, vibration signals, electricity consumption, air pollution, conditional linear random field.

ORCID: ¹0000-0002-6596-3460; ²0000-0002-8493-9474, 3; 0000-0002-8720-6479.

Мета роботи. Обґрунтування математичної моделі концентрації забруднення повітря у вигляді умовного лінійного випадкового просторово-часового поля, що враховує фізичну природу забруднення та дає можливість здійснювати аналіз його динаміки в системі моніторингу довкілля об'єктів енергетики.

Результати роботи. До складу сучасних систем моніторингу довкілля об'єктів енергетики (СМДОЕ) входять різноманітні засоби аналізу, прогнозування та комп'ютерного імітаційного моделювання процесів та сигналів, що мають стохастичний характер. Зокрема, до складу таких систем входять елементи, що здійснюють аналіз та опрацювання метеорологічних параметрів (температури повітря, вологості, швидкості та напрямку вітру, кількості опадів, які впливають на рівень енергоспоживання, розповсюдження забруднюючих речовин, тощо), концентрації забруднюючих речовин (що змінюється випадково залежно від технологічних процесів, метеоумов, аварійних ситуацій), рівня шуму та вібрацій, які виникають від роботи обладнання, споживання енергії (що залежить від часу доби, пори року, промислової активності та інших факторів і впливає на режими роботи об'єктів енергетики та їхніх викидів).

Методи та засоби моніторингу значною мірою визначаються обґрунтованими математичними моделями процесів та сигналів, аналіз яких здійснюється. Серед таких моделей важливе значення мають, зокрема, лінійні випадкові процеси (ЛВП) та поля, що є моделями елементів СМДОВ, які породжують віброшумові сигнали [1, 2], а також умовні лінійні випадкові процеси (УЛВП), які використовуються для розв'язання задач математичного моделювання, аналізу та прогнозування електроспоживання [3]. Застосування моделей ЛВП та УЛВП ґрунтується на фізичній природі досліджуваних сигналів чи процесів, зображуваних у вигляді суми великого числа випадкових імпульсів (що є стохастично незалежними для моделі ЛВП та залежними для моделі УЛВП), які виникають у випадкові моменти часу.

У доповіді обґрунтовано математичну модель концентрації забруднення повітря шкідливими речовинами у вигляді умовного лінійного випадкового просторово-часового поля $\xi(\omega, \mathbf{r}, t)$, $\omega \in \Omega$, $\mathbf{r} \in \mathbf{R}^3$, $t \in \mathbf{R}$ (де Ω - простір елементарних подій), яке можна представити у такому виді:

$$\xi(\omega, \mathbf{r}, t) = \int_{\mathbf{R}^3} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\omega, \mathbf{p}, \tau; \mathbf{r}, t) d\eta(\omega, \mathbf{p}, \tau),$$

де $\varphi(\omega, \mathbf{p}, \tau; \mathbf{r}, t)$, $\mathbf{p} \in \mathbf{R}^3$, $\tau \in \mathbf{R}$ - стохастичне ядро;

$\varphi(\omega, \mathbf{p}, \tau; \mathbf{r}, t)$ $\eta(\omega, \mathbf{p}, \tau)$ - просторово-часове стохастично неперервне гільбертове випадкове поле з незалежними приростами (породжуюче поле);

випадкові функції $\varphi(\omega, \mathbf{p}, \tau; \mathbf{r}, t)$ і $\eta(\omega, \mathbf{p}, \tau)$ є стохастично незалежними.

Породжуюче поле задає ймовірнісний розподіл джерел забруднення у часі та просторі, а також інтенсивність емісії забруднювачів. Ядро характеризує конвекцію, дифузію та розпад забруднювачів у часі та просторі.

Запропонована модель є основою для здійснення теоретичного аналізу досліджуваного процесу з врахуванням фізичної природи його породження, обґрунтування методів його статистичного аналізу на основі даних експерименту, прогнозування та комп'ютерного імітаційного моделювання, зокрема, враховуючи властивість часової циклічності [4] динаміки забруднень повітря, спричиненої циклічним характером життєдіяльності людини.

Висновки. Охарактеризовано властивості математичних моделей процесів і сигналів у системі моніторингу довкілля об'єктів енергетики. Обґрунтовано математичну модель концентрації забруднення повітря у вигляді умовного лінійного випадкового просторово-часового поля.

ПОСИЛАННЯ

1. Babak, V., Zaporozhets, A., Kovtun, S., Kuts, Y., Fryz, M., & Scherbak, L. (2024). Information Provision for Monitoring the Current State of Electric Power Facilities. In M. Bezuglyi, N. Bouraou, V. Mykytenko, G. Tymchyk, & A. Zaporozhets (Eds.), *Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control* (pp. 283–309). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44347-3_8.
2. U Babak, V., Zaporozhets, A., Kovtun, S., Kuts, Y., Fryz, M., & Scherbak, L. (2024). The Concept of Research of the Electric Power Facilities Functioning. In V. Babak & A. Zaporozhets (Eds.), *Systems, Decision and Control in Energy VI. Volume I: Energy Informatics and Transport* (pp. 3–33). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-68372-5_1.
3. Scherbak, L. M., Fryz, M. Y., & Hotovych, V. A. (2023). Electricity consumption simulation using random coefficient periodic autoregressive model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254(1), 12027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012027>.
4. Mykhailo Fryz, & Leonid Scherbak. (2023). Properties of discrete-time conditional linear cyclostationary random processes in the problems of energy informatics. *System Research in Energy*, 1 (72), 72–79. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.01.072>.