

## МЕТОД ФРАКТАЛЬНО-КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОРУШЕНЬ В РОБОТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕНЕРГООБ'ЄКТІВ

Буданов П. Ф.<sup>1</sup>, Бровко К. Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Українська інженерно-педагогічна академія (м. Харків),

<sup>2</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

*Запропоновано рішення задачі розпізнавання ознак аварійності параметрів технологічного процесу при порушенні роботи електроенергетичного обладнання енергооб'єктів на основі фрактально-кластерного методу*

**Постановка проблеми.** В електроенергетичних системах, визначальну роль відіграє їх структура, у вигляді динамічної системи, яка характеризується своїм початковим станом і детермінованими законами, за якими вона переходить з одного стану в інший, тобто виникають системи з дискретним або безперервним часом і супроводжуються динамічним хаосом.

Дослідження складних електроенергетичних систем, як правило, проводять шляхом подання енергооб'єктів у вигляді взаємопов'язаних складових частин, аналізу їх функцій і завдань для подальшого вивчення взаємодії всіх елементів, що входять до їх складу. Такий підхід потребує створення розвинутого математичного апарату для адекватної обробки наявної інформації про характеристики параметрів технологічного процесу, що не завжди є можливим для складних процесів, які протікають в електроенергетичному обладнанні енергооб'єктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У спеціальній, патентній і науково-технічній літературі [4, 5], рішення проблем управління системами динамічного хаосу, розглядаються на основі таких базових моделей, як Чуа, Лоренца і Реслера [4, 5], в яких описуються хаотичні випадкові динамічні системи. Крім того, як показано в роботах [4, 5], для управління хаосом використовують наступні методи: метод аналітичного конструювання агрегованих регуляторів, заснований на введенні в просторі станів синтезованих систем – атракторів, на яких узгоджуються тільки фізичні властивості об'єкта і вимоги завдань управління; метод виявлення режимів детермінованого хаосу, на основі виявлення відхилень кутової частоти і напруги від номінального значення і дисипації енергії, що виникають через наявність глобальної хаотичної динаміки протікання технологічного процесу на електроенергетичному обладнанні енергооб'єктів.

Як показує теорія синергетичного підходу з елементами фрактально-кластерної теорії [4, 5] – не завжди функції і задачі всієї системи повторюються в її складових частинах: підсистемах і елементах, що призводить до втрати інформації в об'ємі інформаційного простору технологічного процесу.

**Мета статті.** Розробка методу розпізнавання ознак аварійності параметрів технологічного процесу, при порушенні роботи електроенергетичного обладнання енергооб'єктів, на основі виявлення локальних інформаційних неоднорідностей ознак сигналів в режимі реального часу.

**Основні матеріали дослідження.** Для представлення процесу обробки інформації про відхилення характеристик технологічних параметрів електроене-

ргетичного обладнання енергооб'єктів, авторами застосовано апарат фрактально-кластерної теорії, який дозволив представити інформаційні нормовані й випадкові сигнали в об'ємі інформаційного простору у вигляді окремих кластерів, тобто утворення кластер-кластерних агрегацій.

Кластери окремих інформаційних сигналів про технологічні параметри утворюють певний об'єм кластер-кластерних агрегацій (ККА) з нормованими значеннями параметрів  $Q_{V_{ккH}}$ , а інші з випадковими значеннями параметрів  $Q_{V_{ккBn}}$ , звідки слідує, що повний сумарний об'єм інформаційного простору  $Q_{V_{\Sigma in}}$  можна представити виразом (1):

$$Q_{V_{\Sigma in}} = Q_{V_{ккH}} + Q_{V_{ккBn}}. \quad (1)$$

З виразу (1) виходить, що на випадкові хаотичні сигнали доводиться частина незаповненого об'єму інформаційного простору, а згідно фрактально-кластерної теорії, у якості кількісної фізичної величини, яка характеризує ступінь заповнення всього об'єму інформаційного простору відповідними інформаційними сигналами про технологічні параметри є інформаційна фрактальна розмірність, як показано виразом (2):

$$Q_{V_{\Sigma in}} = (Q_{VA} + Q_{VB} + Q_{VC} + Q_{VD} + Q_{VE})^{d_{\beta}}. \quad (2)$$

У роботах [1, 2], авторами було досліджено характер зміни сигналів інформаційного простору на основі елементів теорії фракталів, і було отримано, що в хаотичних випадкових системах можливі втрати енергії випадкового сигналу, і тому, таку систему (процес) було прийнято вважати дисипативною, в якій зі зменшенням об'єму зменшується енергія.

Згідно з теорією обробки й передачі сигналів, кількість інформації  $Q_{V_{\Sigma in}}$ , в об'ємі інформаційного простору з фрактальними властивостями, тотожна зміні енергії  $\Delta E$  та потужності  $\Delta P$  сигналів, які проходять через структуру цього об'єму.

Тобто, можна стверджувати, що й зміни енергії  $\Delta E$  й потужності  $\Delta P$  випадкового інформаційного сигналу, що проходить через структуру об'єму інформаційного простору, з фрактальними властивостями, також пов'язані зі зміною кількісної величини – інформаційною фрактальною розмірністю (3).

$$\Delta E - \Delta P - \Delta Q_{V_{\Sigma in}} - \Delta d_{\beta}. \quad (3)$$

У роботі пропонується розглядати об'єм інформаційного простору технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергооб'єктів на основі інформаційних ознак локальних інформаційних неоднорідностей (ЛН) сигналів в режимі реального часу (рис. 1).

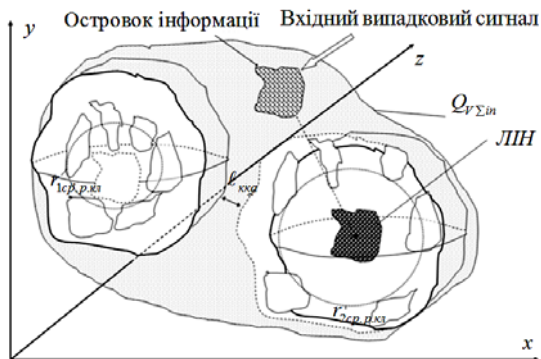


Рисунок 1 – Розташування кластерів кластер-кластерних агрегацій в ознаковому просторі

У початковому стані об'єм інформаційного простору технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергооб'єктів, в момент часу  $t_0 = 0$ , заповнений внутрішньою інформацією про нормовані значення параметрів сигналів, а з плином часу даний об'єм починає змінюватися в залежності від інтенсивності вхідного потоку, середньої величини сигналу інформації в бітах і середнього часу тривалості інформаційного сигналу в фазовому інформаційному просторі, який визначається величиною часу повернення, на основі елементів теорії Пуанкаре.

Вхідний інформаційний сигнал (кластер) при повному порівнянні з нормованими значеннями з пам'яті даних, заповнює об'єм інформаційного простору ККА з нормованими ознаками  $Q_{V_{KKH}}$ . При цьому відбувається повне заповнення об'єму інформаційного простору технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергооб'єктів, а інформаційна фрактальна розмірність дорівнює трьом  $d_{fi} = d_{f0}$ .

У разі неспівпадіння вхідного інформаційного сигналу з нормованими значеннями, тобто при проходженні випадкового (хаотичного) інформаційного сигналу, кластер не входить в об'єм інформаційного простору кластер-кластерних агрегацій  $Q_{V_{KKH}}$  з нормованими ознаками, і формує об'єм інформаційного простору ККА з ознаками аварійності  $Q_{V_{KKBn}}$ . При цьому відбувається часткове заповнення об'єму інформаційного простору ККА, а отже, спостерігається міра незаповненості інформаційного фазового простору, яка характеризується кількісною величиною – інформаційною фрактальною розмірністю і відрізняється від свого початкового значення, тобто  $d_{fi} < d_{f0}$ .

Як відомо [5], основний критерій інформативності ознакового простору, визначається виразом (4):

$$I(\varepsilon) = \frac{\ell_{кл}}{\ell_{кка}}, \quad (4)$$

де  $\ell_{кка}$  - середня відстань між кластерами ККА  $Q_{V_{KKH}}$  і  $Q_{V_{KKBn}}$ ;

$\ell_{кл}$  - середня відстань між кластерами всередині ККА  $Q_{V_{KKBn}}$ , як показано на рис. 1.

Вираз (4) служить критерієм інформативності, оскільки характеризує щільність розподілу кластерів в ККА з нормованими ознаками і ККА з ознаками аварійності (де кластер – об'єкт, а ККА - клас). Крім того, з виразу (4) можна охарактеризувати віддаленість кластерів ККА  $Q_{V_{KKH}}$  і  $Q_{V_{KKBn}}$  в ознаковому просторі.

Проте, як було показано в роботах [1, 2, 3], ККА з локальними інформаційними неоднорідностями мають фрактальні властивості, а геометричні відстані  $\ell_{кка}^{геом}$  (середня відстань між кластерами різних ККА) і  $\ell_{кл}^{геом}$  (середня відстань між кластерами всередині ККА) відрізняються від евклідових на  $\Delta\ell$  та являються по суті фрактальними довжинами відповідно  $\ell_{фка}$  та  $\ell_{фка}$ .

Звідки витікає, що ґрунтуючись на фрактальних властивостях ККА [1-3], необхідно зв'язати зміну інформаційної фрактальної розмірності  $d_{fi}$  з середньою відстанню між кластерами різних ККА  $\ell_{кл}$  та середньою відстанню між кластерами, всередині ККА  $\ell_{кка}$ , тобто  $\ell_{фка} = \ell_{кл} + \Delta\ell_{кл}$ , а  $\ell_{фка} = \ell_{кка} + \Delta\ell_{кка}$ , при цьому, відстань  $\ell_3$  представлена через фрактальні довжини. Тобто, при повному заповненні об'єму інформаційного простору  $\ell_{кка} = \ell_{фка}$  та  $\ell_{кл} = \ell_{фка}$  (відсутність сигналів з ознаками аварійності).

Розглянемо випадок заповнення об'єму інформаційного простору при появі випадкового хаотичного сигналу, який в ККА представлений у вигляді ЛН. Оцінку інформативності ознак сигналів проводитимемо на підставі виміру середніх відстаней ККА до і після появи ЛН в ККА.

Необхідно також відмітити, що кількість ЛН може бути в інформаційному просторі від однієї до декількох, проте їх кількість не впливає на визначення ознак аварійності параметрів технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергооб'єктів в режимі реального часу.

На підставі вищевикладеного перетворимо вираз (4) в наступний вид:

$$I(\varepsilon) = \frac{\ell_{фка} + \Delta\ell_{кл}}{\ell_{фка} + \Delta\ell_{кка}}. \quad (5)$$

При тому, що процес зміни довжин  $\ell_{кка}$  та  $\ell_{кл}$  відбувається динамічно в часі і просторі, інформативність простору інформаційних ознак, можна виразити через зміну фрактальної довжини в просторових координатах  $(x, y, z)$ :

$$I(\varepsilon) = \frac{\ell_{f_{yz\kappa l}} + \Delta\ell_{xyz}}{\ell_{f_{yz\kappa\kappa a}} + \Delta\ell_{xyz}}. \quad (6)$$

З формули (6) видно, що відношення відстані між ККА з нормованими значеннями (ККА<sub>n</sub>) і ККА з ознаками аварійності (ККА<sub>a</sub>) в ознаковому просторі до середньої відстані всередині ККА можна представити, як відношення зміни інформаційної фрактальної розмірності до свого початкового значення, тобто отримаємо вирази (7) та (8):

$$\ell_{f_{yz\kappa\kappa a}} - \Delta\ell_{xyz} = d_3 - d_{f_i} = \Delta d_{f_i\text{ККА}_n}, \quad (7)$$

$$I(\varepsilon) = \frac{\Delta d_{f_i\text{ККА}_n}}{\Delta d_{f_i\text{ККА}_n}}. \quad (8)$$

Крім того, необхідно виразити середні відстані між кластерами  $\ell_{ср\kappa l}$  через середній радіус кореляції  $R_{ср.р.\kappa l}$  ККА з ознаками аварійності, тобто розглядаючи ККА з нормованими значеннями і ККА з ознаками аварійності маємо співвідношення (9).

$$R_{2ср.р.\kappa l} > R_{1ср.р.\kappa l}. \quad (9)$$

Звідки, виходячи з виразів (4)-(9), отримуємо зв'язок зміни середнього значення радіусу кореляції від зміни інформаційної фрактальної розмірності, тобто  $R_{2ср.р.\kappa l} - R_{1ср.р.\kappa l} \approx d_3 - d_{f_i}$ , звідки:

$$\Delta R_{ср} \approx \Delta d_{f_i}. \quad (10)$$

З виразів (4)-(10) можна зробити висновок, що інформативність простору інформаційних ознак об'єму інформаційного простору технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергооб'єктів, залежить від міри заповнення ККА, що утворюють об'єм інформаційного простору, ознаками (нормованими або аварійними), тобто від динаміки зміни інформаційної фрактальної розмірності в режимі реального часу.

**Висновки.** Запропоновано підхід рішення задачі обробки інформації при зміні характеристик параметрів технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергооб'єктів в режимі реального часу, на основі виявлення локальних інформаційних неоднорідностей кластер-кластерних агрегацій в об'ємі інформаційного простору.

Запропоновано досліджувати аварійні ознаки параметрів технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергооб'єктів через просторові ознаки сигналів, виділяючи найбільш інформативні з них, такі, що мають найбільшу зміну інформаційної фрактальної розмірності від величини інформативності сигналу в просторі.

Показано, що розпізнавання інформаційних ознак аварійності параметрів технологічного процесу технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергооб'єктів можливо на основі виявлення локальних інформаційних неоднорідностей в об'ємі

кластер-кластерних агрегацій з використанням елементів фрактально-кластерної теорії в просторі і режимі реального часу.

## Список використаних джерел

1. Буданов П. Ф. Моделирование признаков аварийности параметров технологического процесса объектов электроэнергетики / П. Ф. Буданов, К. Ю. Бровко // Сборник научных работ Харьковского университета Повітряних Сил. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 2(43).- С. 84-88.

2. Буданов П. Ф. Просторово – часова модель інформаційного простору з фрактальною структурою / П. Ф. Буданов, К. Ю. Бровко // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 7(132). - С. 15-19.

3. Бровко К. Ю. Підвищення надійності автоматизації управління енергооб'єктами у нештатних режимах функціонування на основі використання мікропроцесорних модулів // Наукові праці Вінницького національного технічного університету: електрон. наук. фахове вид. Вінниця. 2017. № 1. С. 1–6. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/498> (дата звернення: 07.07.2017).

4. Жиленко Е. П. Управляемый хаос в установившихся режимах электроэнергетических систем / Е. П. Жиленко, С. Ю. Прусс, Н. Ю. Фоменко, Д. Е. Христинич // Омский научный вестник. – 2013. – Вип. 2(120). – С. 184-191.

5. Мун Ф. Хаотические колебания: вводный курс для научных работников и инженеров / Ф. Мун. - Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 312 с.

## Аннотация

### МЕТОД ФРАКТАЛЬНО-КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

Буданов П. Ф., Бровко К. Ю.

*Предложено решение задачи распознавания признаков аварийности параметров технологического процесса при нарушении работы электроэнергетического оборудования энергообъектов на основе фрактально-кластерного метода.*

## Abstract

### METHOD OF FRACTAL-CLUSTER ANALYSIS FOR THE DETECTION OF VIOLATIONS IN THE WORK OF ELECTRIC POWER EQUIPMENT OF ENERGY OBJECTS

P. Budanov, K. Brovko

*The solution of the task of recognition of the signs of the accident rate of the parameters of the technological process when the power equipment of power facilities is disrupted on the basis of the fractal-cluster method.*