

і можна амплітуду та фазу додаткового дисбалансу (D_1, ξ_1) підібрати так, щоб звести перший член виразу (6) до нуля і, тим самим, значно зменшити сумарні коливання швидкості носія інформації з частотою обертання вузла ведучого вала [3]. Спектр коливань носія інформації при експериментально підбраному додатковому дисбалансі, який компенсує вплив першої гармоніки і дозволяє зменшити коефіцієнт детонації (для досліджуваного механізму з 0,12 до 0,08 %), наведений на рис. 1,б.

Такий підхід може бути ефективним при налагодженні механізмів транспортування стрічкових носіїв інформації вищих класів, з метою покращення їх якісних характеристик.

1. Худоба В.М., Кузьмінський В.Є. Експериментальне дослідження спектра коливного процесу механізму транспортування стрічки // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 1999. № 232. С.89-91.
2. Ден-Гартог Дж.П. Механические колебания. М., 1960.
3. Кузьмінський В.Є., Худоба В.М. Сумарний вплив збурюючих факторів на динаміку вузла ведучого вала // Технічні вісті. Львів, 1999. 1(8)-2(9).

УДК 621.311.2.002.5:534.647(-87)

ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИЦЕВИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ДЕФЕКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

© Погрібний В.О.*, Рожанківський І.В.** **, Грень Я.В.** **, 1999

* Інститут телекомунікації Сільськогосподарсько-технічної академії, Бидгощ, Польща ;

** ДУ «Львівська політехніка», кафедра «Автоматизація комплексної механізації»

У роботі обговорюються результати вимірювань вібраційних сигналів енергетичного обладнання та оброблення цих сигналів у часовій та частотній областях на основі різницевих підходів. Як приклад наводяться діагностичні ознаки неправильного встановлення прилеглої поверхні підшипника турбіни К-200-130.

Під діагностичним контролем технічного стану розуміють, як правило, неперервне оброблення та аналіз вимірювань різноманітних параметрів обладнання, що спрямовані на виявлення та своєчасне усунення дефектів, які можуть виникати під час роботи цього обладнання. Серед різноманітних методів контролю важливе місце займає вібраційна діагностика. Остання, як показує практика, досить ефективна для виявлення дефектів та попередження аварій на обертовому обладнанні електростанцій [1, 2]. До таких дефектів належать: дисбаланс та прогин ротора, обрив робочої лопатки або її частини, поперечна тріщина в роторі, розцентрування опор, неспіввісність муфт, пошкодження зубчастих передач та підшипників, механічна нещільність у з'єднаннях тощо.

Для виявлення дефектів та автоматизації діагностичного контролю доцільно застосувати запропоновані в [3, 4] різницеві методи оброблення сигналів в часовій та частотній областях. У даній роботі обговорюються результати вимірювань вібраційних сигналів енергетичного обладнання та оброблення цих сигналів у часовій та частотній областях на основі запропонованих у [3, 4] різницевих підходів.

Один із серії експериментів, що проводилися для виявлення ознак різноманітних дефектів енергетичного обладнання великої потужності, здійснено 11 листопада 1998р. на турбогенераторі ТГ-9 Бурштинської ТЕС. За допомогою розробленої авторами вібровимірювальної системи вимірювалися вібрації підшипника № 2 турбіни К-200-130 ЛМЗ. Місцевстановлення первинного перетворювача вказане стрілкою на рис.1. Структура вібровимірювальної системи (рис.2) складається з первинного перетворювача VS-080 та приладу VIBROTEST 30 виробництва фірми SCHENCK, 16-ти розрядного аналого-цифрового перетворювача ES-1868, персонального комп'ютера та програмного забезпечення розробленого на основі вищевказаних різницевих методів оброблення сигналів.

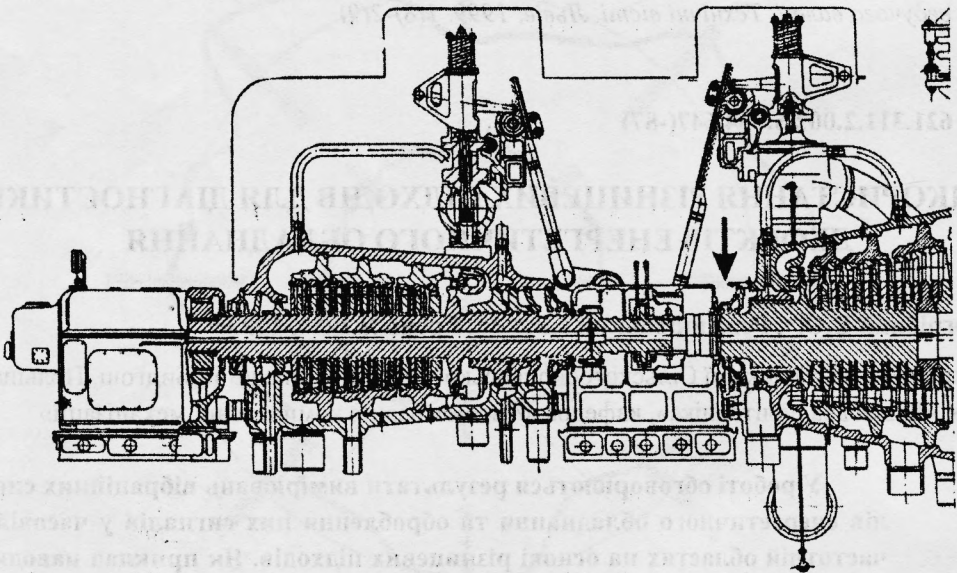


Рис.1. Фрагмент турбіни К-200-130 ЛМЗ
(місце кріплення первинного перетворювача вказане стрілкою).

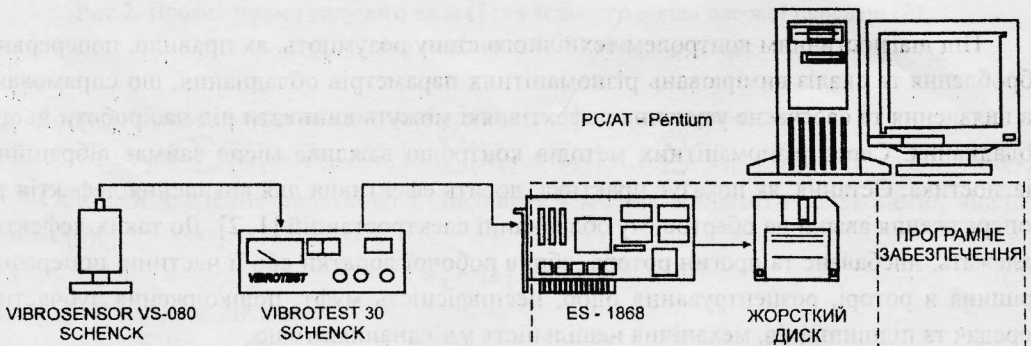


Рис.2. Вібровимірювальна система.

Різницеві методи оброблення сигналів передбачають пошук відмінностей між характеристиками вимірних та взірцевих сигналів в часовій та частотній областях [4]. Вони дозволяють виявити аномалії в роботі обладнання.

У часовій області корисними є відмінності між оцінками кореляційної функції (КФ) досліджуваної реалізації сигналу та взірцевої КФ, за яку вважають таку КФ, що усереднена за n реалізаціями випадкового сигналу, отриманими при вимірюваннях на справному (без дефектів) обладнанні.

Оцінку автокореляційної функції $\hat{K}_{xx}(m)$ однієї реалізації для $m = \overline{0, P}$ часових зсувів знаходимо з виразу

$$\hat{K}_{xx}(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{k=0}^{N-m-1} x_k x_{k+m}, \quad (1)$$

$$x_i = x_i - \bar{x}, \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i,$$

де x_i – відліки досліджуваного сигналу, P – інтервал кореляції, $NT = \theta$ – тривалість реалізації випадкового сигналу, T^{-1} – частота дискретизації.

Тоді різниця КФ дорівнює

$$\Delta K_{xx}(m) = \overline{\hat{K}_{xx}(m)} - \hat{K}_{xx}(m), \quad (2)$$

де

$$\overline{\hat{K}_{xx}(m)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{K}_{xx}(m))_i. \quad (3)$$

У частотній області пропонується шукати різницю оцінок спектрів потужності

$$\Delta G_{xx}(k) = \overline{\hat{G}_{xx}(k)} - \hat{G}_{xx}(k), \quad (4)$$

отриманих з кореляційних функцій (1), (3) за допомогою перетворення Вінера-Хінчина

$$\hat{G}_{xx}(k) = \sum_{m=0}^P \hat{K}_{xx}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{P+1} mk\right) \quad (5)$$

для $k = \overline{1, P}$ частот.

При автоматизації діагностичного контролю різниці (2), (4) потрібні для прийняття рішення про відсутність або появу дефектів в працюючому обладнанні.

На основі виразів (1)-(5) здійснювалося оброблення вібро сигналів, отриманих під час усіх експериментів. Експеримент від 11.11.98 р. характерний тим, що при його проведенні був виявлений дефект, який появився під час ремонтно-профілактичних робіт у результаті перекошення прилеглої поверхні підшипника № 2. Цей дефект був виявлений тільки при наступній ревізії підшипника на зупиненому обладнанні.

На рис.3 зображено віброграму підшипника з дефектом. Для порівняння на рис.4 показана віброграма цього ж підшипника після усунення несправності. У верхніх частинах рис.3 і 4 зображені початкові ділянки віброграм у збільшеному масштабі часу.

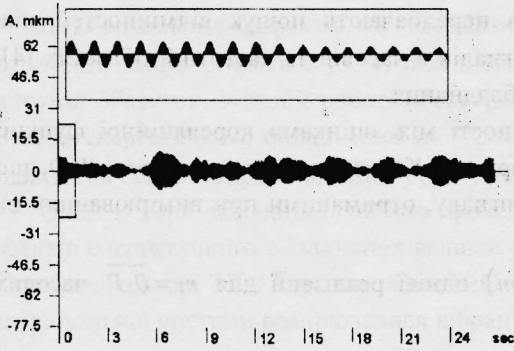


Рис.3. Вібросигнал підшипника з дефектом.

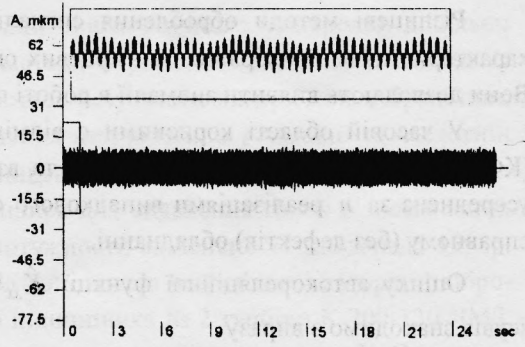
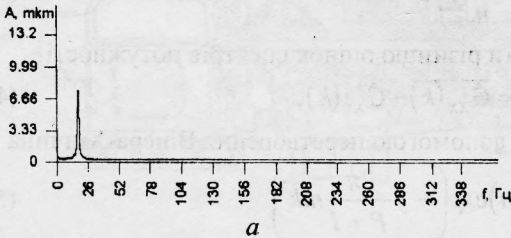


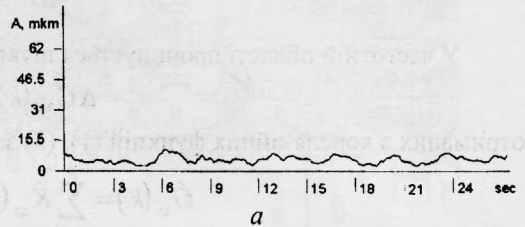
Рис.4. Вібросигнал справного підшипника.

Спектр коливання несправного підшипника (рис.5,а) характеризується наявністю складової, частота якої майже втричі менша за обертову і дорівнює приблизно 16,6 Гц. Спектр коливання після усунення дефекту подано на рис.5,б. Наявність 33 %-ї складової в спектрі коливання може свідчити також про “масляну” вібрацію. Тому для встановлення причини вібрації, крім спектра, слід використати інші діагностичні критерії.

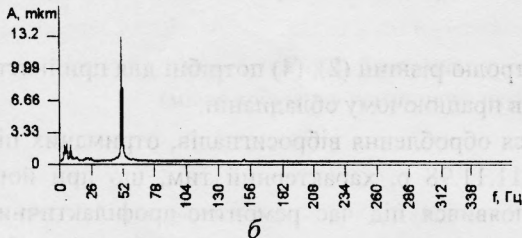
Амплітуда цієї 33 %-ї гармоніки постійно змінюється через значну амплітудну модуляцію вібраційного сигналу. В такому випадку більш інформативними, щодо даного дефекту, будуть результати оброблення не самого вібросигналу, а його огинаючих, які зображені на рис.6.



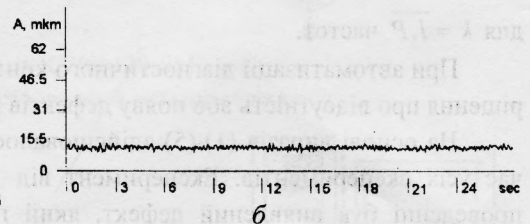
а



а



б



б

Рис.5. Спектр сигналу несправного (а) та справного (б) підшипників.

Рис.6. Огинаюча сигналу несправного (а) та справного (б) підшипників.

На рис.7, 8 зображені нормовані кореляційні функції огинаючих вібраційних сигналів підшипника відповідно з дефектом та справного.

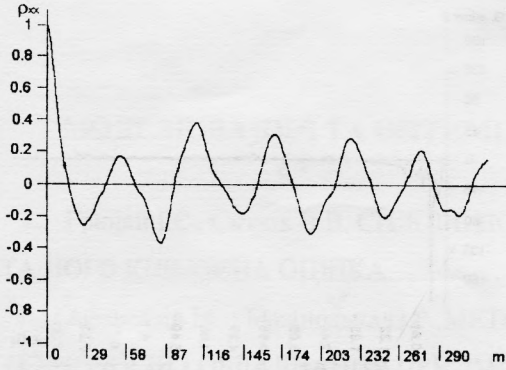


Рис.7. Нормована кореляційна функція огинаючої коливання несправного підшипника.

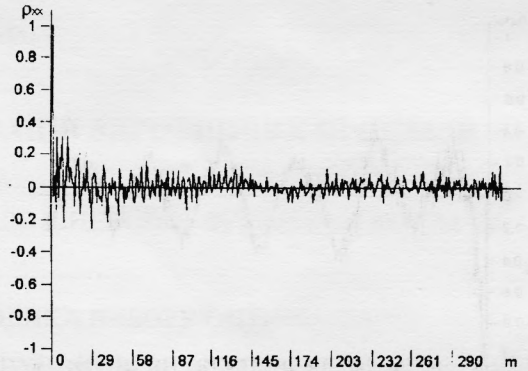


Рис.8. Нормована кореляційна функція огинаючої коливання справного підшипника.

Нормовану кореляційну функцію визначаємо як:

$$\rho_{xx}(m) = \frac{K_{xx}(m)}{K_{xx}(0)}$$

Слід відзначити, що кореляційна функція огинаючої підшипника з перекошеною поверхнею прилягання характеризується чітко виявленою періодичністю, а випадкова складова приблизно вдвічі перевищує детерміновану. При цьому детермінована складова згасає дуже повільно. В цей же час випадкова складова огинаючої коливання справного підшипника значно перевищує детерміновану складову, яка згасає набагато швидше.

На рис.9 і 10 зображені оцінки спектрів потужності огинаючих, отриманих з КФ на основі (5). Основна частина енергії огинаючої коливання підшипника з дефектом (рис.9) зосереджена в області низьких частот, у той час як у справного підшипника (рис.10) енергія огинаючої практично рівномірно розподілена по всій ширині спектра.

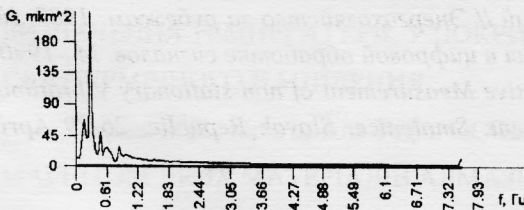


Рис.9. Спектр потужності огинаючої кривої підшипника з дефектом.

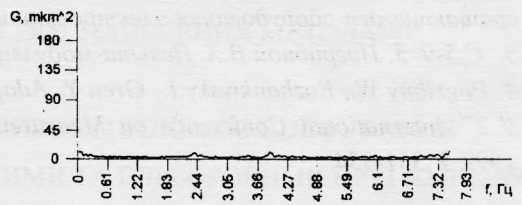


Рис.10. Спектр потужності огинаючої кривої справного.

Зміни у характері кореляційної функції та спектра потужності добре проявляються на різницевих кореляційній функції (рис.11) та спектрі потужності (рис.12). Рис.11 ілюструє характерну ознаку перекошення прилеглої поверхні підшипників у часовій області. Введення цієї ознаки в банк даних дозволить виявляти вказаний дефект в автоматичному режимі під час наступного вібродіагностування обладнання.

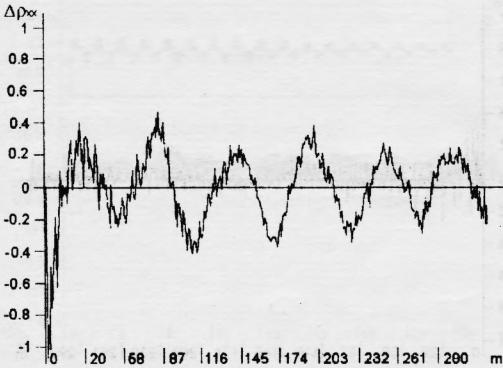


Рис.11. Різниця кореляційних функцій справного та несправного підшипника

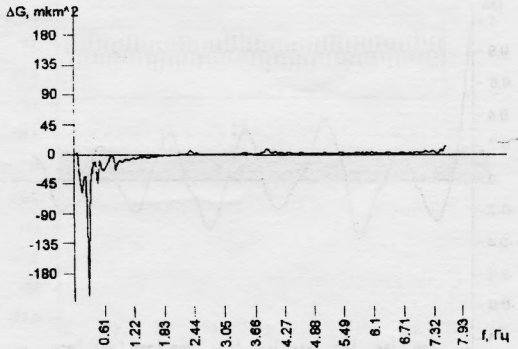


Рис.12. Різниця спектрів потужності кореляційних функцій справного та несправного підшипника.

Зміна розподілу енергії по частотах огинаючої добре проглядається на рис. 12. Зокрема, наявність великих від'ємних складових у низькочастотній частині спектра свідчить про їхнє переважання в спектрі огинаючої несправного підшипника. Це дає можливість розв'язувальному пристрою формувати сигнал про наявність дефекту, а порівняльний аналіз з існуючими в банку даних ознаками дозволить ідентифікувати його.

Наведені різницеві методи аналізу є зручними для застосування в автоматизованих системах моніторингу та діагностики технічного стану обертового обладнання, а виявлені ознаки перекошення прилеглої поверхні підшипника турбіни (К-200-130 ЛМЗ) будуть корисними для розробників подібних систем, експлуатаційного та ремонтного персоналу електростанцій.

1. *Вибрация в технике: Справочник. В 6 т. М., 1981. Т.5. Измерения и испытания / Под ред. М.Д.Генкина. 1981. 496 с. 2. Зеле А.З., Лимар С.А. Вибрационная диагностика вращающегося оборудования электростанций // Энергохозяйство за рубежом. 1987. № 3. С.5-9. 3. Погрибной В.А. Дельта-модуляция в цифровой обработке сигналов. М., 1990.*
4. *Pogribny W., Rozhankivsky I., Gren Y. Adaptive Measurement of non-stationary Vibrations // 2nd International Conference on Measurement. Smolenice, Slovak Republic. 26-29 April 1999. P.331-334.*