

Соболевська Леся ГеоргіївнаАсистент кафедри автоматизації технологічних процесів, orcid.org/0000-0001-8238-5685

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

СТРУКТУРА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СТАТИСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ АГРЕГАТІВ

***Анотація.** Розглянуто структуру, алгоритми та програмне забезпечення, що входять до складу автоматизованої системи статистичної діагностики вузлів вітроелектричних агрегатів. Для обґрунтування математичного апарату цієї системи, проведено аналіз використовуваних математичних моделей та діагностичних ознак, що описують процеси вібрацій та нерівномірність зміни обертових моментів, які виникають на валу вітроелектричного агрегату. Описано узагальнений алгоритм вирішення задачі діагностування за допомогою створеної системи та структуру лабораторного зразка автоматизованої системи діагностики вузлів вітроелектричних агрегатів. Проведено перевірку гіпотез за правилом Неймана-Пірсона для визначення стану підшипника та класифікації дефекту із заданою точністю та достовірністю.*

***Ключові слова:** автоматизована система діагностики; статистична діагностика; вітроелектричний агрегат*

Вступ

Сучасна вітроенергетика є однією з найперспективніших галузей відновлюваної енергетики. Україна бере участь в світовому процесі збільшення об'ємів виробництва електроенергії з використанням вітроелектричних агрегатів.

Постановка проблеми

Нагальною потребою вітроенергетики є діагностика вже встановлених на території України вітроелектричних агрегатів (ВЕА). Це зумовлено тим, що велика кількість вітроелектростанцій України обладнана застарілими моделями ВЕА типу USW 56-100, майже всі з яких вже виробили свій ресурс. Саме створення методів і реалізуючих їх автоматизованих систем діагностики (АСД) надає можливість підвищити надійність і подовжити ресурс цих типів ВЕА.

Мета статті

Головною метою роботи є описання структури АСД ВЕА, алгоритмів і програмного забезпечення, що входять до її складу з врахуванням результатів попередньо проведеного дослідження математичних імовірнісних моделей діагностичних сигналів, які описують вібрації та зміну крутного моменту на валу ВЕА.

Виклад основного матеріалу

Інформаційним сигналам, що супроводжують роботу вітроелектричного агрегата, властива

стохастична періодичність (ритмічність, циклічність) [1]. Така періодичність обумовлена роботою обертових частин (головного вала, ротора генератора, редуктора та ін.), що входить до складу ВЕА. Один із можливих класів випадкових процесів, які можуть врахувати таку циклічність є математичні моделі лінійних періодичних випадкових процесів (ЛПВП) [1]. Для обробки та аналізу означених інформаційних сигналів, які для ВЕА, як роторної електроенергетичної машини, можуть бути представлені у вигляді реалізацій кутових спостережень або φ -серій [4; 7 – 9], статистичні методи мають деякі особливості. Наприклад, потрібно ввести визначення функції розподілу, характеристичної функції та моментів, узгоджених з періодичністю, що виникає при розгляді реалізацій діагностичних сигналів на колі. Основні теоретичні положення та методи аналізу кутових спостережень докладно розглянуті та обґрунтовані в роботах [2; 5].

Математичні моделі, що описують процеси вібрацій та нерівномірність зміни обертових моментів, які виникають на валу ВЕА, також можуть будуватись на базі теорій лінійних випадкових процесів (ЛВП) та ЛПВП. Результати аналізу вказаних моделей стосовно ВЕА докладно розглянуто в [1]. Згідно з цією роботою, математична модель вібрацій досліджуваних вузлів ВЕА представлено у вигляді діагностичного сигналу $\{\xi(t); t \in -\infty, \infty\}$, який розглядався як відгук багато-резонансної коливальної системи з імпульсною

перехідною функцією $\phi(t, \tau)$, $\int_{-\infty}^{\infty} (\phi(t, \tau))^2 d\tau < \infty$.

Використання елементів теорії ЛВП надало можливість провести повний імовірнісний аналіз процесу $\xi(t)$, що дало змогу теоретично обґрунтувати низку діагностичних ознак для визначення технічного стану окремих вузлів ВЕА.

При побудові математичної моделі зміни кутової швидкості i , як наслідок, обертових моментів на валу ВЕА, досліджувався кут повороту φ цього вала

$$\varphi_t = \varphi_0 + \omega_0 t + \varphi_{\varrho}(t), \quad (1)$$

де φ_0 – початкова фаза, яка фіксується датчиком нульової відмітки (НВ), i зазвичай приймається рівною нулю; ω_0 – середня кутова швидкість; $\varphi_{\varrho}(t)$ – нерівномірність кута повороту вала.

Серед сигналів, які в першу чергу можуть містити інформацію про технічний стан вузлів, що діагностуються, слід виокремити нерівномірність швидкості обертання вала агрегату або моменти на його валу. Коротко нагадаємо основні діагностичні ознаки, що було обґрунтовано за результатами дослідження моделей [1].

Як зазначалось в роботах [1; 3], при використанні багаторезонансної моделі вібрацій вузлів ВЕА як діагностичні ознаки можна використовувати:

– при спектрально-кореляційному аналізі вібрацій – коефіцієнти згасання $\beta_j, j = \overline{1, n}$, та частотні параметри $\theta_j, j = \overline{1, n}$;

– при дослідженні розподілу вібрацій – величини початкових та центральних моментів, а також характер кривої щільності розподілу ймовірності.

При використанні в якості вимірюваного сигналу нерівномірності кутової швидкості обертання вала ВЕА, згідно з [1; 10] може бути використана в якості діагностичних ознак функція $\varphi_{\varrho}(t)$, що характеризує нерівномірність його кутової швидкості. Крім того, виходячи з [1; 10], як діагностичні ознаки можуть виступати величини моментів на валу ВЕА, а саме:

– M_p – момент на вихідному валу ротора;

– M_{nm}, M_{ne} – моменти втрат енергії у трансмісії та генераторі відповідно;

– M_{ϱ} – момент навантаження генератора.

Основну увагу при розробленні методики діагностування ВЕА, яка базується на класичних методах перевірки статистичних гіпотез з використанням моделі ЛВП, приділено дослідженню навчальних сукупностей, що сформовані за найінформативнішими діагностичними ознаками у відповідних просторах, а також на розв'язуючих правилах, які дають змогу з наперед заданими

точністю та вірогідністю визначити наявність певного дефекту у вузлах ВЕА, що діагностуються. Питанню одержання кількісних оцінок експериментальних даних для діагностики ВЕА присвячено роботи [3; 6].

На рис. 1 наведено основні елементи задачі діагностування: джерело діагностичної інформації – ДДІ; статистичне попереднє опрацювання – СПО; простір спостережень – ПС; навчальна сукупність – НС; розв'язуюче правило – РП; діагностичне рішення – ДР.

НС – це множина тих значень параметрів, що відповідають умовно справному стану об'єкта діагностування, або його стану, зв'язаному з наявністю одного з дефектів, що діагностується.

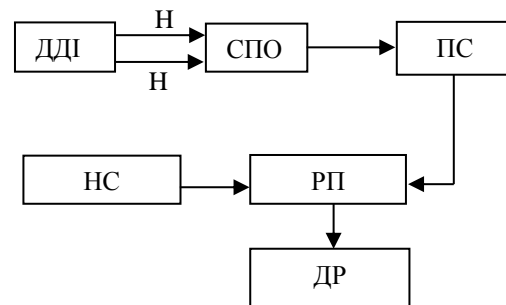


Рисунок 1 – Основні елементи задачі діагностування

ДДІ створює деякий процес, який залежить від діагностичних параметрів, кожний з яких являє собою вектор чи скаляр. У найпростішому випадку розглядається тільки один параметр, що може приймати два різних значення. Кожному з цих значень відповідає одна з гіпотез: основна H_0 і альтернативна або конкуруюча H_1 .

СПО будується таким чином, начебто вже відомо, яка гіпотеза є правдивою. Базуючись на такому знанні, може бути отримана цілком визначена точка в просторі спостережень. Припускається, що на цьому етапі додається деяка адитивна випадкова компонента, що не залежить від гіпотез і яка може виникати як на виході джерела діагностичної інформації, так і в процесі її статистичного опрацювання. Вона спотворює значення діагностичного параметра, тому з кожним гіпотетичним значенням параметра пов'язується імовірнісний закон розподілу.

ПС містить у собі всі можливі значення вимірювальних параметрів, що вони можуть приймати в процесі експеримента. В результаті дії завад у просторі спостережень множини точок, що відповідають різним гіпотезам, перетинаються, а іноді і зовсім збігаються. У зв'язку з цим робиться поділ простору спостережень на неперехресні підмножини спостережень – образи, які відповідають кожній із гіпотез.

Завершальним етапом при проведенні діагностики є побудова розв'язуючих правил (РП), які будуються з врахуванням навчальних сукупностей і являють собою оптимальну розбивку, деяким чином перетвореного простору спостережень (ПС) на неперехресні підмножини.

Якщо побудовано РП, то тоді саме рішення вноситься на основі деякої діагностичної вибірки, об'єм якої розраховується саме згідно з РП, чим і завершується вибір гіпотези, тобто отримується вирішення задачі діагностування.

Визначення кількісних оцінок запропонованих діагностичних ознак реалізується за допомогою АСД статистичної діагностики. Ця АСД повинна задовольняти такі вимоги:

1. Забезпечувати вимірювання вібраційних сигналів у таких вузлах вітроагрегатів:
 - підшипникові вузли ступиці вітротурбіни;
 - підшипникові вузли генератора;
 - трансмісія;
 - основна рама.
2. Забезпечити вимірювання моменту на головному валу вітроагрегата.
3. Забезпечувати довгострокове і централізоване збереження даних, отриманих у результаті вимірювань, а також їхню наступну обробку й аналіз.

На рис. 2 схематично зображено ВЕА установку та місця розташування датчиків вібрації.

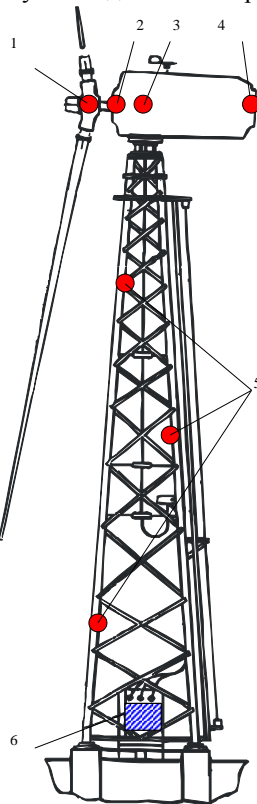


Рисунок 2 – Місця встановлення акселерометрів у вузлах вітроагрегату: 1 – підшипникові вузли ступиці вітротурбіни; 2 – трансмісія; 3 – редуктор; 4 – підшипникові вузли генератора; 5 – головна рама; 6 – модуль реєстрації і передачі даних

При діагностуванні вузлів ВЕА акселерометри та датчики крутного моменту повинні розміщуватися в одних і тих самих місцях в режимі як навчання, так і діагностики.

Як датчик крутного моменту використовується безконтактний датчик крутного моменту ТРН-А, який розміщується на високообертovому валу між редуктором та генератором. Цей датчик фланцевого типу має високу чутливість. Він дає змогу вимірювати крутний момент при частоті обертання до 10 000 об./хв. Висока міцність такого датчика доповнюється використанням додаткових пружних муфт. Унікальна конструкція безконтактних елементів, таких як контактні кільця, дає змогу безпечно експлуатувати датчик в довготривалих режимах при високих частотах обертання. Вбудований підсилювач сигналу дає можливість видавати сигнал по напрузі і струму безпосередньо на пристрої реєстрації та індикації, а також через АЦП на персональний комп'ютер (ПЕОМ) для збирання та опрацювання даних.

Коротко зупинимось на описі структурної схеми лабораторного зразка АСД (рис. 3).

Розроблений зразок АСД складається з двох основних модулів:

- модуль вимірювання і збирання інформації;
- модуль перетворення і обробки інформації.

До модуля вимірювання і збирання інформації належать:

- вимірювальні датчики (акселерометри та датчики крутного моменту) A_1, A_2, \dots, A_n ;
- блок збирання інформації.

Модуль перетворення і опрацювання інформації складається з:

- блоку попереднього підсилення сигналів БПП;
- блоку аналогової фільтрації експериментальних даних БАФ;
- блоку перетворення аналогових сигналів у цифровий код БПАС;
- промислового комп'ютера ПЕОМ;
- пакету прикладних програм ППП.

Також до складу ППП входять програми, які здійснюють опрацювання експериментальних даних та управління роботою АСД в режимах навчання та діагностики.

- програма перевірки експериментальних даних на стаціонарність ППЕДС;
- програма цифрової фільтрації ПЦФ;
- програма спектрально-кореляційного аналізу ПСКА;
- програма гістограмного аналізу ПГА;
- програма побудови діагностичних рішень ППДР.

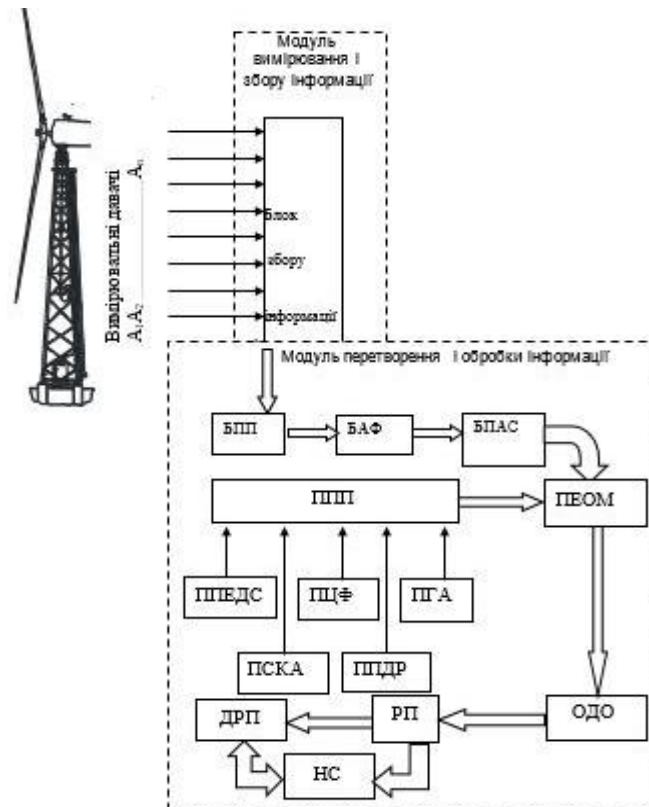


Рисунок 3 – Структурна схема АСД

Отже, для функціонування створеної АСД було розроблено три види програмного забезпечення:

1. Програмне забезпечення для управління роботою власне АСД.
2. Програмне забезпечення для статистичної обробки діагностичних сигналів (ППП).
3. Програмне забезпечення для побудови діагностичних рішень (ППДР).

Запропоноване програмне забезпечення ППП застосовується для знаходження характеристик часових рядів, у вигляді яких представлені діагностичні сигнали. Для таких часових рядів справедлива ергодична гіпотеза і моменти до четвертого включно кінцеві.

ППП дає змогу визначити оцінки початкових моментів і центральних моментів до четвертого включно, коефіцієнтів асиметрії та ексцесу, інтервалу варіювання, будувати гістограми і згладжувати їх за системою кривих Пірсона, а також одержувати згладжені оцінки спектрів потужності і взаємних амплітудних спектрів з оцінкою дисперсії отриманих оцінок спектрів.

У результаті експериментальних спостережень за реалізаціями ергодичних випадкових процесів отримується ряд послідовних впорядкованих у часі відліків, що називається часовим рядом.

У програмах реалізовано діалоговий режим спілкування з користувачем. У процесі виконання програма звертається до файлу вхідних даних та до файлу графічних шрифтів.

Процес експериментальної побудови навчальних сукупностей зазвичай в діагностиці називають навчанням. Саме в процесі навчання формуються образи технічних станів досліджуваних вузлів, а також будуються оцінки імовірнісних законів, за допомогою яких здійснюється формулювання гіпотез і попереднє статистичне опрацювання діагностичної інформації.

Для ілюстрації практичного застосування створеної АСД розглянемо приклад з визначення дефекту типу перекося у підшипнику кочення генератора ВЕА USW 56-100, що встановлений з боку приводу. Для цього використаємо вібраційний діагностичний сигнал, який був виміряний за допомогою акселерометра типу АВС-017, що під час експерименту встановлювався в точці 4 досліджуваного ВЕА (рис. 2). На рис. 4 зображено типову реалізацію вібраційного діагностичного сигналу (рис. 4, а), спектрограму (рис. 4, б), та гістограму (рис. 4, в).

У виміряній типовій реалізації вібраційного сигналу можна виділити одну досить стійку частотну складову. На графіку спектральної щільності досліджуваного вібраційного сигналу (рис. 4, б) досить чітко видно основну частотну складову цього сигналу в області 335 Гц. Крім того, на представленій спектрограмі можна виокремити спектральні складові на частотах в області від 50 до 600 Гц.

Результати обробки зареєстрованого сигналу з використанням програми гістограмного аналізу наведено на рис. 4, в. Наведена на цьому рисунку

гістограма може бути згладжена 7 або 13 типами кривих Пірсона. Тобто, досліджувані у цій точці вібрації мають гаусовий тип розподілу [3].

Одержані за допомогою лабораторного зразка АСД оцінки параметрів і характеристик вібраційних сигналів є базовими кількісними оцінками діагностичних ознак, що відповідають умовно справним підшипниковим вузлам ВЕА.

Для практичного застосування створеного зразка АСД для проведення вібродіагностики в умовах вітроелектричних станцій необхідно розробити спеціальну методику діагностування. При створенні цієї методики необхідно передбачити проведення експериментів з вибору діагностичних просторів та формування у цих просторах навчаючих сукупностей, що відповідають нормальному стану, або певним дефектам вузлів вітроагрегата, який діагностується.

Як приклад для наочного практичного застосування створеної методики сформуємо навчальні сукупності побудуємо розв'язуючі правила відносно технічного стану підшипника для режиму роботи підшипника 300 об/хв. *

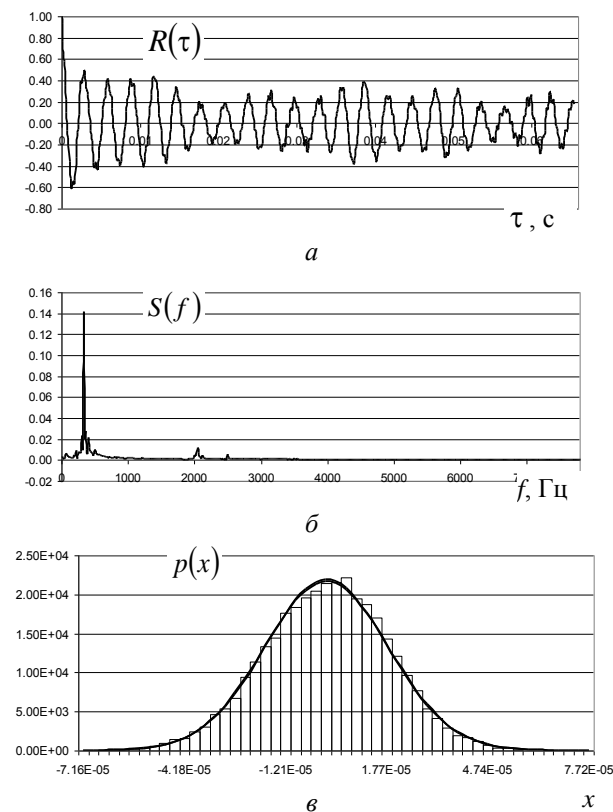


Рисунок 4 – Характеристики вібраційного діагностичного сигналу: а – типова реалізація вібраційного діагностичного сигналу; б – спектральна щільність вібраційного діагностичного сигналу; в – гістограма вібраційного діагностичного сигналу

Для початку представимо навчальні сукупності для цього режиму.

* Результати експериментів одержані спільно з м.н.с. Ю.І. Гижко

У вигляді відомих в статистиці еліпсів розсіювання, що розташовані на площині з координатами (β_1, β_2) , які є вісями діаграми Пірсона. Як відомо [3], координати β_1 та β_2 зв'язані з коефіцієнтами асиметрії k та ексцесу γ співвідношенням:

$$\beta_1 = k^2, \beta_2 = \gamma + 3. \quad (2)$$

Кількісні оцінки коефіцієнтів k та β для описаного швидкісного режиму роботи підшипника 300 об/хв одержано на ПЕОМ за допомогою програми гістограмного аналізу шляхом обробки 75 реалізацій досліджуваних вібрацій.

Нижній еліпс розсіювання, що розташований на рис. 5, відповідає умовно справному підшипнику, а верхній – підшипнику, що працює з перекосом.

Для спрощення процедури побудови розв'язуючого правила з діагностики дефекту типу «перекос» у досліджуваному підшипнику, перейдемо до одновимірного діагностичного простору (рис. 6) за співвідношенням

$$\varphi = \arctg \frac{\beta_2 + 3}{\beta_1 + 4}. \quad (3)$$

На рис. 6 одержані навчальні сукупності перетворяться до гістограм, що відповідають умовно справному стану підшипника (ліва гістограма, рис. 6) та підшипника, що працює з перекосом (права гістограма, рис. 6).

Застосуємо до перевірки гіпотез про стан підшипників відоме розв'язуюче правило перевірки гіпотез за Нейманом-Пірсоном[3].

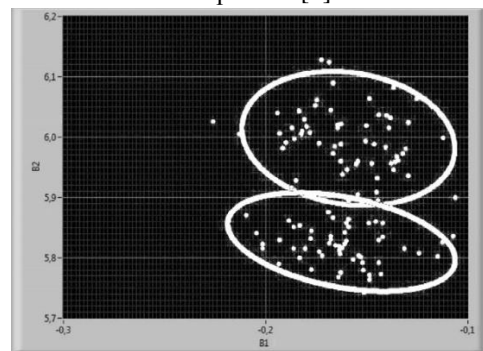


Рисунок 5 – Навчальні сукупності при частоті роботи підшипника 300 об/хв (двовимірний простір)

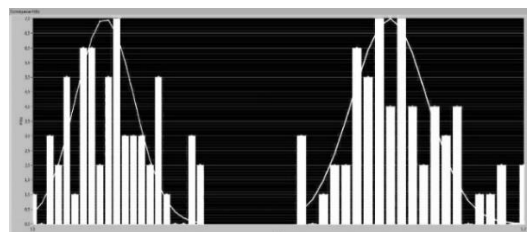


Рисунок 6 – Гістограми та криві Пірсона моментів вібраційного процесу при частоті роботи 300 об/хв (одновимірний простір)

Перевіримо гіпотези при частоті роботи 300 в за значеннями моментів вібраційного процесу.

$H_0 : \Theta_1 = 1,142486 \pm 0,00116493$ (підшипник справний);

$H_1 : \Theta_2 = 1,153701 \pm 0,00147673$ (підшипник з перекосом);

$$\delta^2 = (0,00116493^2 + 0,00147673^2) / 2 = 0,0000017.$$

Визначимо кількість необхідних спостережень:

$$n = \frac{(u_\alpha + u_\beta)^2 \delta^2}{(\Theta_2 - \Theta_1)^2} = \frac{0,0000279}{0,00012578} = 0,2218 \approx 1.$$

Розрахуємо величину порогу:

$$C = \frac{(\Theta_2 - \Theta_1)(u_\alpha - u_\beta)}{2(u_\alpha + u_\beta)} + (\Theta_2 + \Theta_1) / 2 =$$

$$= \frac{0,007637415}{-7,942} + 1,1480935 = 1,14713.$$

Проведемо один експеримент з вимірювання вібрацій на підшипнику з умовним перекосом при частоті роботи 300 об/хв.

Отримаємо значення $\varphi = 1,1542$. Тоді $1,1542 > C = 1,14713$, що означає, що підшипник працює з перекосом.

Висновки

1. Наведено структурну схему лабораторного зразка АСД, описано його модулі та розроблено для них програмне забезпечення.

2. За допомогою розробленого програмного забезпечення за обраними діагностичними ознаками побудовано навчальні сукупності, що відповідають певним технічним станам досліджуваного об'єкта.

3. На базі навчаючих сукупностей побудовані розв'язуючі правила, які за допомогою процедури Неймана-Пірсона дають змогу класифікувати перекоп підшипника з наперед заданими точністю та достовірністю, що визначаються похибками першого та другого роду α та β .

Список літератури

1. Вольтерс А.О., Мислович М.В., Соболевська Л.Г. Моделі лінійних і лінійних періодичних випадкових процесів та їх використання в інформаційно-вимірювальних системах діагностики роторних енергетичних машин // *Техн. електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки.* – Ч. 2. – 2006. – С. 77 – 82.
2. Мардіа К. Статистический анализ угловых наблюдений. – М.: Наука, 1978. – 240 с.
3. Марченко Б.Г., Мислович М.В. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин. – К.: Наук. думка, 1992. – 195 с.
4. Вольтерс А.О., Мислович М.В., Соболевська Л.Г. Використання системи кривих Пірсона для обробки експериментальних даних в автоматизованих системах діагностики роторних електроенергетичних машин. Тези доповідей міжнародної науково – технічної конференції "Силовая електроніка та енергоефективність"(20 – 23 вересня 2010 р. Алушта).
5. Куц Ю.В., Щербак Л.М. Статистична фазометрія. – Тернопіль: Видавництво Тернопільського державного технічного університету ім. Івана Пулюя. – 2009. – 383 с.
6. Вольтерс А.О., Мислович М.В., Соболевська Л.Г. Особливості вимірювання даних і формування навчаючих сукупностей для діагностики роторних машин. – Матеріали VII Міжнародного семінару «Обчислювальні Проблеми Електротехніки»(Одеса, Україна. 27 -30 серпня). – 2006. – С. 196 – 199.
7. Марченко Н., Мислович М., Сисак Р. Вібраційна діагностика вітроенергетичних агрегатів з використанням статистичних даних експертної системи. // *Przeegląd Elektrotechniczny/ Законане (Польща).* – 2005. – №2. – С. 53 – 57.
8. Марченко Б.Г., Мислович М.В., Приймак М.В. Аналіз навантажень енергосистем на основі моделі їх стохастичної періодичності // *Технічна електродинаміка*, 2003. – №4, С. 61 – 65.
9. Марченко Н.Б., Мислович М.В. Моделювання матриці фі-серій та її використання при аналізі точності інформаційно-вимірювальних систем діагностики електроенергетичного обладнання. // *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки.* – Ч. 4. – 2006. – С.100 – 103.
10. Вольтерс А.О., Мислович М.В., Соболевська Л.Г. Формування навчаючих сукупностей з типових дефектів в автоматизованих системах діагностики електроенергетичних машин // *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки* – Ч.2. – 2008. – С. 75 – 80.

Стаття надійшла до редколегії 30.06.2019

Соболевская Леся Георгиевна

Ассистент кафедры автоматизации технологических процессов, orcid.org/0000-0001-8238-5685
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Аннотация. Рассмотрена структура, алгоритмы и программное обеспечение, входящие в состав автоматизированной системы статистической диагностики узлов ветроэлектрических агрегатов. Для обоснования математического обеспечения данной системы, проведен анализ используемых математических моделей

и диагностических признаков, описывающих процессы вибраций и неравномерность изменения вращающих моментов, возникающих на валу ветроэлектрических агрегатов. Описаны обобщенный алгоритм решения задачи диагностирования с помощью созданной системы и структура лабораторного образца автоматизированной системы диагностики узлов ветроэлектрических агрегатов. Проведена проверка гипотез по правилу Неймана-Пирсона для определения состояния подшипника и классификации дефекта с заданной точностью и достоверностью.

Ключевые слова: автоматизированная система диагностики; статистическая диагностика; ветроэлектрический агрегат

Sobolevska Lesia

Assistant, Department of technological process automation, orcid.org/0000-0001-8238-5685

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

STRUCTURE AND FEATURES OF THE AUTOMATED DIAGNOSTIC SYSTEMS OF STATISTICAL WIND POWER UNITS.

Abstract. The structure, algorithms and software included in the automated system of statistical diagnostics of units of wind turbines are considered. To substantiate the mathematical apparatus of this system, an analysis of the used mathematical models and diagnostic features describing the processes of vibration and the unevenness of the change in the rotating moments occurring on the shaft of the wind turbine unit has been carried out. A generalized algorithm for solving the problem of diagnosing with the help of the created system and the structure of the laboratory sample of the automated system of diagnostics of nodes of wind turbines is described. The teaching rules set up the solving rules, and also check the hypotheses according to the Neumann-Pearson rule to determine the bearing state and the classification of the defect with the given accuracy and reliability.

Keywords: automated system diagnostics; statistical diagnostics; wind power unit

References

1. Wolters, A.O., Myslovych, M.V. & Sobolevska, L.G., (2006). Linear models and linear periodic stochastic processes and their use in information-measuring systems diagnostics of rotor power machines. *Technical electrodynamics. Thematic issue. Problems of modern electronics*, 2, 77 – 82.
2. Mardia, K., (1978). *Statistical analysis of the angular observations*. Moscow: Nauka, 240.
3. Marchenko, B.G., & Myslovich, M.V., (1992). *Vibrodiagnostics of bearing assemblies of electrical machines*. Kyiv, Sciences Dumka, 195.
4. Wolters, A.O., Myslovich, M.V. & Sobolevska, L.G., (2010). The use of the Pearson curve system for processing experimental data in automated systems for the diagnosis of rotary power machines. *Abstracts of the International Scientific and Technical Conference "Power Electronics and Energy Efficiency" (September 20 – 23, Alushta)*.
5. Kuts, Y.V., & Shcherbak, L.M., (2009). *Statistical phase meter*. Ternopil: Publisher Ternopil State Technical University of John Puluji, 383.
6. Wolters, A.O., Myslovich, M.V. & Sobolevska, L.G. (2006). Peculiarities of the data measurement and taught totalities' forming for the diagnostics of the rotary generators. *Proceedings of VII International Workshop «Computational Problems of Electrical Engineering»*. Odessa, Ukraine. August, 27 – 30, 196 – 199.
7. Marchenko, N., Myslovitch, M. & Sysak, R. (2005). *Vibration Diagnostics of Wind – Driven Power Units with Usage of Statistics Expert System*. *Prezglad Elektrotechniczny*, 2, 53 – 57.
8. Marchenko, B.G., Myslovich, M.V. & Priymak, M.V. (2003). Analysis of pressures power systems on the basis of stochastic models of their frequency. *Technical Electrodynamic*, 4, 61 – 65.
9. Marchenko, N.B., & Myslovich, M.V., (2006). Modeling of the matrix Fi-series and its use when analyzing the accuracy of information-measuring systems of diagnostics of electrical equipment. *Technical electrodynamic. Thematic issue. Problems of modern electronics*, 4, 100 – 103.
10. Wolters, A.O., Myslovich, M.V. & Sobolevska, L.G., (2008). Formation of learning collections from typical defects in automated diagnostic systems of electric power machines. *Technical electrodynamic. Thematic issue. Problems of modern electronics*, 2, 75 – 80.

Посилання на публікацію

- APA Sobolevska, L.G. (2019). Structure and features of the automated diagnostic systems of statistical wind power units. *Management of development of complex systems*, 39, 211 – 217; dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11340749.
- ДСТУ Соболєвська Л.Г. Структура та особливості побудови автоматизованої системи статистичної діагностики вітроелектричних агрегатів [Текст] / Л.Г. Соболєвська // Управління розвитком складних систем. – 2019. – № 39. – С. 211 – 217; dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11340749.