



Борисюк Д. В.
Твердохліб І. В.
Полєвода Ю. А.

*Вінницький
національний
аграрний
університет*

Borysyuk D. V.
Tverdokhlib I. V.
Polyevoda Y. A.

*Vinnitsia National
Agrarian University*

УДК 62-752 (075.8)

Особливості вібродіагностики низькооберткових підшипників кочення

Анотація. У статті пропонується розглянути основні особливості діагностики низькооберткових підшипників кочення. Вказано випадки під час яких ускладнюється процес діагностики низькооберткових підшипників кочення. Коротко описані основні етапи появи дефектів у підшипників кочення та їх характеристика та наслідки.

Подано характеристику методів діагностики низькооберткових підшипників кочення, їх переваги та недоліки. Сформовано список дефектів, які визначаються певним методом діагностики. Детально розглянуто проблеми діагностики низькооберткових підшипників, а саме ускладнення процесу виділення високочастотної вібрації із загальної картини. Приведено експериментальні результати діагностування низькооберткових підшипників. Продемонстрована смуга частот сигналу вібрації. Запропоновано методуку для уникнення перешкод для визначення обвідної смуги частот сигналу вібрації. Визначено найважливіші критерії якості діагностики підшипників, у тому числі і низько оберткових.

Ключові слова: вібрація, удар, шум, сигнал, дефект, підшипник, високочастотна вібрація, віброакустична діагностика.

Вступ. Практичні задачі діагностики підшипників кочення в процесі експлуатації розв'язуються трьома способами: використанням алгоритмів виявлення дефектів за зростанням температури підшипникового вузла, за появою в мастилi продуктів зносу, за зміною властивостей вібрації (шуму) [1].

Найбільш повна і детальна діагностика підшипників з виявленням дефектів на ранніх стадіях виконується за сигналом вібрації підшипника.

Основні проблеми вібродіагностики виникають у двох випадках: коли високочастотна вібрація є дуже слабкою і коли утруднений доступ до місця її розташування.

Дефекти підшипників кочення з'являються на трьох основних етапах: у процесі виготовлення, при встановленні підшипника, при зносі підшипника в процесі експлуатації [2].

Типові дефекти виготовлення, до яких належать плавні відхилення від розрахункових, легше виявити при вихідному контролі.

За низькочастотною вібрацією опор верстата визначають дефект підшипникових вузлів електричної машини [3].

Для виявлення таких прихованих дефектів виготовлення, як тріщини, що приводять до появи ударних імпульсів, можна використати вимірювання високочастотного шуму підшипника в ближній зоні випромінювання.

Типові дефекти монтажу підшипника, що спричиняють значне збільшення локальних навантажень на поверхню кочення і зменшення товщини мастила в точках прикладення цих навантажень, частіше за все виявляються при зростанні вібрації підшипникового вузла [4].

У вібродіагностиці підшипників низькооберткових машин застосовується один із підходів: амплітудно-часових або вібраційних характеристик. Відповідно виникає проблема розділення підшипникових складових вібрації з вібрацією, що дійшла до точки контролю з інших вузлів машини.

Інші проблеми пов'язані з низьким рівнем підшипникової вібрації, амплітуда якої в першому наближенні пропорційна квадрату частоти обертання підшипника.

Задачі частотного розділення складових підшипникової вібрації, які відрізняються на $\Delta\omega$ та знаходяться на одному періоді несучої



частоти, можливо розв'язати при використанні спеціальної апаратури "Місяць" [4].

Дефекти, що виникають у підшипниках кочення під час експлуатації, насамперед, змінюють сили тертя. Ударні імпульси від контакту поверхонь кочення можна розглядати як одну із складових сил тертя. Якщо дефект стає аварійно небезпечним, то його вплив на низькочастотні вібрації електричних машин достатній для визначення причин вібрації [2].

При діагностиці підшипників низькообертової машини в процесі її експлуатації виникає ряд проблем, що вимагають ускладнення методів виявлення дефектів і вимірювальної апаратури. Це пов'язано з низькою частотою вібрації і тим, що її поширення по машині відбувається швидше, ніж високочастотної вібрації, і високим рівнем вібрації, яка розповсюджується від іншого обладнання електричних машин або від інших машин, установлених на одній основі.

Оскільки зі зменшенням швидкості обертання деталей машин вібрація на високих частотах спадає набагато швидше, ніж на середніх і низьких, то необхідно поліпшувати наступні якості: лінійність, чутливість, діапазон вимірювання.

У цьому випадку високочастотні складові, що виділяються з сигналу, перевищують власні шуми вимірювальних приладів і шуми

спотворення, які часто перевищують високочастотні складові в 1000 і більше разів.

Для діагностики підшипників кочення за низькочастотною складовою вібрації потрібне вимірювальне обладнання з високою роздільною здатністю [3].

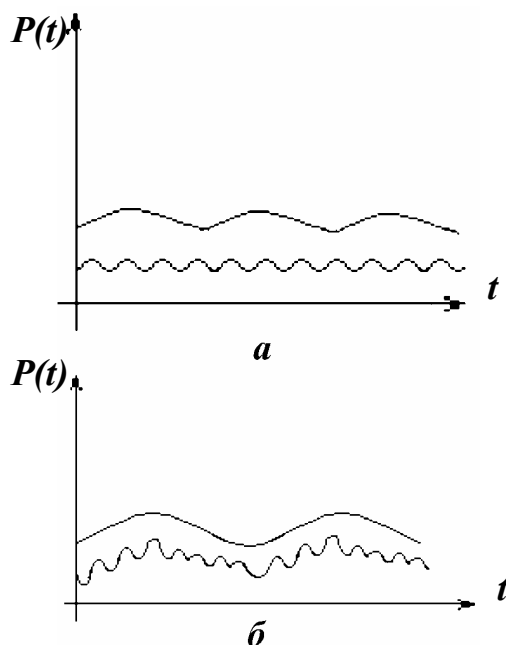
Методи діагностики низькообертових підшипників. Товщина мастильного шару низькообертових підшипників нижча, ніж у високообертових, тобто розриви масляної плівки та ударні імпульси виникають частіше [5].

Величина ударних імпульсів у низькообертових менша, але їх кількість більша, ніж у високообертових; вони накладаються один на одного, що утрудняє метод амплітудно-часової діагностики, як показано на рис. 1.

Зміст методу амплітудно-часової діагностики однаковий як для низькообертових, так і високообертових підшипників [5].

Механізм модуляційних характеристик відрізняється поєднанням з методом спектрального аналізу коливань випадкової вібрації.

У робочому підшипнику потужність сигналу не має періодичних низькочастотних коливань (див. рис. 1, а), а в дефектному коливання досить сильні і виділяються в спектрі (див. рис. 1, б).



**Рис. 1. Амплітудно-часова характеристика:
а – робочого підшипника, б – дефектного підшипника**

Вигляд дефекту визначається частотами складових, а величина дефекту – потужністю вібрації [5].

Глибина вібродіагностики визначається відношенням амплітуд гармонічних і випадкових складових.



Метод модуляційних характеристик дозволяє розділити дефекти кожної з поверхонь кочення, які виникають при експлуатації, на дві групи: знос (плавна модуляція сил тертя) і тріщини (імпульсна зміна сил тертя) [5].

Метод дозволяє визначити характер динамічних навантажень, що діють на підшипник з боку ротора. Тільки так можуть бути виявлені дефекти з'єднувальних муфт, а також зубчастих і механічних передач. У список дефектів, що визначаються за допомогою характеристик, входять [5]:

- дефекти монтажу підшипника (перекіс кілець, петель тощо);
- дефекти експлуатації підшипника (знос зовнішнього кільця підшипника, поява раковини або тріщин на зовнішньому кільці, знос внутрішнього кільця, тіл кочення; старіння або нестачі мастила);
- дефекти ротора, з'єднувальних муфт, механічних передач, які створюють динамічні навантаження на підшипник (обкатування, зубці та зачеплення зубчастих передач).

Проблеми діагностики підшипників.

Для підшипників кочення виникають складності виділення високочастотної вібрації із загальної картини [5].

У високочастотних підшипниках ці проблеми пов'язані з втратами при поширенні високочастотних вібрацій і розв'язуються шляхом установлення датчика вібрації на контакти з нерухомим кільцем підшипника.

У низькооборотових підшипниках співвідношення рівнів низькочастотної (НЧ), середньої і високочастотної (ВЧ) вібрацій набагато гірше, ніж у високооборотових. Звідси виникають проблеми ВЧ і НЧ вібрацій, а також виділення високочастотної складової сигналу на фоні шумів апаратури [5].

З рис. 2 видно, що при використанні аналізатора спектра з високим динамічним діапазоном і лінійністю не завжди вдається виділити високочастотні складові сигналу. Доводиться аналізувати коливання потужності сигналу на більш низьких частотах і здійснювати вібродіагностику. Важливо, щоб у смугу частот, яка використовується для виділення обвідної, не попадали завади з сильною гармонічною складовою, оскільки відділити ці коливання від інформаційних неможливо [5].

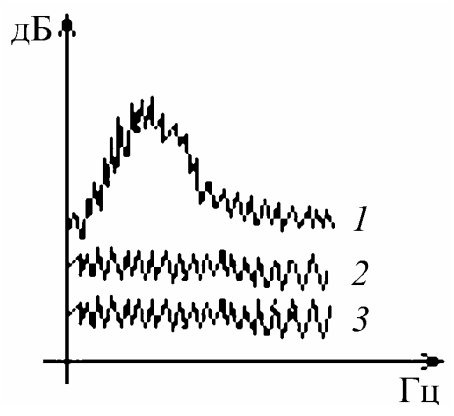


Рис. 2. Вібрації підшипника:
1 – складова низькочастотної вібрації;
2 – середньочастотної;
3 – високочастотної

Якщо в цій смузі з'являється одна гармонічна складова великої потужності, то коливання потужності сумарного сигналу знижується і спотворюється інформація про величину дефекту.

Експериментальні результати діагностування низькооборотових підшипників.

Нормальна діагностика здійснюється при частоті від 80 до 100 об/хв, у двигунів прокату - від 5 до 7 об/хв.

Основна проблема діагностування - це обмежений час обертання підшипника зі стабільними навантаженням і частотою обертання.

Низькооборотові підшипники застосовуються в енергетиці, паперовій промисловості тощо.

Особливості діагностики підшипників у цих галузях полягають у визначенні смуги частот сигналу вібрації. На рис. 3, на якому зображена смуга частот, є позначення: FTF - частота обертання сепаратора; BFS - частота обертання тіл кочення; RPM - швидкість обертання вала.

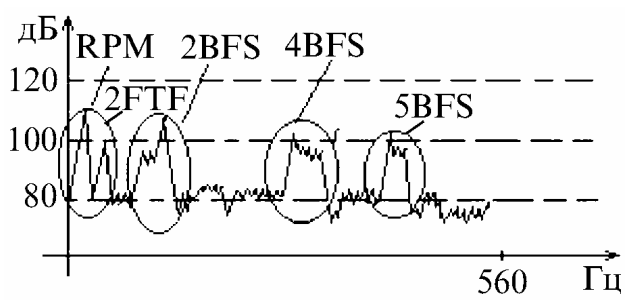


Рис. 3. Смуга частот сигналу вібрації

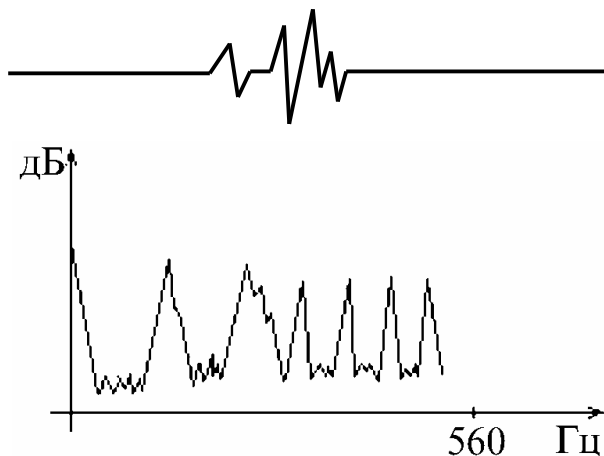


Рис. 4. Обвідна смуги частот сигналу вібрації

Обвідна цієї характеристики наведена на рис. 4. При цих обмеженнях, якщо вони накладаються по швидкості обертання вала, неможливо уникнути перешкод. У цьому випадку є три підходи:

основний полягає в поетапному накопиченні даних спектрального аналізу. Завжди можна вибрати час T , при якому підшипник обертається зі сталою швидкістю, в цей час і вимірюється обвідна, усереднюється з результатами вимірювань, зроблених в інші відрізки часу;

другий полягає в організації спеціальних діагностичних режимів роботи машини, наприклад для діагностики підшипників в авіації, які прокручуються за допомогою стартера або спеціального приводу;

при частоті обертання, що безперервно змінюється, здійснюється аналіз спектра обвідних вібрацій з використанням датчиків кута повороту підшипників. Як доводить практика, при такому підході можна діагностувати хитні підшипники. Труднощі виникають, якщо частота обертання змінюється від 15 до 20 % при вимірюванні.

Найважливішими критеріями якості діагностики підшипників, у тому числі і низькооберткових, є ймовірності пропускання дефекту підшипника, помилкового виявлення дефекту підшипника, тому необхідно визначити вигляд дефекту.

Якщо перші два підходи визначають ефективність діагностування, то третій - ефективність довгострокового прогнозування. У цьому випадку найвищі показники складають менше 3 % для суми ймовірностей пропуску сильного дефекту і помилкової тривоги.

При інтервалах між вимірюваннями близько 10 % від очікуваного ресурсу підшипника забезпечується довгостроковий прогноз. У цьому випадку можна діагностувати і досягти високих результатів при одному вимірюванні, а також обвідну спектра

порівнювати з вібрацією однакових груп підшипників.

Технічні засоби діагностування. Для діагностування обов'язковим є вимірювання обвідної спектра вібрації на частотах, що перевищують в 500 і більше разів частоту обертання підшипника, а оскільки рівень вібрації на цих частотах може бути меншим від загального рівня вібрації, то потрібні смугові фільтри з динамічним діапазоном більше 70 дБ і високою лінійністю (цифрові фільтри).

У цей час використовуються два способи аналізу сигналів: спектральний аналіз вимірювального сигналу та аналіз обвідної.

Висновки

З відомих методів вібродіагностики підшипників кочення мінімальні помилки дає спектральний аналіз.

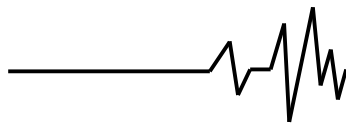
Основні особливості діагностики низькооберткових підшипників визначаються нестабільністю роботи машини і низьким рівнем високочастотної вібрації.

Якість діагностики низькооберткових підшипників методом обвідних покращується з підвищенням динамічного діапазону і лінійністю технічних засобів спектрального аналізу вібрації та обвідних спектра вібрації.

Основна проблема діагностування – це обмежений час обертання підшипника зі стабільними навантаженням і частотою обертання.

Список використаних джерел

1. Попков В.И. Виброакустическая диагностика в судостроении / В.И. Попков, Э.Л. Мышинский, О.И. Попков. – Л.: Судостроение, 1983. – 256 с.
2. Барков А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учеб. пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб., 2000. – 158 с.
3. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 282 с.
4. Герике Б.Л. Вибродиагностика горных машин и оборудования: учебное пособие / Б.Л. Герике, И.Л. Абрамов, П.Б. Герике. – Кемерово, 2007. – 167 с.
5. Гуров А.П. Вибродиагностика: навчальний посібник / А.П. Гуров, Д.Ю. Шарейко. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 116 с.

**Список джерел в транслітерації**

1. Popkov V.I. Vibroakusticheskaya diagnostika v sudostroyenii / V.I. Popkov, E.L. Myshinskiy, O.I. Popkov. – L.: Sudostroyeniye, 1983. – 256 s.
2. Barkov A. V. Monitoring i diagnostika rotornykh mashin po vibratsii: ucheb. posobiye / A.V. Barkov, N.A. Barkova, A.YU. Azovtsev. – SPb., 2000. – 158 s.
3. Genkin M.D. Vibroakusticheskaya diagnostika mashin i mekhanizmov / M.D. Genkin, A.G. Sokolova. – M.: Mashinostroyeniye, 1987. – 282 s.
4. Gerike B.L. Vibrodiagnostika gornyykh mashin i oborudovaniya: uchebnoye posobiye / B.L. Gerike, I.L. Abramov, P.B. Gerike. – Kemerovo, 2007. – 167 s.
5. Gurov A.P. Vibrodiagnostika: navchalniy posibnik / A.P. Gurov, D.YU. Shareyko – Mikolaiiv: UDMTU, 2003. – 116 s.

**ОСОБЕННОСТИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ
НИЗКОБОРОТНЫХ ПОДШИПНИКОВ
КАЧЕНИЯ**

Аннотация. В статье предлагается рассмотреть основные особенности диагностики низкооборотных подшипников качения. Указаны случаи при которых усложняется процесс диагностики низкооборотных подшипников качения. Кратко описаны основные этапы появления дефектов у подшипников качения и их характеристика последствия.

Дана характеристика методов диагностики низкооборотных подшипников качения, их преимущества и недостатки. Сформирован список дефектов, которые определяются определенным методом диагностики. Подробно рассмотрены проблемы диагностики низкооборотных подшипников, а именно усложнение процесса

выделения высокочастотной вибрации из общей картины. Приведены экспериментальные результаты диагностирования низкооборотных подшипников. Продемонстрирована полоса частот сигнала вибрации. Предложена методика для избежания препятствий для определения огибающей полосы частот сигнала вибрации. Определены важнейшие критерии качества диагностики подшипников, в том числе и низко вращающихся.

Ключевые слова: вибрация, удар, шум, сигнал, дефект, подшипник, высокочастотная вибрация, виброакустическая диагностика.

**VIBRODIAGNOSTIC FEATURES SLOW-
ROLLING BEARINGS**

Annotation. The article is invited to review the main features of the diagnosis slow speed bearings. Specifies the cases in which the diagnostic process is complicated by low speed rolling. Briefly describe the main stages of the appearance of defects in rolling bearings and their characteristic effects.

The characteristic of the methods of diagnosis low speed rolling, their advantages and disadvantages. Created a list of defects that are defined by specific diagnosis. Detailed diagnosis of the problems low-speed bearings, namely the increasing complexity of high-frequency vibration isolation of the overall picture. The experimental results of diagnosis slow speed bearings. Demonstrated bandwidth vibration signal. A technique to avoid obstacles to determine the envelope of the signal bandwidth of vibration. Identified the most important quality criteria for diagnosis of bearings, including low rotating.

Key words: vibration, shock, noise, signal, defect, bearing, high-frequency vibration, vibro-acoustic diagnostics.