

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ ОДНОРІДНОСТІ ЧАСОВИХ РЯДІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМОВИХ СИГНАЛІВ ВІТРОЕЛЕКТРОАГРЕГАТІВ

Abstract. A method for homogeneity intervals detection in nonstationary time series of noise acoustic signals in wind power plants diagnostics is presented. The method is based on the change-point detection and identification of its type. The results of the experimental studies of the change-points detection accuracy are presented.

Актуальність

Використання вітроелектроагрегатів може вирішити проблему енергопостачання окремих малодоступних районів, підприємств, будинків, ферм, тощо, а також знизити витрати органічного палива.

Діапазон одиничної потужності сучасних вітроелектроагрегатів (ВЕА) надзвичайно широкий — 0,2 ... 4000 кВт. Однак характеристики і техніко-економічні показники ВЕА значно відрізняються в залежності, не тільки від розрахункової потужності установки, а і діапазону швидкостей повітряного потоку, типу вітродвигуна і принципу керування ним, типу електричного генератора, системи його збудження і керування, режиму роботи і характеру навантаження енергоустановки [1-2].

Крім того, погано передбачуваний характер вітру обумовлює важливу особливість ВЕА – великий діапазон зміни швидкості обертання вітроприймального пристрою в залежності від часу року, часу доби, погодних умов регіону тощо. Окремі пориви вітру можуть у багато разів перевищувати середню розрахункову швидкість, тому в конструкції ВЕА використовуються складні пристрої для повороту лопатей вітрового колеса, а також пристрої, що зменшують діапазон зміни частоти обертання.

Оскільки кількість факторів, що впливають на основні показники ВЕА, дуже значна, завдання розробки системи оцінювання характеристик шумових сигналів для діагностики вітроелектроагрегатів є актуальним.

Авторами пропонується розглянути метод виявлення інтервалів однорідності часових рядів, який можна використати для того, щоб оцінити характеристики шумових сигналів ВЕА не на всьому часовому ряді, а тільки на отриманих інтервалах, що в подальшому можна використовувати для діагностики роботи вітроелектроагрегатів.

Постановка задачі

Запропонувати метод виявлення миттєвих інтервалів однорідності часових рядів шумових сигналів, заснований на знаходженні миттєвих моментів розладу часових рядів. Провести комп'ютерний модельний

експеримент з використанням методу при дослідженні багатокомпонентного циклічного сигналу. Зробити висновок про доцільність використання методу в залежності від точності виявлення моментів розладу.

Вирішення задачі

Більшість методів оцінювання характеристик сигналів, виміряних у різних точках об'єктів дослідження чи в різних напрямках, ґрунтуються на їх моделях у вигляді стаціонарних випадкових процесів [3]. Однак, розглядаючи шумові сигнали вітроелектроагрегатів як часові ряди (ЧР) і застосовуючи до них критерії перевірки на стаціонарність, можна зробити висновок, що вони є нестаціонарними. Тому, необхідно вирішувати задачу пошуку таких шляхів попередньої обробки інформаційних сигналів, які б дозволяли виділяти інтервали, на яких сигнали можна розглядати як умовно стаціонарні або однорідні. Для аналізу таких сигналів пропонується дослідити виявлення часових моментів миттєвих розладів сигналів, при яких нестаціонарний сигнал можна розглядати як кусково-однорідний при різних інтервалах однорідності.

Під розладом зазвичай розуміють будь-які зміни параметрів системи, що виникають миттєво або дуже швидко в порівнянні з характерним періодом вимірювань. У роботі [4] наведено класифікацію видів розладу часових рядів, яку можна звести до наступних трьох видів розладу:

- «зсув середнього»;
- «зсув дисперсії»;
- «тренд».

Слід зауважити, що при нормальній роботі вітроелектроагрегатів, у часовому ряді, отриманому з елементів ВЕА, буде присутній розлад тільки «зсув дисперсії», який характеризується непередбачуваним характером поривів вітру. Але для оцінювання характеристик шумових сигналів ВЕА в повній мірі, авторами розроблено метод виявлення всіх трьох моментів розладу та ідентифікації їх типу. Структурно-логічна схема такого методу представлено на рис. 1. З огляду на рис. 1, можна сформульовано наступний алгоритм метод виявлення, ідентифікації та визначення миттєвих моментів розладу часових рядів.

1. До досліджуваного ЧР $s_r[j]$ застосовують метод SSA [6] з параметром довжини вікна розкладу рівним 1/2 або 1/3 довжини ЧР та виділяють першу компоненту – тренд ЧР $\hat{s}_t[j]$.

$$SSA[s_r[j]] \rightarrow \hat{s}_t[j] \quad (1)$$

2. Подальшу обробку виконують для різниці досліджуваного ЧР та виділеного тренду.

$$\hat{s}_r[j] = s_r[j] - \hat{s}_t[j] \quad (2)$$

3. Сканують ЧР $\hat{s}_r[j]$ ковзним вікном довжиною $W_{S1}=0,02J$ та визначають ковзні характеристики вибірових математичного сподівання $\hat{M}[j]$ та середньоквадратичного відхилення $\hat{\sigma}[j]$.

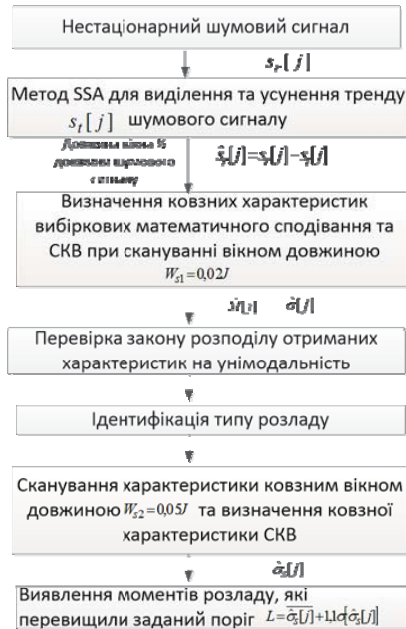


Рис. 1. Структурно-логічна схема методу виявлення миттєвих моментів розладу часових рядів

4. Перевіряють характер закону розподілу отриманих характеристик $\hat{M}[j]$ та $\hat{\sigma}[j]$. У випадку наявності розладу типу «зсуву дисперсії» або «зсуву середнього», відповідні характеристики мають багатомодальні закони розподілу. В дослідженні для перевірки на унімодальність авторами використаний критерій Хартігана [7].

5. Після виявлення факту розладу та ідентифікації її типу використовують ковзний аналіз відповідної характеристики ($\hat{M}[j]$ або $\hat{\sigma}[j]$) для визначення миттєвих моментів розладу. Сканують відповідну характеристику ковзним вікном довжиною $W_{S2}=0,05J$ та визначають ковзну характеристику середньоквадратичного відхилення $\hat{\sigma}_S[j]$. Ділянки характеристики $\hat{\sigma}_S[j]$, що перевищують граничне значення $L = \overline{\hat{\sigma}_S[j]} + 1,1\sigma[\hat{\sigma}_S[j]]$ вважають такими, що вказують на моменти розладу.

Інтервали між знайденими та ідентифікованими миттєвими моментами розладу вважаються однорідними і подальше дослідження шумового сигналу проводиться для кусково-однорідного часового ряду.

Для оцінювання точності визначення моментів розладу для розробленого методу виявлення розладу часових рядів було проведено комп'ютерне випробування, в якому застосовували представлений метод до

модельованих ЧР з відомими моментами розладу та визначеними їх координатами.

Загальна методика модельного дослідження. Як модель часового ряду використано дискретну реалізацію багатокomпонентного циклічного сигналу

$$s[j] = \sum_{i=1}^m (s_i[j]) + n[j], \quad (3)$$

$$s_i[j] = S_i[j] \cos(\Phi_i[j]), \quad (4)$$

де $s_i[j]$ – i -та циклічна компонента, $n[j]$ – реалізація гауссового стаціонарного шуму, для якого $M_n = 0$, $D_n = \sigma^2$, $S_i[j]$ – амплітудна характеристика i -ї циклічної компоненти, $\Phi_i[j]$ – фазова характеристика i -ї циклічної компоненти, $j = 1 \dots J$, J – обсяг реалізації. Виконується властивість – $s_i[j] \in L_2$ і для $s_i[j]$ існує перетворення Гільберта, максимальне значення не перевищує $0,5\sigma$.

Розлад моделюється шляхом модифікації реалізації $s[j]$. Математичні моделі розладу в залежності від її класифікації можна представити наступним чином:

$$1. \text{ «Зсув середнього» } - s_r[j] = \begin{cases} s[j], & j \notin k, k = k_{\min} \dots k_{\max}, \\ s[j] + M_s, & j \in k, k = k_{\min} \dots k_{\max}. \end{cases}$$

$$2. \text{ «Зсув дисперсії» } - s_r[j] = \begin{cases} s[j], & j \notin k, k = k_{\min} \dots k_{\max}, \\ s[j] \sigma_s, & j \in k, k = k_{\min} \dots k_{\max}. \end{cases}$$

$$3. \text{ «Тренд» } - s_r[j] = s[j] + s_t[j], \text{ де } s_t[j] \text{ – монотонно зростаюча функція.}$$

Межі інтервалу розладу (k_{\min} та k_{\max}) відомі та задаються при моделюванні. Величини M_s та σ_s визначаються інтенсивністю розладу K_R :

$$K_R = \frac{M_s}{\sigma} \text{ - для розладу типу «зсув середнього»};$$

$$K_R = \frac{\sigma_s}{\sigma} - 1 \text{ - для розладу типу «зсув дисперсії»}.$$

Вимірювальні експерименти проводилися за схемою представленою на рис. 2. В ході експериментів визначалася залежність похибки визначення координат моментів розладу від значення інтенсивності розладу K_R .

Початковими значеннями параметрів моделювання прийняті:

- інтенсивність розладу $K_R \in [0,7; 2]$;
- кількість циклічних компонент $i = 1$;
- амплітудна характеристика циклічної компоненти: $S_i[j] = 1$;
- фазова характеристика циклічної компоненти $\Phi_i[j] = jT_d$;
- період дискретизації $T_d = 1 \times 10^{-5}$ с;
- обсяг реалізації $J = 5000$;
- середньоквадратичне відхилення реалізації гауссового

- стаціонарного шуму $\sigma = 2$;
- моменти розладу: $k_{min} = 2000, k_{max} = 3000$;
 - кількість повторень експерименту на кожному значенні інтенсивності розладу $L = 10000$.



Рис. 2. Структурно-логічна схема проведення комп'ютерного експерименту для оцінювання точності визначення координат миттєвих моментів розладу

Результати. В ході експерименту були отримані наступні результати, представлені в табл. 1.

Як видно з табл. 1, середнє значення похибки «зсув середнього» не перевищує 7,2 відліків, а похибки «зсув дисперсії» 1,4 відліку, що свідчить про точне виявлення моментів розладу при інтенсивності розладу більше 0,7.

Висновки

Розглянуто актуальність задачі оцінювання характеристик шумових сигналів вітроелектроагрегатів, які представляють собою нестационарний випадковий процес.

Розроблено метод виявлення інтервалів однорідності часових рядів шумових сигналів. Для розробки запропонованого методу наведено класифікацію видів розладів та запропоновано метод знаходження та

ідентифікації миттєвих моментів розладу часових рядів шумових сигналів.

Проведено експериментальне дослідження оцінювання точності визначення координат миттєвих моментів розладу. Отримані результати дають можливість сверджувати про доцільність використання запропонованого методу виявлення інтервалів однорідності часових рядів для оцінювання характеристик шумових сигналів вітроелектроагрегатів як кусково-однорідних часових рядів.

Таблиця 1

Результати дослідження точності виявлення моментів розладу

Інтенсивність розладу	Похибка визначення точок розладу типу «зсув середнього»	Похибка визначення точок розладу типу «зсув дисперсії»
1	2	3
0,7	16,75	1,55
0,8	13,43	1,39
0,9	10,41	1,26
1	2	3
1,0	8,78	1,28
1,1	7,13	0,85
1,2	6,31	0,99
1,3	5,87	1,08
1,4	5,42	1,16
1,5	5,07	1,34
1,6	4,8	1,42
1,7	4,55	1,54
1,8	4,16	1,72
1,9	3,9	1,85
2,0	3,74	2,01

1. *Безруких П.П.* Ветроэнергетика: справ. и метод. пособ.: / П.П. Безруких. – М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2010. – 320 с.
2. *Васько В.П.* Управление параметрами электроэнергетики автономных ветроэлектрических установок / В.П. Васько // Технічна електродинаміка. - 2002. - Вип.1. - С.53 – 56.
3. *Бендат Дж.* Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол А – М.: Мир, 1989. – 540 с.
4. *Никифоров И. В.* Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов / И. В. Никифоров. – М.: Наука, 1983. – 200 с.
5. *Elsner J. B.* Singular Spectrum Analysis: A New Tool in Time Series Analysis // J. B. Elsner, A. Tsonis.— New York, London: Plenum Press, 1996.— 164 p.
6. *Данилова Д.Л.* Главные компоненты временных рядов: метод "Гусеница" / Д.Л.Данилова, А.А.Жиглявский. – Санкт-Петербург, 1997. – 325 с.
7. *Hartigan J.* The Dip Test of Unimodality / J. A. Hartigan; P. M. Hartigan // The Annals of Statistics, Vol. 13, No. 1. (Mar., 1985), pp. 70-84.

Поступила 20.04.2017р.