

УДК 531.717

В.Ю. Заблоцький, А.Ю. Решетило

Луцький національний технічний університет.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Розглянуто аналіз методів вібродіагностики та проведено оцінку технічного стану підшипників кочення. Встановленні основні причини виникнення вібрацій у деталях підшипників.

Підшипник кочення є найбільш поширеним елементом конструкції будь-якого роторного механізму і, в той же час, найуразливішим елементом. Підшипники здійснюють просторову фіксацію роторів, що обертаються, і, отже, саме підшипники сприймають велику частину статичних і динамічних зусиль, що виникають в працюючому механізмі. Стан підшипників є найважливішою складовою технічного стану механізму, його справності і працездатності. Вібродіагностування стану підшипників кочення є однією з найбільш розвинених, розроблених областей віброметрії як в теоретичному плані, так і в плані практичної апаратурної реалізації.

Вібрація - це механічні коливання тіла. Просте гармонічне переміщення описується наступними параметрами: T - період коливань. F - частота коливань $F = 1/T$. У випадку коли обертальні механізми, то частота основного коливання відповідає частоті обертання, яка вимірюється в об/хв ($1/xv$) і визначається як: $W = F \times 60$, де F - частота в Гц

В даний час у вібродіагностиці використовуються, ряд методів оцінювання технічного стану підшипників

кочення [1]:

- метод пік-фактора;
- метод прямого спектру;
- метод огинаючого спектру;

Метод пік-фактора. При встановленні акселерометра поблизу зовнішньої обойми змащеного підшипника, отриманий сигнал на осцилографі, стаціонарним двохполярним шумового характеру, симетричний відносно тимчасової (рис. 1, а.)

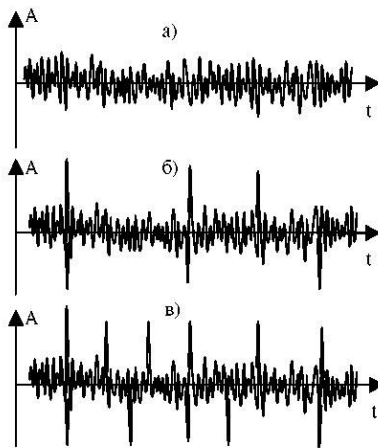


Рис.1 Вигляд сигналу вібрації підшипникового вузла

При експериментальному дослідженні використовується простий віброметр, що дозволяє вимірювати два параметри вібросигналу:

- середньоквадратичне значення рівня (СКЗ) вібрації, тобто енергію вібрації;
- пікову амплітуду (ПШК) вібрації (позитивну, негативну або повний розмах - значення не має).

Вимірювання параметрів відбувалось в процесі в процесі експлуатації підшипника із звичайною

періодичністю приблизно 1 раз в 2-3 місяці. З часом, у міру появи дефектів на кінематичних вузлах підшипника, у вібросигналі з'являлись окремі, короткі амплітудні піки, відповідні моментам зіткнення дефектів, рис. 1, б. Надалі, з розвитком дефекту, спочатку збільшувались амплітуди піків, після чого поступово збільшувалось і їх кількість, рис. 1, в, при чому спостерігається «рознесення» дефекту по підшипнику, тобто з'явившись спочатку, наприклад, на одній з кульок, він створює, механічне пошкодження на кільці з якого він переноситься на іншу кульку, дефекти кульок негативно впливають на процес і продовжуються до повного руйнування сепаратора. За результатами експериментальних досліджень (рис. 2) побудовані графіки залежності формування геометрії поверхонь кілець в часі ПСК і СКЗ є монотонними зростаючими функціями однакового характеру, але зміщення один відносно одного в часі. Спочатку, у міру появи і розвитку дефекту, зростає функція ПСК, а СКЗ змінюється дуже мало, оскільки окремі, дуже короткі амплітудні піки практично не змінюються енергетичні характеристики сигналу. Надалі, по мірі збільшення кількості піків, починає збільшуватися енергія сигналу, зростають СКЗ вібрації. Самі по собі функції ПСК та СКЗ малоінформативні для діагностування, унаслідок своєї монотонності. Однак відношення функцій ПСК/СКЗ, яке називається пік-фактора, представляє значний інтерес, оскільки ця функція через тимчасового зрушення між ПСК та СКЗ, має явно виражений максимум на тимчасовій осі. Експериментально було встановлено, що момент проходження функції пік-фактора через максимум відповідає залишковому ресурсу підшипника порядку 2-3

тижнів.

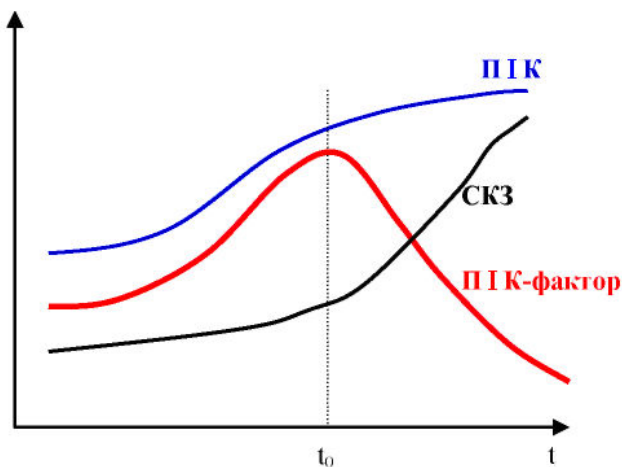


Рис. 2. Метод пік-фактора

Основною перевагою є простота. Для його реалізації даного методу використовується звичайний віброметр загального рівня.

Недоліком такого методу є слабкий захист від перешкод, а також необхідність проводити багатократні виміри в процесі експлуатації. Оскільки встановити датвач безпосередньо на зовнішній обіймі підшипника практично неможливо, тобто він встановлюється на корпусі механізму. Тому і сигнал вібрації характеризує не лише підшипник, але й інші вузли механізму, що в даному випадку можна розглядати як вібраційні перешкоди. Отже чим далі встановлений давач від підшипника і складніше кінематика самого механізму, тим менше достовірність методу. Тому і використовувати метод, *в першу чергу*, доцільно тоді, коли датчик можна розташувати близько до підшипника і сама кінематика механізму проста. Наприклад, підшипникові вузли різних розподільних пристроїв в

технологічному устаткуванні, підшипники вентиляторів тощо. Ті ж самі сигнали можна проаналізувати не лише з точки зору співвідношення амплітудних і енергетичних характеристик, але і з точки зору періодичності появи амплітудних сплесків. Саме на цьому і базується **метод прямого спектру**. Вібраційний сигнал аналізується вузькосмуговим спектроаналізатором і за частотним складом спектру можна ідентифікувати виникнення та розвиток дефектів підшипника.

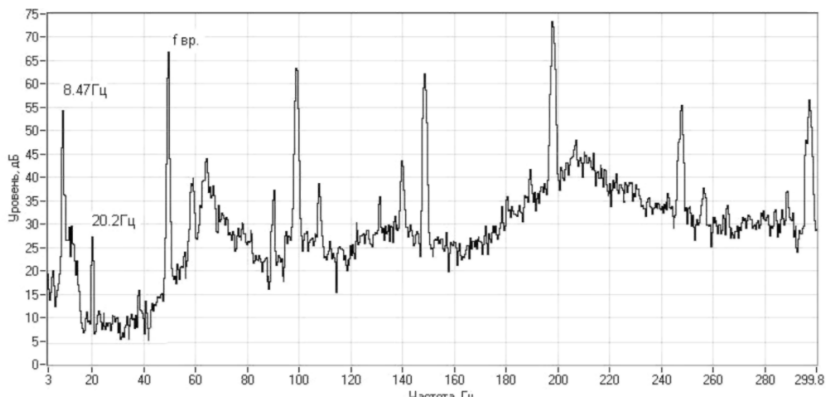


Рис. 3. Прямий спектр вібрації

Амплітудні сплески у вібросигналі з'являються не хаотично, а з визначеною періодичністю або частотою. При чому дефекту на кожному з елементів підшипника (тіла кочення, доріжки, сепаратор) відповідають свої частоти, які однозначно прораховуються залежно від кінематики підшипника і швидкості його обертання [2]. Наявність тієї або іншої дискретної складової в спектрі сигналу говорить про виникнення відповідного дефекту підшипника, а амплітуда цієї складової - про глибину дефекту. Це декілька спрощений підхід, оскільки багато дефектів в спектрі виявляються у вигляді не однією

частотною складовою, а декілька, але ми тут не вдаватимемося до тонкощів спектрального аналізу складних сигналів.

До переваг даного методу можна віднести наступні:

- досить високий захист від перешкод (малоімовірна наявність в механізмі джерел, що створюють вібрації на тих смих частотах, що і дефекти підшипника);

- інформативність методу істотно вища, ніж за методом пік-фактора. Також існує можливість отримати диференційовану оцінку стану підшипника окремо по кожному його кінематичному вузлу, оскільки вони генерують різні частотні ряди в спектрі.

Недоліки:

- метод дорогий, будь-який найпростіший вузькосмуговий спектроаналізатор контує набагато дорожче будь - якого віброметра;

- метод малочутливий до дефектів, що зароджуються і є слабкими. Це пов'язано з тим, що підшипник в переважній більшості механізмів є досить малопотужним джерелом вібрації. Іншими словами, невеликий скол на кульці або доріжці не в змозі помітно гойднути механізм, аби ми побачили цю частотну складову в спектрі вібрації. Лише при досить значних дефектах амплітуди цих частотних складових починають помітно виділятися над загальною шумовою частиною спектру.

Аналізуючи вібросигнал (рис. 3) варто звернути увагу на те що, високочастотна, шумова частина сигналу змінює свою амплітуду в часі, тобто вона модулюється деяким більш низькочастотним сигналом. Виявляється, що саме в цьому модулюючому сигналі міститься й інформація про

стан підшипника. Виділення і обробка цієї інформації і складають основу методу **огиначаючого спектру**. Експериментально було встановлено, що найкращі результати цей метод дає в тому випадку, якщо аналізувати модуляцію не широкосмугового сигналу, що отримується від акселерометра, а заздалегідь здійснити смугову фільтрацію віброцигнала в діапазоні приблизно 6-10 кГц і аналізувати модуляцію отриманого сигналу. Для цього відфільтрований сигнал детектується, і подається на вузькосмуговий спектроаналізатор де отримується спектр модулюючого сигналу або огиначаючий спектр. Описана послідовність обробки сигналу представлена на рис. 4.

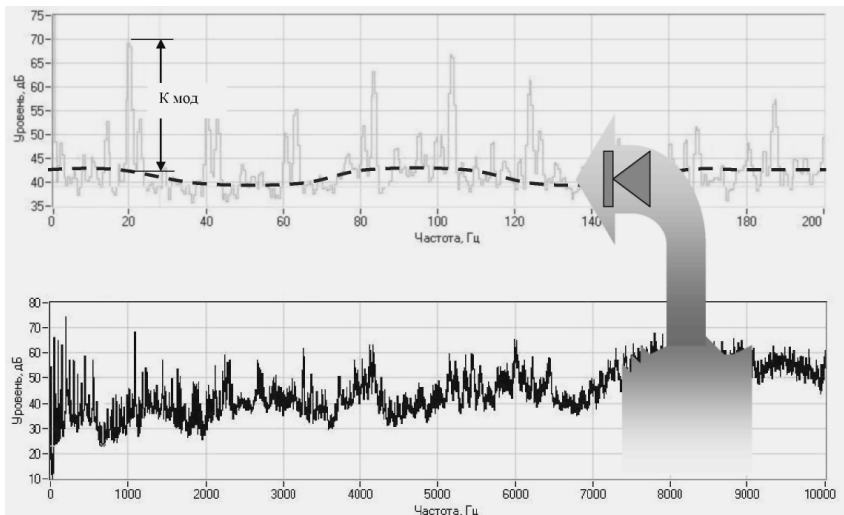


Рис. 4. Обробка сигналу по методу спектру що огинає

Обробка сигналу досить складна, однак, невеликі дефекти підшипника не в змозі викликати помітні вібрації в області низьких і середніх частот, що генеруються підшипнику.

У той же час для модуляції високочастотних вібраційних шумів енергії виникаючих ударів виявляється цілком достатньо. Тобто метод володіє дуже високою чутливістю.

Сам огинаючий спектр має завжди характерний, специфічний вигляд. За відсутності дефектів він являє собою майже горизонтальну, хвилясту лінію. При появі дефектів, над рівнем цієї досить гладкої лінії суцільного фону починають зростати дискретні складові, частоти яких однозначно прораховуються по кінематикою та обертанню підшипника. Частотний склад огинаючого спектру ідентифікує наявність дефектів, а перевищення відповідних складових над фоном однозначно характеризує глибину кожного дефекту.

Переваги методу – висока чутливість, інформативність та високий перешкодо захист.

Основний недолік - висока вартість і складність реалізації. Як правило, алгоритм обробки і аналізу реалізується з використанням комп'ютерної техніки.

На закінчення розділу приведемо звідну порівняльну таблицю 1 характеристик описаних методів, де максимальна оцінка параметрів дана п'ятьма зірочками. Уточнимо, що це наші особисті оцінки, що базуються на власному досвіді і не претендують на абсолютну істину.

Таким чином, після проведення аналізу методів діагностування (табл. 1) варто зробити наступні висновки: Метод прямого спектру використовується обливо в середовищі професійних фахівців і дає хороші результати. Метод огинаючого спектру використовується в середовищі професіоналів і в стаціонарних системах моніторингу технічного стану устаткування.

Таблиця 1

Порівняльних характеристик методів

№	Параметр	ПК-фактор	Оцінка прямого спектру	Метод огинаючого спектру
1	Діагностування дефектів що зароджуються	-	*	*****
2	Діагностика розринутих дефектів	**	***	*****
3	Оцінка стану по результатам однократного вимірювання	*	**	*****
4	Оцінка стану при спостереженні за змінами вібропараметра в часі	***	****	*****
5	Поділ стану підшипника по кінематиці і змазці	-	-	****
6	Ідентифікація зміни кінематики підшипника з конкретними джерелом (тіла кочення, доріжки, сепаратор, перекося ...)	-	***	****
7	Захист від перешкод	*	**	*****
8	Апаратурно реалізується простими портагивними засобами віброконтроля.	*****	**	*
9	Апаратурні засоби з функціями спектрального аналізу, досить складні та недешеві для масового споживача	-	****	*****