

УДК 621.314: 621.391

ФОРМУВАННЯ НАВЧАЮЧИХ СУКУПНОСТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З УРАХУВАННЯМ РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ

С.М. Герцик, асп.

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна
e-mail: sergey.gertsik@gmail.com

Запропоновано методи формування просторів діагностичних ознак досліджуваного енергетичного обладнання, що працює у різних швидкісних режимах. На прикладах дослідження вібрацій підшипників кочення електроенергетичних машин доведено необхідність формування просторів діагностичних ознак з урахуванням режимів роботи досліджуваних об'єктів. Одержання експериментальних даних виконано з використанням лабораторного зразка системи вібродіагностування вузлів електроенергетичного обладнання. Бібл. 7, рис. 2, таблиця.

Ключові слова: електроенергетичне обладнання, системи діагностування, режими роботи ЕО.

Вступ. На сьогодні все більшого розвитку набувають системи діагностування електроенергетичного обладнання (ЕО), що дають змогу підвищити надійність їх роботи та продовжити залишковий ресурс. Це особливо актуально в сучасних умовах, оскільки в енергетичному комплексі України за різними оцінками (наприклад, [1, 2]) від 70 до 90 % основного та допоміжного обладнання виробило свій ресурс. Тому подальша експлуатація енергоємного, а в деяких випадках і вкрай небезпечного (наприклад, АЕС) обладнання потребує створення спеціальних методів та засобів, що допускають таку експлуатацію у разі одночасного забезпечення необхідного рівня надійності та безпеки. У роботах [1, 2] розглянуто принципи побудови систем технічного діагностування як нерухомих, так і рухомих вузлів ЕО з використанням автономних вимірювальних перетворювачів, що особливо важливо. Саме розміщення таких перетворювачів на рухомих валах енергетичних машин надає можливість здійснювати діагностування обертових частин цих машин.

Суттєвим і першочерговим моментом у разі створення таких систем є розробка математичних моделей діагностичних сигналів, що супроводжують роботу ЕО. Результати дослідження цих моделей дають можливість обґрунтувати можливі діагностичні ознаки.

Інше важливе завдання полягає у розробці моделей формування просторів діагностичних ознак, що відповідають різним технічним станам вузлів енергетичного обладнання, яке працює у різних режимах (швидкість обертання вала турбіни або ротора електричної машини, температура вузлів, що діагностуються, різні ступені електродинамічного та механічного навантаження тощо), проведенні експериментів, результати яких підтверджують залежність сформованих діагностичних просторів від режимів роботи вузлів ЕО [3].

У загальному сенсі задачу діагностування ЕО, що базується на відповідним чином обраній і аргументованій імовірнісній моделі вібрацій, можна звести до таких основних етапів [1, 4]:

1. Встановлення діагностичних ознак, що відповідають різним технічним станам вузлів ЕО, і чуттєвих до їх змін;
2. Вибір діагностичних просторів і формування за експериментальними даними навчальних сукупностей (так званий етап навчання), які відповідають певним дефектам у вузлах ЕО;
3. На базі побудованих навчальних сукупностей, які було сформовано шляхом попередньої реєстрації діагностичних сигналів, виконується побудова розв'язуючих правил з діагностування дефектів у вузлах ЕО, що досліджуються.

Відомо [2, 3], що кількісні оцінки діагностичних ознак для певного технічного стану об'єкта діагностування можуть змінюватись за величиною залежно від режиму експлуатації цього об'єкта. Отже, для забезпечення заданої точності діагностування необхідно здійснювати формування навчаючих сукупностей як з урахуванням виду дефекту досліджуваного об'єкта, так і режиму його роботи. В рамках виконання цієї роботи проведено серію вимірювань і подальший аналіз вібраційних процесів, зареєстрованих на підшипникових вузлах електричної машини, що працює у різних швидкісних режимах.

Виходячи з зазначених завдань можна сформулювати **мету роботи**, а саме: з використанням експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи статистичної діагностики розробити і експериментально перевірити методи формування навчаючих сукупностей, що дають змогу за допомогою цієї системи побудувати банк таких сукупностей, який би враховував одночасно тип можливих дефектів та режим роботи досліджуваного енергетичного обладнання.

Обґрунтування діагностичних ознак. Відповідно до запропонованої моделі [1, 3, 5] для формування навчаючих сукупностей використано вібраційні діагностичні сигнали, зареєстровані на підшипникових вузлах електричної машини, що працює у різних швидкісних режимах. Згідно з [1, 3, 5] вібраційні сигнали, що реєструються акселерометрами на цих об'єктах, є реалізаціями випадкового процесу. Суттєвим моментом у разі обґрунтування діагностичних ознак, крім вибору вузла ЕО, який підлягає діагностуванню, є також вибір математичного апарата, що використовується для дослідження діагностичних сигналів.

Як зазначалось у роботах [1, 3, 5], за результатами аналізу математичної моделі вібраційних процесів, що супроводжують роботу цих вузлів ЕО, найбільш повну інформацію для розв'язання задач діагностики містять кореляційна функція, спектральна щільність потужності й одновимірні щільності розподілу ймовірностей вібраційних процесів, що розглядається, або величини, які за ним визначаються: частоти резонансів, екстремуми кореляційної функції, ступеневі моменти та ін. Саме ці функції та параметри є елементами, за допомогою яких на другому етапі будуються навчальні сукупності.

Під навчальними сукупностями розуміємо певним чином сформовані й розбиті на підмножини набори параметрів, що вимірюються. Але в першу чергу як діагностичні ознаки можуть бути третій і четвертий моменти вібрацій, що наведено у [1, 5]. Проте на практиці зазвичай користуються не третім та четвертим моментами вібрацій підшипників, а коефіцієнтами асиметрії k і ексцесу γ [6, 7], які пов'язані з третім та четвертим моментами вібрацій такими співвідношеннями:

$$k^2 = \mu_3 / \mu_2^{3/2}; \quad (1)$$

$$\gamma = \beta_2 - 3, \quad (2)$$

де $\beta_2 = \mu_4 / \mu_2^2$. (3)

Характерною особливістю фізичних процесів, які відбуваються під час роботи ЕО змінного струму, зокрема електричних машин (ЕМ), що містять рухомі (обертіві) вузли, є, з одного боку, їхня циклічність (регулярність), а з іншого – вплив додаткових чинників випадкової природи, що виникають безпосередньо у вузлах працюючого обладнання. Так, шихтовані магнітопроводи піддаються дії змінного магнітного поля, спричиненого періодичними струмами, що протікають в обмотках; підшипники електричних машин знаходяться під впливом циклічно змінних механічних сил, викликаних обертанням валів тощо. Значення таких процесів не повторюються точно (в математичному розумінні) у кожному циклі (періоді), а мають стохастичний характер. Отже, математична модель діагностичних процесів має враховувати одночасно як циклічність, так і стохастичність досліджуваних фізичних процесів. Для побудови стохастичних математичних моделей діагностичних сигналів, що супроводжують роботу вузлів ЕО, була застосована теорія лінійних випадкових (ЛВП) та лінійних періодичних випадкових (ЛПВП) процесів [1, 5]. Використання цих класів процесів надало

можливість отримати повні імовірнісні характеристики досліджуваних діагностичних сигналів. Кількісні оцінки деяких з них і було використано як діагностичні ознаки.

Експериментальна перевірка діагностичних ознак. Для ілюстрації залежності кількісних оцінок діагностичних ознак від режимів роботи певних вузлів ЕО наведемо декілька прикладів. Для вирішення цього завдання обмежимось експериментальними випробуваннями такого важливого вузла електричних машин (ЕМ), як підшипник кочення. Перш за все, обмежимось кількома можливими режимами, а саме величиною кутової швидкості обертання вала ЕМ для найбільш поширених типів підшипників ЕО. Під час проведення експериментів за допомогою ІВС вібродіагностики вузлів ЕО здійснювалось вимірювання віброприскорення досліджуваних підшипників.

На рис. 1 наведено загальний вид експериментальної установки, на якій проводились випробування роботи підшипникових вузлів ЕМ у різних швидкісних режимах їх роботи. Її основне призначення полягало у експериментальній перевірці діагностичних ознак за наявності типових дефектів типу перекіс, відсутність мастила; дослідження пошкоджень зовнішнього або внутрішнього кільця підшипника внаслідок викривування металу (так званого пітінгу).

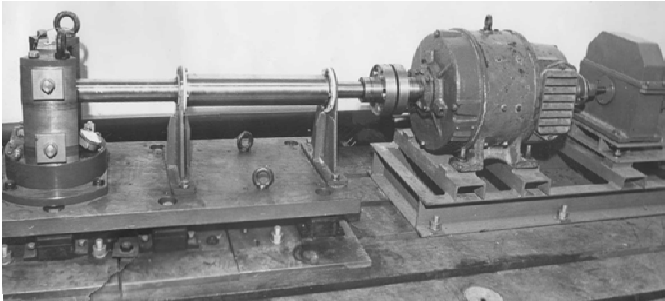


Рис. 1

Установка за конструкцією складається з трьох основних вузлів: електричного приводу, масивного вала, вузла кріплення і вимірювання вібрацій випробовуваного підшипника. Обертання випробовуваного підшипника, встановленого у вузлі кріплення і вимірювання вібрацій (зображений у лівій частині рис. 1), забезпечується електричним двигуном постійного струму типу П-51 через масивний вал. Цей двигун потужністю 11 кВт

забезпечує обертання випробовуваного підшипника з будь-якою швидкістю в діапазоні від 10 до 1500 об/хв. Застосування спеціальної муфти з гумовими пальцями дає змогу максимально знизити вібрації, зумовлені роботою електричного приводу. Крім того, зниження вібрацій вала експериментальної установки сприяє закріпленню його в опорах з підшипниками ковзання, виконаними з фторопласту, а також розміщенню вала і вузла кріплення та вимірювання вібрацій випробовуваного підшипника на масивній плиті.

Основне призначення вузла кріплення і вимірювання вібрацій підшипника – це можливість штучно відтворювати основні дефекти підшипника та розміщення первинної віброперетворювальної апаратури (акселерометрів). Для вимірювання віброприскорень досліджуваного підшипника використовувався акселерометр типу АВС-017, що дало змогу вимірювати вібрації підшипника в смузі частот 20 Гц ... 30 кГц. Він встановлювався в радіальному напрямку по відношенню до випробовуваного підшипника. Детально установку для випробувань підшипників описано в [1, 5].

Як зазначалось, випробуванням піддавались підшипники кочення типу 309 ЕШ₂ з різними типами дефектів (перекіс, відсутність мастила, дефекти внутрішнього та зовнішнього кільця, тіл кочення, що зумовлені викривуванням металу через його втомлюваність). Згідно з роботами [1, 2, 5, 6, 7] найбільш інформативними діагностичними ознаками, що дають змогу виявляти та класифікувати всі перелічені дефекти підшипників кочення, є коефіцієнти асиметрії k та ексцесу γ вібрацій досліджуваних підшипників кочення.

У таблиці наведено результати дослідження віброприскорень умовно справних підшипників кочення, встановлених на експериментальному стенді, що побудований на базі електричної машини (ЕМ) постійного струму типу П-51.

У випадку проведення експериментів з дослідження впливу величини кутової швидкості обертання вала ЕМ на кількісні оцінки основних діагностичних ознак (таблиця) швидкісний режим обертання вала змінювався дискретно зі значеннями $v_{\omega} \in (250, 500, 750, 1000)$

об/хв. Відповідно до створеної моделі [1, 3, 5] формування діагностичних просторів, що відповідають як певному технічному стану підшипника кочення (справний, відсутність мастила, перекіс, дефект внутрішнього кільця), так і певному вказаному швидкісному режиму, можна позначити як сукупність множин Ω , елементами якої є підмножини ω_{jn} , $j, n \in \overline{1,4}$. У такому позначенні індекс j відповідає певному технічному стану підшипника у разі його випробування на установці, а n – кутовій швидкості вала установки. У цьому випадку $n_1 = 250$ об/хв, $n_2 = 500$ об/хв, $n_3 = 750$ об/хв, $n_4 = 1000$ об/хв. Позначення ω_{jn} , $j, n \in \overline{1,4}$ наведено у таблиці. Тобто під кожною ω_{jn} , $j, n \in \overline{1,4}$ будемо уявляти певну навчальну сукупність (НС), що відповідає водночас як певному технічному стану досліджуваного підшипника кочення, так і певному режиму його роботи.

№ з/п	Умови випробування підшипника	Швидкість оберт. вала $v_{xв}$, об/хв		250	500	750	1000
		Познач. та результати випробувань					
1.	Справний	Познач. навч. сукупності		ω_{11}	ω_{12}	ω_{13}	ω_{14}
		Оцінки середн. знач. коефіцієн.	k	$0,039 \pm 0,005$	$0,035 \pm 0,009$	$0,042 \pm 0,012$	$0,039 \pm 0,007$
			γ	$0,184 \pm 0,037$	$0,193 \pm 0,013$	$1,051 \pm 0,137$	$1,531 \pm 0,372$
2.	Відсутнє мастило	Познач. навч. сукупності		ω_{21}	ω_{22}	ω_{23}	ω_{24}
		Оцінки середн. знач. коефіцієн.	k	$0,041 \pm 0,004$	$0,038 \pm 0,005$	$0,044 \pm 0,009$	$0,035 \pm 0,011$
			γ	$0,583 \pm 0,048$	$0,611 \pm 0,131$	$1,813 \pm 0,241$	$2,342 \pm 0,543$
3.	Перекіс	Познач. навч. сукупності		ω_{31}	ω_{32}	ω_{33}	ω_{34}
		Оцінки середн. знач. коефіцієн.	k	$0,037 \pm 0,003$	$0,035 \pm 0,010$	$0,036 \pm 0,011$	$0,032 \pm 0,006$
			γ	$1,007 \pm 0,111$	$1,171 \pm 0,173$	$2,331 \pm 0,255$	$3,007 \pm 0,743$
4.	Дефект внутр. кільця	Познач. навч. сукупності		ω_{41}	ω_{42}	ω_{43}	ω_{44}
		Оцінки середн. знач. коефіцієн.	k	$0,037 \pm 0,004$	$0,032 \pm 0,007$	$0,028 \pm 0,010$	$0,023 \pm 0,009$
			γ	$1,394 \pm 0,239$	$1,517 \pm 0,212$	$3,273 \pm 0,412$	$3,673 \pm 0,829$

*) Отримані значення оцінок коефіцієнтів асиметрії k слід помножити на множник 10^{-2} .

Для систематизації НС з метою їх подальшого зручного вибору у разі проведення діагностування ЕО ці сукупності можна представляти в матричній формі.

Сформовану множину діагностичних просторів Ω можна представити у такій матричній формі:

$$\Omega = \begin{pmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} & \omega_{14} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} & \omega_{24} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} & \omega_{34} \\ \omega_{41} & \omega_{42} & \omega_{43} & \omega_{44} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Оскільки дії з матрицями добре формалізовані [3], представлення (4) дає можливість дуже швидко здійснити вибір НС, яка відповідає як певному режиму роботи ЕО, так і певному технічному стану досліджуваного підшипника кочення.

За результатами вимірювання реалізацій вібрацій досліджуваних підшипників можна зазначити, що кількісні оцінки середніх значень коефіцієнтів асиметрії k не залежать від зміни як швидкісного режиму, так і перелічених у таблиці можливих дефектів. Тобто у цьому випадку коефіцієнт асиметрії k не виявився інформативною діагностичною ознакою. Отримані значення оцінок коефіцієнтів асиметрії k свідчать про симетричний характер кривої

розподілу експериментально отриманих на установці (рис. 1) значень віброприскорень підшипників кочення.

Отримані значення кількісних оцінок середніх значень коефіцієнтів ексцесу γ віброприскорень підшипників підтвердили їх інформативність у разі діагностування вказаних типів дефектів підшипників кочення, що працюють у певних швидкісних режимах. За даними таблиці можна відмітити підвищення середніх значень коефіцієнта ексцесу γ за наявності певних дефектів у досліджуваних підшипниках. Так, у разі фіксованої швидкості обертання вала $v_{об} = 250$ об/хв спостерігається поступове підвищення середніх значень коефіцієнта ексцесу γ досліджуваних віброприскорень за наявності різних дефектів підшипників (відсутність мастила, перекіс, дефект внутрішнього кільця) у порівнянні зі справним підшипником. Максимальних значень цей параметр набуває у випадку дефекту внутрішнього кільця підшипника. Підвищення значень оцінок коефіцієнта ексцесу γ віброприскорень підшипників за наявності дефектів свідчать про наявність у вібраціях останніх імпульсів зі значною амплітудою. Отримані дані підтверджують результати, наведені у роботах [1, 5, 6, 7].

Зміна швидкісних режимів установки призводить до суттєвої зміни кількісних оцінок коефіцієнта ексцесу γ віброприскорень підшипників. З таблиці видно, що у разі збільшення швидкості обертання вала спостерігається збільшення середніх значень оцінок коефіцієнта ексцесу γ . Максимальні значення цього параметра відмічаються у разі випробувань підшипників з дефектами внутрішнього кільця та у разі швидкості обертання вала $v_{об} = 1000$ об/хв.

Наведені у таблиці дані підтверджують необхідність врахування швидкісних режимів роботи підшипників кочення у разі проведення діагностування їх технічного стану. Згідно з [1, 3, 5] цю задачу можна розв'язати шляхом побудови навчальних сукупностей, що базуються на використанні значень досліджуваного параметра γ і які враховують водночас як типи можливих дефектів, так і швидкісний режим роботи підшипника кочення. Найкращим способом це можна зробити, якщо використати для формування навчальних сукупностей діагностичний простір, у якому координатами є найбільш інформативні діагностичні ознаки. Враховуючи експериментально отримані дані таблиці, в якості такого діагностичного простору може бути вибрана відома у статистиці діаграма Пірсона [1, 5].

Формування навчальних сукупностей у просторі пірсонівських кривих. Основні етапи завдання діагностування ЕО з використанням статистичних методів розглянуто в роботах [1, 5]. Коротко зупинимося на питаннях побудови і формування навчальних сукупностей (НС), які відповідають певним технічним станам досліджуваних підшипників кочення та режимам їх роботи. Для цього використаємо результати дослідження вібрацій підшипників, які наведено у таблиці.

Як показано в [1, 5, 6], коефіцієнти асиметрії k та ексцесу γ , що характеризують розподіл процесів вібрації різних вузлів ЕО, можуть бути використані як діагностичні ознаки для визначення технічного стану або ступеня навантаження вузлів ЕО.

Якщо замість коефіцієнтів k та γ скористатися пов'язаними з ними параметрами

$$\beta_1 = k^2, \beta_2 = \gamma + 3, \quad (5)$$

то як діагностичний простір можна вибрати площину (β_1, β_2) , в якій будується діаграма Пірсона [1, 5]. Коротко розглянемо питання формування в діагностичному просторі (β_1, β_2) НС, що відповідають різним технічним станам та різним швидкісним режимам випробування досліджуваного підшипника. Для цього встановимо межі зміни кількісних оцінок $\overline{\beta_1}$ і $\overline{\beta_2}$ залежно від виду дефекту та швидкісного режиму випробуваного підшипника. Риска над символом $\overline{\beta_1}$ означає оцінку параметра β_1 . Ця ж система позначень зберігається і для інших параметрів.

На рис. 2 представлено НС у діагностичному просторі (β_1, β_2) , сформовані за результатами дослідження реалізацій процесу вібрацій підшипника кочення, що має різні тех-

нічні стани і працює у різних швидкісних режимах. Кожна навчальна сукупність є еліпсом розсіювання [6], побудованим за точками, координатами яких є усереднені оцінки $\overline{\beta}_1$ і $\overline{\beta}_2$, де позначено: 1 – навчальна сукупність, що відповідає випробуванням умовно справного підшипника кочення; 2 – відсутнє мастило; 3 – перекіс; 4 – дефект внутрішнього кільця. Всі ці позначення збережено для НС, що сформовано для випробувань підшипника, працюючого у різних швидкісних режимах (рис. 2, *a–z*). Представлені на цих рисунках еліпси розсіювання були побудовані за результатами обробки від 85 до 100 вибірок експериментально виміряних реалізацій віброприскорень досліджуваних підшипників кочення, що випробувались на установці (рис. 1), і мали як різні технічні стани, так і випробувались у різних швидкісних режимах. Кожна з наведених на рис. 2 точок відповідає одній реалізації віброприскорень підшипника кочення, що мав одне із перелічених технічних станів і випробувався у чотирьох швидкісних режимах $v_{об} \in (250, 500, 750, 1000)$ об/хв. У свою чергу кожен із еліпсів розсіювання «покривав» своїми границями до 95 % експериментально отриманих точок, що відповідали певним умовам випробувань досліджуваних підшипників.

Порівняння розміщення НС на площині (β_1, β_2) показує їх суттєву залежність як від типу дефекту, так і від швидкісного режиму роботи установки (рис. 1). Тобто кожній НС слід поставити у відповідність певне позначення підмножини ω_{jn} , яка б поєднувала у собі інформацію як про технічний стан досліджуваного підшипника, так і про швидкісний режим його роботи.

Використання для формування НС діагностичного простору діаграми Пірсона з коор-

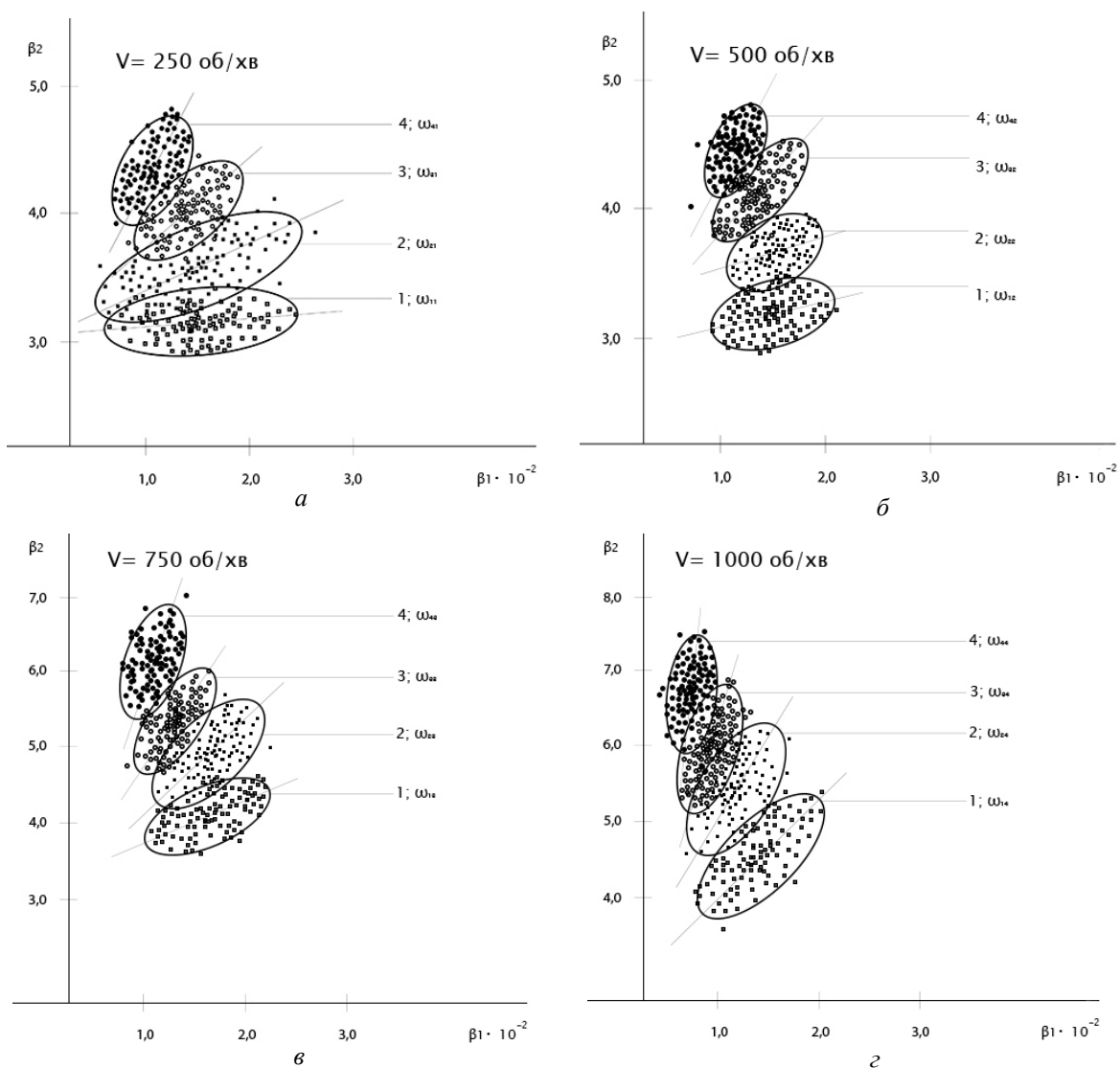


Рис. 2

динатами (β_1, β_2) дає можливість за отриманими координатами β_1 та β_2 визначити основні параметри і тип кривої розподілу, що відповідає отриманим експериментальним даним. Цей факт дає змогу більш точно проводити діагностування технічного стану досліджуваних об'єктів, оскільки крім β_1 та β_2 можна використовувати й інші параметри (наприклад, κ – каппа Пірсона, S та ін. [1, 5]), що характеризують розподіл у системі кривих Пірсона.

На основі проведених досліджень можна констатувати, що переважна більшість гістограм, побудованих за результатами обробки зареєстрованих реалізацій процесу вібрацій підшипників, апроксимувалась в основному четвертим та сьомим типами кривих з системи Пірсона [1, 5], тобто криві розподілу мали симетричний вигляд по відношенню до середнього значення із загостреною вершиною. Крім того, для переважної більшості експериментів відзначалося деяке збільшення (в середньому) оцінки коефіцієнта β_2 . Це пояснюється тим, що за появи дефектів (відсутність мастила, перекіс, дефекти внутрішнього кільця) у зареєстрованих реалізаціях процесу вібрацій, відзначається поява імпульсів зі значною амплітудою.

Висновки. За допомогою розробленого лабораторного зразка системи вібродіагностики вузлів електротехнічного обладнання вперше за експериментальними даними віброприскорень досліджуваних підшипників кочення сформовано навчальні сукупності, що відповідають водночас як певним технічним станам підшипників кочення, так і швидкісним режимам їх випробувань.

Вперше відповідно до розробленої математичної моделі запропоновано представлення навчальних сукупностей у вигляді матриці, елементи якої враховують водночас як можливий тип дефекту досліджуваного підшипника кочення, так і швидкісний режим його роботи.

Використання як діагностичного простору діаграми Пірсона дає можливість за результатами вимірювань вібрацій досліджуваних підшипників кочення отримати основні статистичні параметри, що характеризують розподіл експериментальних даних і тим самим підвищити точність формування навчаючих сукупностей і подальший результат діагнозу технічного стану досліджуваного об'єкта.

1. Бабак С.В., Мыслович М.В., Сысак Р.М. Статистическая диагностика электротехнического оборудования. Киев: Институт электродинамики НАН Украины. 2015. 456 с.
2. Герцик С.М., Гижко Ю.І., Мыслович М.В., Остапчук Л.Б., Сисак Р.М. Алгоритми функціонування та програмне забезпечення багаторівневої системи моніторингу стану та технічного діагностування обладнання об'єктів електроенергетики. *Технічна електродинаміка*. 2016. № 4. С. 86-88.
3. Герцик С.М., Мыслович М.В. Моделі формування навчаючих сукупностей для діагностування електротехнічного обладнання з урахуванням режимів його роботи. *Метрологія та прилади*. 2017. № 5-1(67). С. 94–97.
4. Мыслович М.В., Сисак Р.М. Про деякі особливості побудови інтелектуальних багаторівневих систем технічної діагностики електроенергетичних об'єктів. *Технічна електродинаміка*. 2015. № 1. С. 78–85.
5. Марченко Б.Г., Мыслович М.В. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин. Киев: Наукова думка. 1992. 96 с.
6. McInerney S.A., Dai Y. Basic Vibration Signal Processing for Bearing Fault Detection. *IEEE Transactions on Education*. 2003. Vol. 46, No 1. Pp. 149–156.
7. Immovilli F., Cocconcilli M. Experimental Investigation of Shaft Radial Load Effect on Bearing Fault Signatures Detection. *IEEE Transactions on Industry Applications*. Vol. 53, No.3. May/June 2017. Pp. 2721–2729.

УДК 621.314: 621.391

С.Н. Герцык, асп.

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ УЧЕБНЫХ СОВОКУПНОСТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ РЕЖИМОВ ЕГО РАБОТЫ

Предложено методы формирования пространств диагностических признаков исследуемого энергетического оборудования, которое работает в разных скоростных режимах. На примерах исследования вибраций подшипников качения электроэнергетических машин доказана необходимость формирования пространств диагностических признаков с учетом режимов работы исследуемых объектов. Получение экспериментальных данных выполнено с использованием лабораторного образца системы вибродиагностики узлов электроэнергетического оборудования. Библиограф. 7, рис. 2, таблица.

Ключевые слова: электроэнергетическое оборудование, системы диагностики, режимы работы ЭО.

S.M. Hertsyk

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine

FORMATION OF EDUCATIONAL TEACHINGS FOR DIAGNOSTIC SYSTEMS ELECTRIC POWER EQUIPMENT TAKING INTO ACCOUNT THE MODES OF ITS WORK

Methods are proposed for the formation of diagnostic signs of the studied power equipment, which operates in different speed modes. Using the examples of studying vibrations of rolling bearings of electric power machines, it is proved that it is necessary to form spaces of diagnostic signs taking into account the operating modes of the objects under study. Obtaining the experimental data was performed using a laboratory sample of the vibrodiagnostics system of electric power equipment nodes. References 7, figures 2, table.

Key words: electric power equipment, diagnostic systems, operating modes of electrotechnical equipment.

1. Babak S.V., Myslovich M.V., Sysak R.M. Statistical diagnostics of electrical equipment. Kyiv: Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine. 2015. 456 p. (Rus)
2. Hertsyk S.M., Gyzko Yu.I., Myslovych M.V., Ostapchuk L.B., Sysak R.M. Functional Algorithms and Software for Multi-level System Monitoring and Technical Diagnostics of Electrical Equipment Facilities. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2016. No 4. Pp. 86–88. (Ukr)
3. Hertsyk S.M., Myslovych M.V. Models of training sets for the diagnosis of electrical equipment, considering the modes of its work. *Metrologia ta prylady*. 2017. No 5-1(67). P. 94–97. (Ukr)
4. Myslovych M.V., Sysak R.M. Some peculiarities of construction of intelligent multilevel systems of technical diagnostics of electric power objects. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2015. No 1. Pp. 78–85. (Ukr)
5. Marchenko B.G., Myslovich M.V. Vibrodiagnostics of bearing units of electric machines. Kyiv: Naukova dumka. 1992. 96 p. (Rus)
6. McInerney S.A., Dai Y. Basic Vibration Signal Processing for Bearing Fault Detection. *IEEE Transactions on Education*. 2003. Vol. 46, No 1. Pp. 149–156.
7. Immovilli F., Cocconcelli M. Experimental Investigation of Shaft Radial Load Effect on Bearing Fault Signatures Detection. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 53, No 3. May/June 2017. P. 2721–2729.

Надійшла 08.02.2019
Received 08.02.2019