

УДК 621.822

Ширін І. К., Шеремет О. І., Івченков М. В.

ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ПІДШИПНИКІВ ТА ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ SIEMENS SIPLUS CMS ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАНЬОГО КОНТРОЛЮ ПОШКОДЖЕНЬ

Підшипник кочення є найбільш поширеним елементом конструкції будь-якого роторного механізму та, в той же час, найбільш вразливим елементом, який визначає працездатність і довговічність електромеханічної системи [1].

Підшипник кочення – це вузол, який використовується для утримання рухомих конструкцій. Даний вид кріплення використовується досить давно, проте за статистикою використання підшипників [2] тільки 10 % деградують внаслідок природного зносу, інші – через неправильне встановлення або з експлуатаційних причин. Вібродіагностика дозволяє виявляти такі дефекти підшипників кочення [3]:

- дефекти внутрішньої і зовнішньої доріжок;
- дефекти елементів кочення;
- дефекти сепаратора;
- дефекти мастила.

Дефекти підшипників можуть призвести до виходу з ладу механічного вузла або машини в цілому, що в умовах серійного виробництва призводить до значних збитків для підприємства. Тому останнім часом з'являються такі системи раннього контролю виходу обладнання з ладу, як SIEMENS SIPLUS CMS, що працює спільно з MindSphere (хмарна операційна система для промислового інтернету речей – ПоТ) та відкриває абсолютно нові можливості. Потужна хмарна платформа призначена для аналізу великого обсягу даних і дозволяє контролювати парк машин по всьому світу з метою обслуговування, щоб скоротити час їх простою.

Метою роботи є здійснення огляду сучасних методів вібродіагностики підшипників та розгляд перспектив застосування системи SIEMENS SIPLUS CMS для забезпечення раннього контролю пошкоджень.

Сучасні алгоритми вібродіагностики складаються з трьох основних етапів [4]: попередня обробка сигналу, формування системи ознак, класифікація сигналу на основі системи ознак.

Попередня обробка сигналу є першим кроком у вирішенні поставленого завдання. На даному етапі створюється зображення сигналу, необхідне для подальшої обробки. Метою даного етапу є представлення сигналу в формі, зручній для подальшого аналізу.

Найбільш складним завданням є створення системи ознак, спираючись на яку можна визначити існування і характер пошкодження підшипника з прийнятною похибкою. Дане завдання є основним в сучасних алгоритмах вібродіагностики підшипників кочення. Шукана система ознак повинна бути стійка до появи шумів в сигналі.

Третій етап є схожим для більшості алгоритмів і в основному розглядається як завершальний крок. Даний етап здійснюється шляхом використання існуючих класифікаторів, варіації яких можуть впливати на точність кінцевих результатів.

Найбільш важливим етапом є створення системи ознак. Сучасні методи вібродіагностики можна розділити на кілька видів, які виділяють в оброблюваному сигналі наступні характеристики:

- частотні;
- частотно-часові;
- часові.

Методи вібродіагностики засновані на використанні частотних характеристик сигналу, вони зазвичай аналізують високочастотні ділянки і виконують пошук повторень даних ділянок. Рішення задачі за допомогою даного підходу ускладнює той факт, що періодичність сигналу може бути слабо вираженою. Головним недоліком методів, що використовують даний підхід є схильність до усереднення спостережуваних характеристик, що призводить до зниження ефективності при появі шуму у спостережуваному сигналі. Найбільш відомими і популярними є:

- високочастотний резонансний метод (HFRT) [5];
- метод аналізу обвідної (envelope analysis) [6].

Методи вібродіагностики, що використовують в якості простору ознак описи частотно-часових характеристик, усувають недоліки частотних методів, шляхом спостереження зміни частотних характеристик сигналу в часі. Типовими прикладами такого аналізу є:

- віконне перетворення Фур'є (STFT) [7];
- вейвлет-перетворення (WT) [8];
- перетворення Вігнера-Вілла (WVD) [9].

Методи, що використовують часові характеристики сигналу, часто вводять характеристичні параметри, наприклад такі, як піковий рівень, середньоквадратичне відхилення значень, підрахунок ударного імпульсу, ковзне середнє значення та інші параметри. Класифікація найбільш розповсюджених методів вібродіагностики представлена на рис. 1.

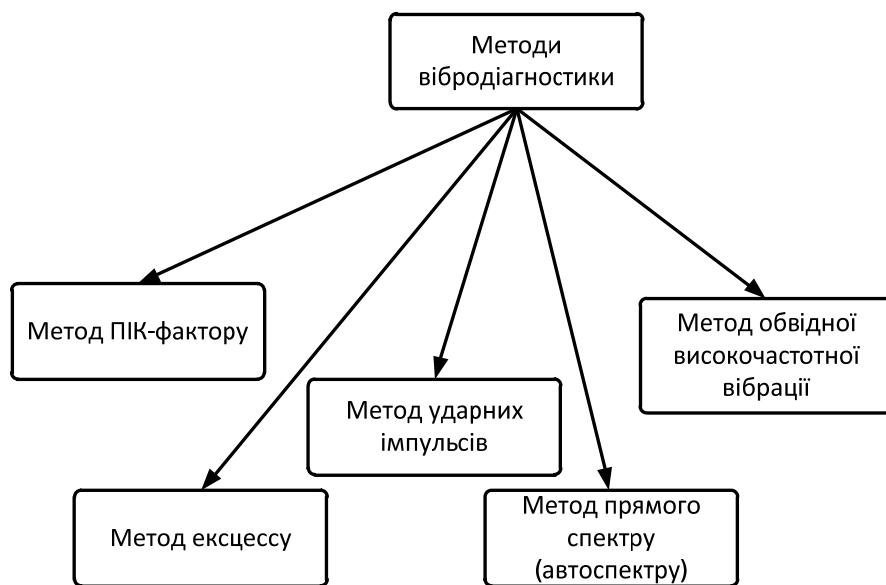


Рис. 1. Класифікація найбільш розповсюджених методів вібродіагностики

Метод ПІК-фактору відрізняється простотою реалізацією і полягає в періодичному контролі двох параметрів вібрації: середньоквадратичного значення (СКЗ) віброприскорення і піку амплітуди віброприскорення (позитивного, негативного чи розмаху). З розвитком дефекту крива піку амплітуди монотонно зростає, аналогічне зростання, але з відставанням за часом, показує і крива СКЗ. Самі по собі криві піку і СКЗ малоінформативні, чого не можна сказати про ПІК-фактор, який має виражений максимум.

Метод ексцесу використовує статистичну величину, що характеризує відхилення щільності ймовірності миттєвих значень вібрації від нормального розподілу (розподілу Гауса). Ексцес прийнято характеризувати коефіцієнтом ексцесу = (тут четвертий центральний момент – дисперсія випадкової величини). При появі в підшипнику мікро- і макроударів, крива щільності ймовірності приймає більш гостровершинний характер (рис. 2) і за значенням коефіцієнта ексцесу можна судити про ступінь розвитку дефекту.

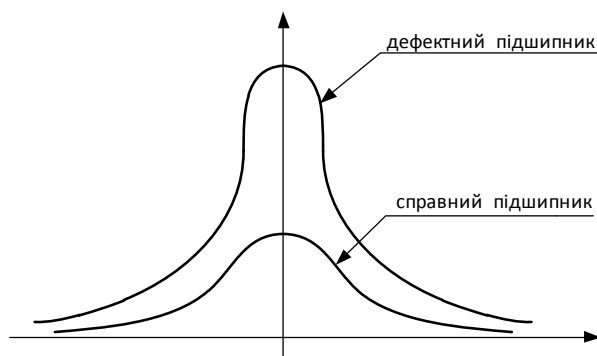


Рис. 2. Екセス, що характеризує працездатність підшипника

Ударні імпульси – імпульси малої енергії, що генеруються на частотах 28–32 кГц зіткненнями деталей підшипника і змінами тиску в зоні кочення підшипників. У разі роботи справного підшипника спостерігається деякий «килимовий» фон ударних імпульсів, що генерується силами тертя. При пошкодженнях підшипника в часовій реалізації ударних імпульсів з'являються пікові значення, причому амплітуда піків тим більше, чим більше швидкість зіткнень і більш сильно розвинений той чи інший дефект. Таким чином, за піковими амплітудам ударних імпульсів можна достовірно діагностувати наявність і глибину дефектів.

Метод прямого спектра (автоспектра) полягає в аналізі частотних спектрів, одержуваних за допомогою віброаналізаторів. Амплітудні сплески, які спостерігаються на автоспектрі, несуть корисну діагностичну інформацію, оскільки вони породжуються дефектами досліджуваного обладнання (рис. 3). Кожному виду дефекту відповідають свої гармоніки, які однозначно прораховуються в залежності від кінематики і швидкості обертання обладнання. За наявністю в спектрі тих чи інших гармонік визначають виникнення відповідного дефекту, а по амплітуді гармонік – розраховують ступінь розвитку дефекту. Даний метод має високу перешкодозахисненість та інформативність і в даний час є одним з найбільш використовуваних. Відносний недолік методу – неможливість виявлення дефектів на ранній стадії розвитку.

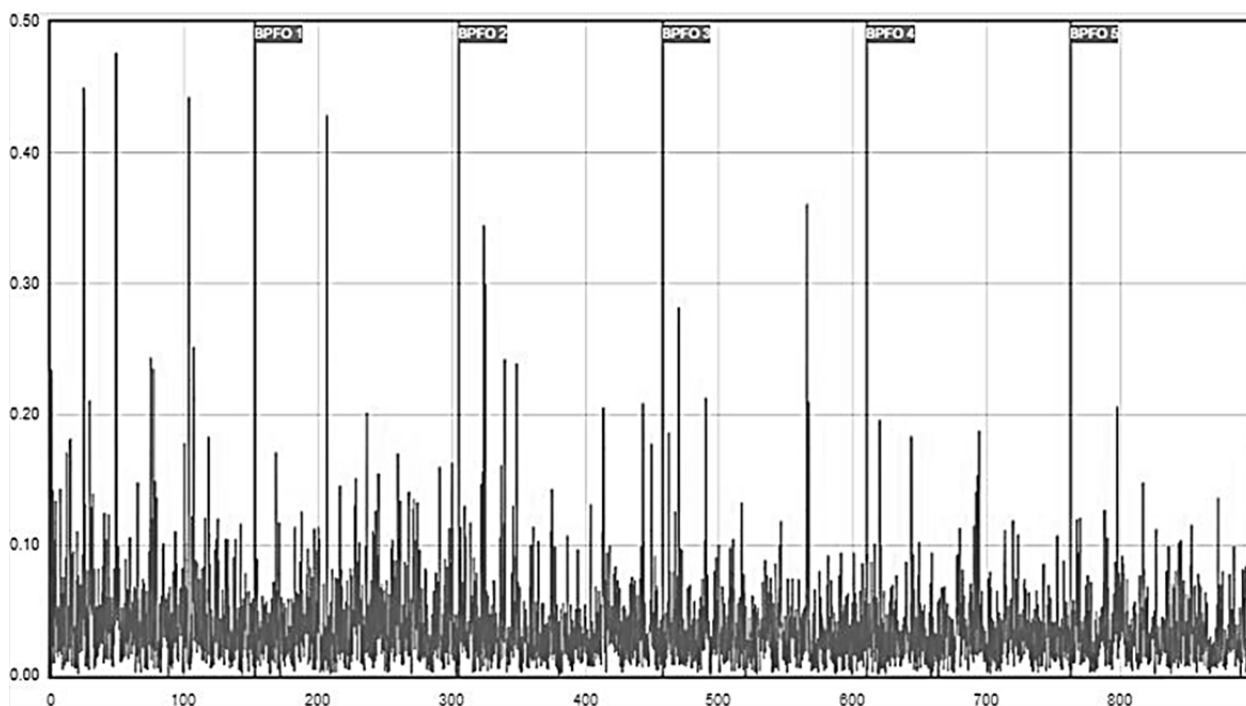


Рис. 3. Приклад прямого спектру, що спостерігається при пошкодженні зовнішнього кільця підшипника (BPFO)

Якщо детально розглянути частотний характер високочастотної частини спектра вібрації, то можна помітити її модуляцію деяким низькочастотним сигналом. Ця низькочастотна модулююча складова несе в собі максимум діагностичної інформації. На цьому факті заснований метод обвідної високочастотної вібрації, в якому за допомогою електроніки (смугового фільтра і детектора) виділяють низькочастотну складову із загального спектра високочастотної вібрації і проводять її частотний аналіз. При відсутності дефектів спектр обвідної представляється майже гладкою кривою. Можливість виявлення дефектів в стадії зародження – найголовніша перевага методу обвідної.

Більшість із розглянутих методів вібродіагностики є доступною у системі SIEMENS SIPLUS CMS [10], яка записує і аналізує механічні змінні, отримані з машин, інтегрує їх в предметну область автоматизації і надає допоміжні засоби для прийняття рішень обслуговуючому персоналу, операторам і керівництву. Відкрита архітектура системи і ефективна взаємодія між усіма компонентами автоматизації дозволяють контролювати стан механічних компонентів на всіх рівнях. При такому підході центри управління можуть уважно стежити за актуальною інформацією про перебіг технологічного процесу. У разі відхилення від норми можна швидко оцінити, наскільки максимально можна продовжити безпечну експлуатацію.

Зазвичай за декілька хвилин до виходу підшипника з ладу візуально цей факт можна зафіксувати за рахунок з'явлення диму, за декілька днів – перегріву, за тижні – шумів. Система ж SIEMENS SIPLUS CMS дозволяє не допустити виникнення можливої аварійної ситуації за рахунок попередження оператора про проблемну ситуацію за декілька місяців (рис. 4).



Рис. 4. Можливості контролю стану підшипників за допомогою SIPLUS CMS

Система SIPLUS CMS серії 1000 (рис. 5) складається з компактного модуля захисту підшипника і датчика віброприскорення в захищеному промисловому виконанні. Основними відмітними особливостями цієї компактної системи є простота монтажу, обслуговування і моніторингу.

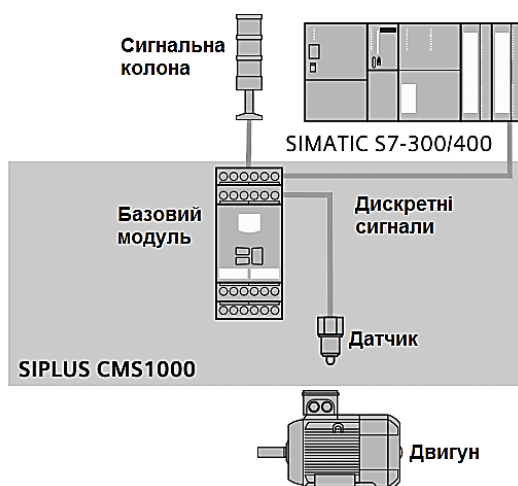


Рис. 5. Основні компоненти системи SIEMENS SIPLUS CMS

Основні переваги системи SIEMENS SIPLUS CMS:

- простий моніторинг підшипників;
- виявлення дисбалансу, порушення розташування і монтажу;
- дисплей для відображення статусу діагностики;
- вся необхідна діагностика зосереджена в одному пристрої;
- відсутність необхідності в спеціальних знаннях для роботи з системою;
- швидкий і простий монтаж.

Основною перевагою застосування системи SIEMENS SIPLUS CMS є зниження часу простою – найбільш ефективний підхід для збільшення продуктивності підприємства. Саме тому виявлення потенційних причин зупинок і вжиття запобіжних заходів по їх обслуговуванню в зручний для виробничого циклу час, є суттєво важливим.

Система для забезпечення раннього контролю пошкоджень SIEMENS SIPLUS CMS – це ідеальне рішення для моніторингу механічних складових електромеханічних систем. Вона надає можливість постійно бачити оцінки стану механічної частини і системи в цілому. Такий підхід дозволяє виробляти предикативне обслуговування у відведений для цього час в рамках, наприклад, планової зупинки виробництва.

ВИСНОВКИ

Існує велика кількість різноманітних методів вібродіагностики підшипників, проте, навіть за наявності змістовної теоретичної бази, жоден з цих методів не має практичного сенсу без технічної системи, що його реалізує на технічному об'єкті. Однією з найбільш розвинутих і сучасних систем для забезпечення раннього контролю пошкоджень є SIEMENS SIPLUS CMS, що зарекомендувала себе в самих різних застосуваннях по всьому світу і, завдяки розширеним можливостям безперервного контролю стану машин, підшипників і механічних вузлів, застосовується в багатьох галузях, що призводить до значного збільшення часу безперервної роботи виробництв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Повреждения подшипников : Подшипник.ру УФА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pkufa.ru/support/defects>.
2. Черменский О. Н. Подшипники качения. Справочник-каталог / О. Н. Черменский, Н. Н. Федотов. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.
3. Генкин М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М. Д. Генкин, А. Г. Соколова. – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.
4. Li C. J. On-line detection of localized defects in bearings by pattern recognition analysis / C. J. Li, S. Wu // *Journal of engineering for industry*. – 1989. – Т. 111, № 4. – P. 331–336.
5. McFadden P. Vibration monitoring of rolling element bearings by the high-frequency resonance technique – a review / P. McFadden, J. Smith // *Tribology international*. – 1984. – Т. 17, № 1. – P. 3–10.
6. A new procedure for using envelope analysis for rolling element bearing diagnostics in variable operating conditions / P. Borghesani [and other] // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2013. – Т. 38, № 1. – P. 23–35.
7. Brotherton T. Applications of time-frequency and timescale representations to fault detection and classification / T. Brotherton, T. Pollard, D. Jones // *Time-Frequency and Time-Scale Analysis*. – 1992. – *Proceedings of the IEEE-SP International Symposium*. – IEEE. 1992. – P. 95–98.
8. Lou X. Bearing fault diagnosis based on wavelet transform and fuzzy inference / X. Lou, K. A. Loparo // *Mechanical systems and signal processing*. – 2004. – Т. 18, № 5. – P. 1077–1095.
9. Li H. Wigner-Ville Distribution based on EMD for faults diagnosis of bearing / H. Li, H. Zheng, L. Tang // *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. – Springer, 2006. – P. 803–812.
10. SIPLUS CMS – шаг вперед для вашего производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens.com/ru/ru/home/produkty/avtomatizacia/specialnoe-primenenie/siplus-cms.html>.