

Вывод. Таким образом, проведенное исследование показало, что использование метода временных рядов позволяет его применять для краткосрочных прогнозов остаточного ресурса букс с приемлемой точностью. Несомненно, что при использовании двух и более диагностических признаков[3], точность прогноза возрастет.

Список литературы

1. Петухов, В.М. Буксовая диагностическая станция [Текст]/В.М.Петухов //Сб. научн. работ. - Донецк: ДонИЖТ, 2008.-Вып.13.-С. 96-101.
2. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление.Т1 [Текст]/ Бокс Дж., Дженкинс Г. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
3. Петухов В.М. Аналіз температурних ознак розпізнавання несправних букс[Текст]/В.М.Петухов //Зб. наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. - Вып.№107.- С.128-132.

УДК 629.4.06:621.822.614

Равлюк В.Г., ст. викладач (УкрДАЗТ)

ВІБРОДІАГНОСТИКА ТА МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАГОНІВ

Вступ. Підшипники кочення є найпоширенішим елементом конструкції будь-якого роторного механізму й, у той же час, найбільш вразливим елементом [1]. Підшипники кочення здійснюють просторову фіксацію обертаючих колісних пар вагонів і, отже, саме підшипники сприймають більшу частину статичних і динамічних зусиль, що передаються від вагона. Стан підшипників кочення є найважливішою складовою технічного стану буксового вузла вагона, від якого залежить справність та працездатність [2].

Вібродіагностика стану підшипників кочення в наш час є однією з найбільш розвинених, розроблених областей віброметрії як у теоретичному плані, так і в плані практичної апаратурної реалізації.

Вібродіагностика підшипників кочення є прекрасною ілюстрацією того, як можна діагностувати один й той самий вузол різними методами, заснованими на різних вібраційних процесах, що генеруються дефектами

цього вузла [1, 3, 4].

Найбільш проста й дешева технологія вібродіагностики є періодичний контроль інтенсивності вібрації буксових вузлів з підшипниками кочення, найпростішими переносними віброметрами. При цьому діагностичними ознаками дефектів служить рівень інтенсивності вібрації, співвідношення між його значеннями в різних точках і зміна в часі (тренд).

Труднощі діагностування при цьому полягають в тому, що не існує надійних ознак для ідентифікації конкретних дефектів, крім того, у ряді випадків при істотному зростанні деякої діагностичної інформативної гармоніки вібрації загальний рівень інтенсивності вібрації може змінюватися несуттєво. У той же час за рівнем вібрації й зростанням її в часі в більшості випадків можна досить надійно кваліфікувати стан буксового вузла вагона, який може бути, як справний так й несправний [5]. У деяких існуючих при цьому дефектів є ознаки, що дозволяють у певній ситуації встановити дефект як найбільш імовірний.

Мета статті – розглянути задачі та особливості методів вібродіагностики, які спрямовані на виявлення й ідентифікацію несправностей буксових вузлів вагонів з підшипниками кочення, а також виділення переваг та недоліків того чи іншого метода.

1. Задачі та методи вібродіагностики

Вібродіагностика й моніторинг стану підшипників кочення дозволяє:

- уточнити причини дефекту й умови його виникнення та розвитку, а також оцінити фактори, що на це впливають;
- вчасно усунути дефект або збільшити середній наробіток підшипників на прояв дефекту (відмови);
- знизити інтенсивність прояву дефекту (відмови) при найбільш відповідальних режимах роботи й експлуатації підшипників;
- поліпшити організацію робіт з розробки й впровадження заходів, спрямованих на усунення дефекту;
- оцінити ефективність заходів, спрямованих на усунення дефекту і вибрати для впровадження найбільш ефективні;
- отримати економічний ефект завдяки зниженню витрат на впровадження заходів, що запобігають виникненню дефектів або усувають несправність, а також витрат виробництва на виготовлення деталей;
- оцінити можливий ефект від розроблених і впроваджених заходів на ранній стадії, що є дуже важливо, тому що повний прояв дії цих заходів залежить від наробітку підшипників після їхнього впровадження.

Для вібродіагностування оцінки технічного стану буксових вузлів

вагонів з підшипниками кочення використовуються наступні методи [6]:

- метод ПІК-фактора;
- метод прямого спектра;
- метод спектра обвідної;
- метод ударних імпульсів.

Нижче коротко викладений фізичний зміст отримання вібродіагностичних параметрів кожним із цих методів.

2. Метод ПІК-фактора

Якщо встановити акселерометр поблизу зовнішнього кільця справного, добре змазаного підшипника й подивитися на отриманий сигнал на осцилографі, ми побачимо стаціонарний двохполярний сигнал шумового характеру, симетричний щодо тимчасової осі, як це приблизно показано на рисунку 1, а.

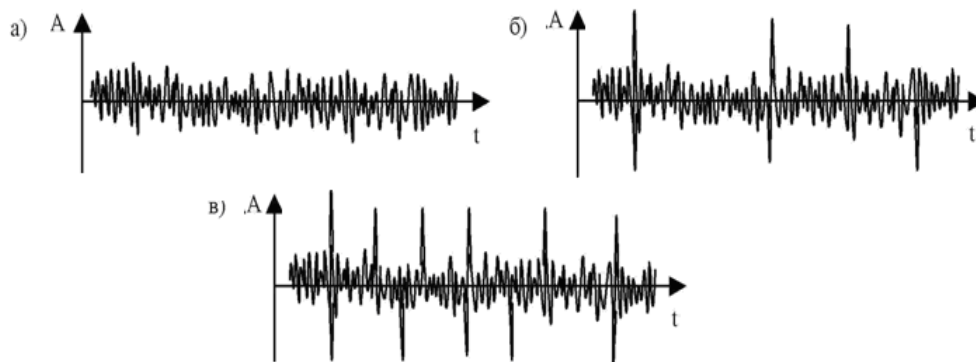


Рисунок 1 - Вигляд часового сигналу вібрації підшипника кочення

За допомогою простого віброметра можна вимірювати два параметри вібросигналу:

- середньоквадратичне значення рівня (СКЗ) вібрації, тобто енергію вібрації;
- пікову амплітуду (ПІК) вібрації (позитивний, негативний або повний розмах).

Будемо вимірювати два цих параметри в процесі експлуатації підшипників зі звичайною періодичністю. Із часом, у міру появи дефектів на кінематичних вузлах підшипників, у вібросигналі почнуть з'являтися окремі, короткі амплітудні піки, що відповідають моментам зіткнення дефектів (рисунок 1, б). Надалі, з розвитком дефекту, спочатку збільшуються амплітуди піків, потім поступово збільшується і їхня кількість (рисунок 1, в) - дефект починає „розноситися“ по підшипнику,

тобто з'явившись спочатку, наприклад, на одному з роликів, він створює, зрештою, забоїну на кільці, з нього вона переноситься на інший ролик, дефекти роликів починають виробляти сепаратор і т. д. до повного руйнування [2]. Якщо зобразити результати вимірів на графіку, ми побачимо залежності, показані на рисунку 2 ПК і СКЗ являють собою монотонні, неспадаючі функції однакового характеру, але які зміщені одна відносно іншої в часі. Спочатку, у міру появи й розвитку дефекту, зростає функція ПК, а СКЗ змінюється дуже повільно, оскільки окремі, дуже короткі амплітудні піки практично не змінюють енергетичні характеристики сигналу.

Надалі, у міру збільшення й кількості піків, починає вже відповідно збільшуватися енергія сигналу, зростає СКЗ вібрації. Самі по собі функції ПК і СКЗ малоінформативні для діагностики, внаслідок своєї монотонності. Але відношення ПК/СКЗ, називається ПК-фактором, уже становить значний інтерес, оскільки ця функція через тимчасове зрушення між ПК і СКЗ, має явно виражений максимум на тимчасовій осі [4]. На цьому й ґрунтується метод ПК-фактора. Експериментально було встановлено, що момент проходження функції ПК-фактор через максимум відповідає залишковому ресурсу підшипника порядку 2 - 3 тижнів.

Основні характеристики коливальних процесів.

Розмах коливань — різниця між найбільшим і найменшим значеннями коливальної величини в розглянутому інтервалі часу (подвійна амплітуда).

Пікове значення — визначається як найбільше відхилення коливальної величини $\delta_{\sigma} = |\delta_{\sigma_{\max}}|$.

Середньоарифметичне миттєвих значень вібрації характеризує загальну інтенсивність вібрації:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} \delta(\tau) d\tau, \quad (1)$$

де τ - поточне значення тимчасової координати;

T - період вимірювання.

Середньоквадратичне значення рівня — квадратний корінь із середнього арифметичного або середнього інтегрального значення квадрата коливальної величини в розглянутому періоді часу:

$$\tilde{\delta}_n = \frac{1}{\tilde{\delta}} \sqrt{\int_{\tau}^{\tau+\tilde{\delta}} \tilde{\delta}^2(\tau) d\tau}, \quad (2)$$

Коефіцієнт амплітуди або ПК-фактор: $\hat{E}_{i\delta} = \frac{\tilde{\delta}_\delta}{\tilde{\delta}_n}$. Відношення пікового значення до середньоквадратичного. Пік-фактор характеризує розвиток пошкодження. Значення ПК-фактора в початковому періоді роботи буксового вузла вагона становлять 3...4. При зародженні пошкоджень значення ПК-фактора збільшуються до 10...15. Збільшення ступеню пошкоджень знижує значення ПК-фактора до 3...4 (рисунок 2).

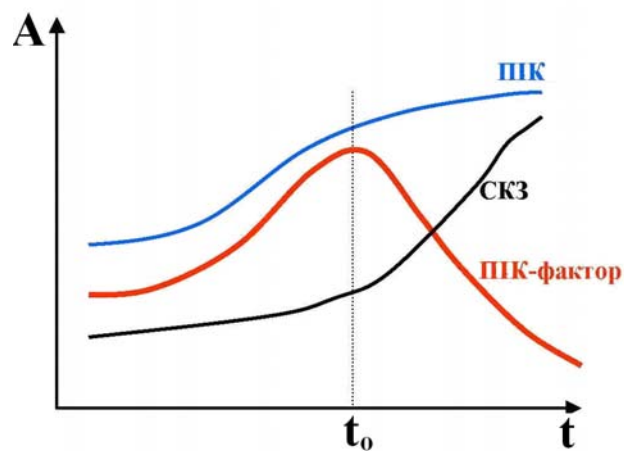


Рисунок 2 - Залежність параметрів сигналу від часу

Для гармонійних коливань: $\hat{e}_{i\delta} = 1,41$; $\tilde{\delta}_\delta = A$; $\tilde{\delta}_{n\delta\delta} = 0,637 A$; $\tilde{\delta}_{n\delta\epsilon} = 0,707 A$. Основні характеристики коливальних процесів зображені на рисунку 3.

Основною перевагою даного метода є простота. Для його реалізації потрібний звичайний віброметр загального рівня, тобто найпростіший і дешевий вібровимірюючий прилад [1].

Основні недоліки - слабка перешкодозахищеність методу й необхідність проводити багаторазові виміри в процесі технічного обслуговування і ремонту (ТОР). Справа в тому, що встановити датчик безпосередньо на зовнішньому кільці підшипника практично неможливо, тобто він установлюється десь на корпусі букси. Значить і сигнал вібрації характеризує не тільки підшипник, але й інші деталі буксового вузла що в цьому випадку можна розглядати як вібраційні перешкоди. І чим далі

встановлений датчик від підшипника тим складніша кінематика самого буксового вузла, тим менше вірогідність методу. Тому й використовувати цей метод, у *першу чергу*, доцільно тоді, коли датчик можна розташувати поблизу до підшипника й сама кінематика механізму проста.

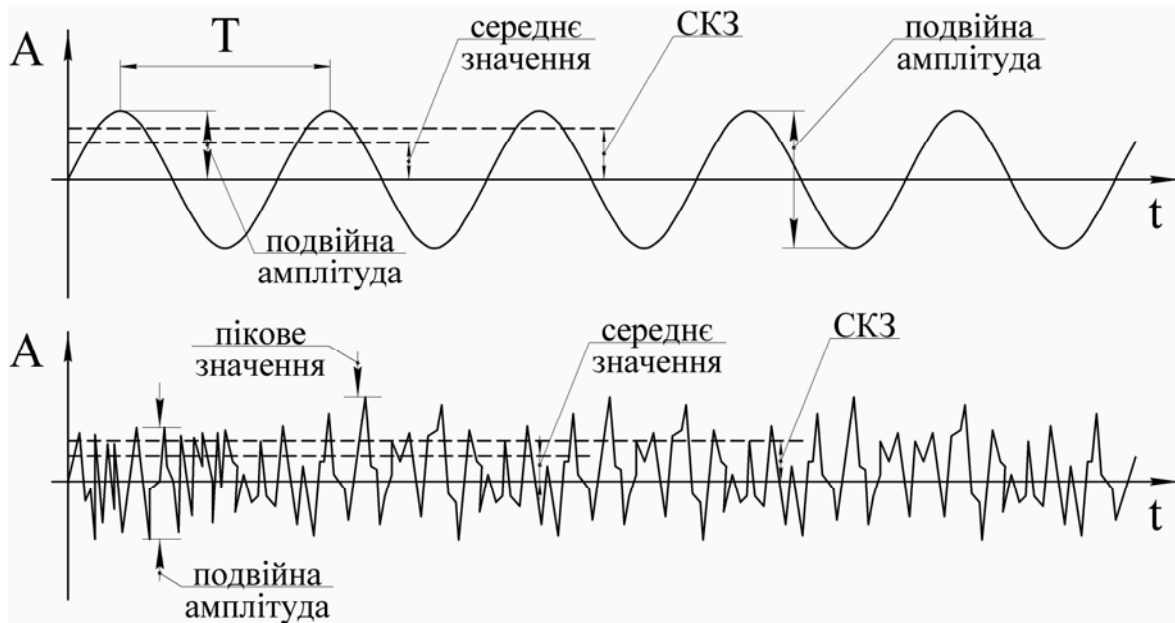


Рисунок 3 - Характеристики коливальних процесів

По-друге, для отримання достовірної оцінки необхідно багаторазово проводити вимірювання при ТОР. Одержати оцінку стану по одному вимірюванні неможливо.

3. Метод прямого спектра

Повернемося до вібраційних сигналів, що показані на рисунку 1. Ті ж самі сигнали можна проаналізувати не тільки з погляду співвідношення амплітудних і енергетичних характеристик, але й з погляду періодичності появи амплітудних сплесків. Саме на цьому й базується метод прямого спектра (рисунок 4). Вібраційний сигнал аналізується вузькосмуговим спектроаналізатором і по частотному складі спектра можна ідентифікувати виникнення й розвиток дефектів підшипників кочення.

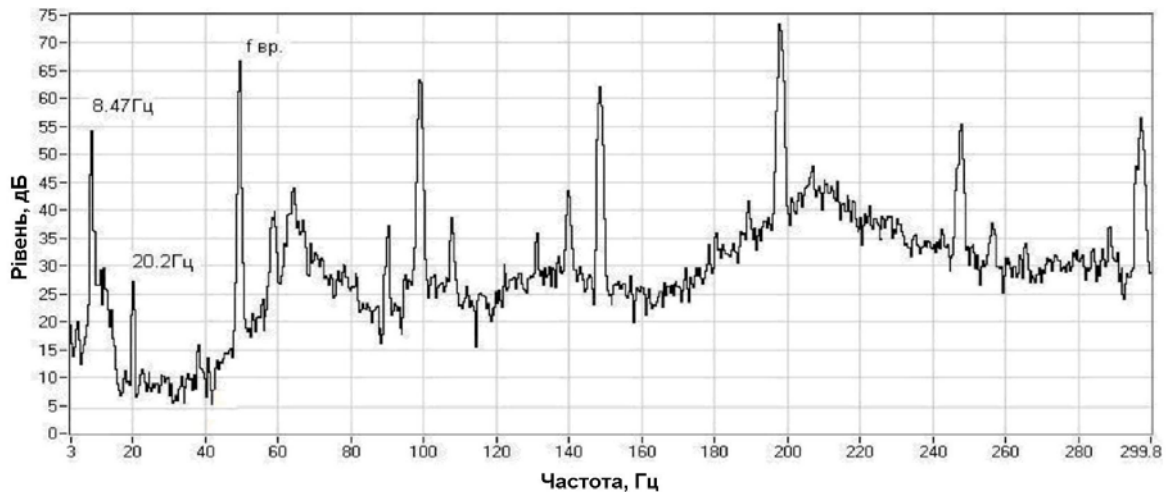


Рисунок 4 - Прямий спектр вібрації

Амплітудні сплески у вібросигналі впливають не хаотично, а із цілком певною періодичністю або частотою. Причому дефекту на кожному з елементів підшипника (тіла кочення, доріжки, сепаратор) відповідають свої частоти, які однозначно прораховуються залежно від кінематики підшипника й швидкості його обертання. Наявність тієї або іншої дискретної складової в спектрі сигналу говорить про виникнення відповідного дефекту підшипника, а амплітуда цієї складової – про глибину дефекту [5]. Це трохи спрощений підхід, оскільки багато дефектів у спектрі проявляються у вигляді не однієї частотної складової, а декількох, але ми не будемо тут вдаватися в тонкості спектрального аналізу складних сигналів [3]. До розуміння суті методу це мало що додасть.

Очевидно, що основних переваг у методу два:

- досить висока заводозахисність (малоймовірна наявність у буксовому вузлі джерел, що створюють вібрації на тих же самих частотах, що й дефекти підшипника);

- інформативність методу істотно вище, ніж по методу ППК-фактора. Тому є можливість одержати диференційовану оцінку стану підшипника окремо по кожному його кінематичному вузлі, оскільки вони генерують різні частотні ряди в спектрі.

Недоліків, на жаль, теж, як мінімум, два:

- метод дорогий, будь-який самий простенький вузькосмуговий спектроаналізатор коштує надмірно дорожче самого сучасного віброметра;

- метод малочутливий до зароджуючих й слабких дефектів. Це пов'язане з тим, що підшипник у переважній більшості буксових вузлів

вагонів, а також інших механізмів є дуже малопотужним джерелом вібрації [6]. Інакше кажучи, невеликий відкол на ролику або доріжці не в змозі помітно хитнути буксовий вузол вагону, щоб ми побачили цю частотну складову в спектрі вібрації. І тільки при досить сильних дефектах амплітуди цих частотних складових починають помітно виділятися над загальною шумовою частиною спектра.

Незважаючи на ці недоліки, метод використовується досить широко і дає гарні результати.

4. Метод спектра обвідної

Вихідний вібросигнал, залишається той самий, так що повернемося ще раз до рисунка 1. Звернемо увагу на те, що високочастотна, шумова частина сигналу змінює свою амплітуду в часі, тобто вона модулюється якимсь більш низькочастотним сигналом. Виявляється, що саме в цьому модулюючому сигналі утримується й інформація про стан підшипника. Виділення й оброблення цієї інформації й становлять основу цього методу [3]. Експериментально було встановлено, що найкращі результати цей метод дає в тому випадку, якщо аналізувати модуляцію не широкосмугового сигналу, що отримується від акселерометра, а попередньо здійснити смугову фільтрацію вібросигналу в діапазоні приблизно 6 – 10 кГц і аналізувати модуляцію цього сигналу. Для цього відфільтрований сигнал детектується, тобто виділяється модулюючий сигнал (або ще його називають „обвідна сигналу“), що подається на вузькосмуговий спектроаналізатор і ми отримуємо спектр модулюючого сигналу, або спектр обвідної [3, 6]. Що в свою чергу дало назву цьому методу. Описана послідовність обробки сигналу представлена для наочності на рисунку 5.

Видно, що обробка сигналу досить складна, але сам результат вартує того. Справа в тому, що, як уже говорилося вище, невеликі дефекти підшипника не в змозі викликати помітні вібрації в області низьких і середніх частот, що генеруються підшипником. У той же час для модуляції високочастотних вібраційних шумів енергії виникаючих ударів виявляється цілком достатньо тобто цей метод має дуже високу чутливість.

Сам спектр обвідної має завжди дуже характерний, специфічний вигляд. При відсутності дефектів він являє собою майже горизонтальну, злегка хвилясту лінію. З появою дефектів, над рівнем цієї досить гладкої лінії суцільного фону починають підніматися дискретні складові, частоти яких однозначно прораховуються по кінематиці й обертанню підшипника [5]. Частотний склад спектра обвідної дозволяє ідентифікувати наявність дефектів, а перевищення відповідних складових над фоном однозначно

характеризує глибину кожного дефекту.

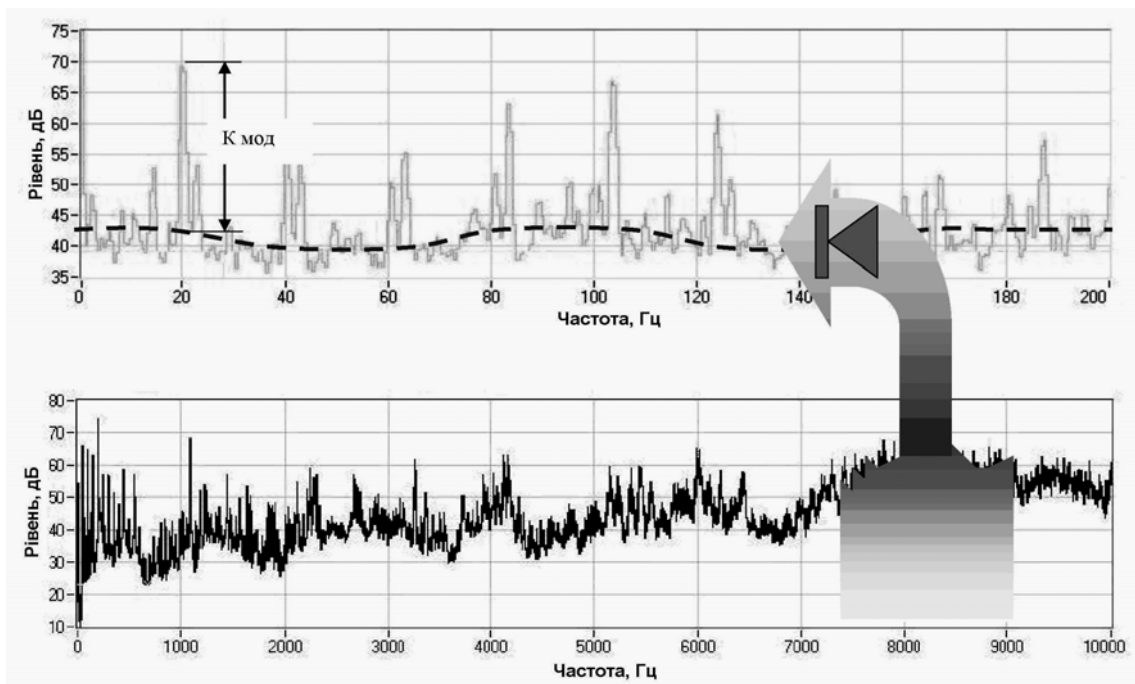


Рисунок 5 - Обробка сигналу по методу спектра обвідної

Переваги даного методу - висока чутливість, інформативність і захищеність від завад.

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

Метод широко використовується в середовищі професіоналів і в стаціонарних системах моніторингу технічного стану буксових вузлів вагонів [2, 3].

5. Метод ударних імпульсів

Природно, ми знову вертаємося до рисунка 1. Правда, цього разу для того, щоб сказати, що не все, що пов'язане з дефектами підшипника, ми можемо побачити на цьому рисунку. Там показані вібросигнали з типового акселерометра, що працює в діапазоні від часток Гц до $10 \div 20$ кГц. Але працюючий підшипник генерує й більше високочастотні вібраційні процеси, які і є тут предметом нашого розгляду.

Співударяння дефектів підшипника викликає виникнення високочастотних, швидко згасаючих коливань, що поширюються від підшипника по буксовому вузлі вагона у вигляді хвиль стиску/розтягання, аналогічно тому, як поширюється звук у повітрі [2, 4]. Технологія обробки

сигналів показана на рисунку 6.

Спостерігаючий процес аналогічний тому, як відгукується на удари камертон. Як би по ньому не вдарити - він все ж таки дзенькає на своїй власній частоті.

Так і підшипникові вузли від зіткнення дефектів „дзенькають“ на своїй частоті. Частота ця звичайно лежить у діапазоні $28 \div 32$ кГц. І, на відміну від камертона, ці коливання дуже швидко згасають, тому на відповідних осцилограмах, які отримуються вони виглядають практично, як імпульси, що й дало назву методу - *метод ударних імпульсів* [1].

Амплітуди ударних імпульсів однозначно зв'язані зі швидкістю співударяння дефектів і глибиною дефектів. Результати вимірів дуже легко пронормувати по швидкості співударяння, знаючи геометрію підшипника і його оберти. Таким чином, по амплітудах ударних імпульсів можна вірогідно діагностувати наявність і глибину дефектів. При цьому граничні значення, що характеризують той чи інший стан підшипника, виявляються абсолютно універсальними, тобто ніяк не залежать від типу й обертів підшипника.

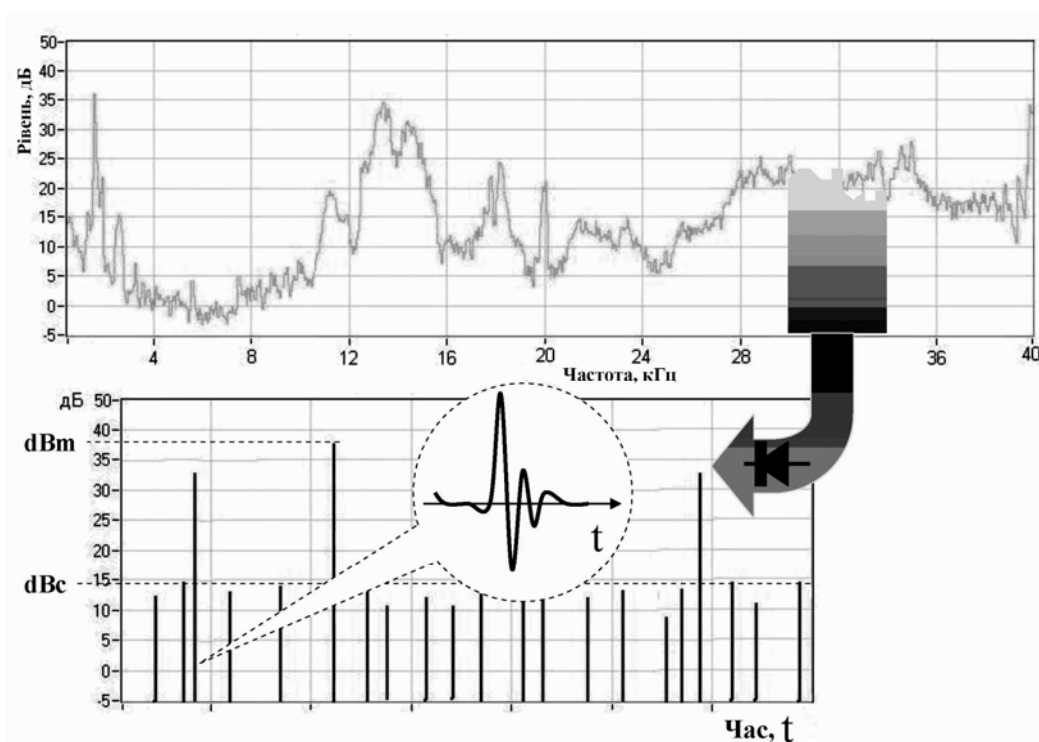


Рисунок 6 - Обробка сигналу по методу ударних імпульсів

Метод простий і дешевий у реалізації, має високу чутливість і дуже широко використовується як у середовищі професіоналів, так і для ТОР буксових вузлів вагонів, оскільки існують прості, портативні прилади, що

працюють по цьому методі.

Для використання методу існує одне обмеження, пов'язане з конструктивним виконанням механізму. Оскільки мова йде про вимір ультразвукових хвиль коливань, які дуже сильно згасають на границях роз'ємних з'єднань, для коректних вимірів необхідно, щоб між зовнішнім кільцем підшипника й місцем розташування датчика існував суцільний масив металу. У більшості випадків це не викликає проблем.

6. Порівняльні характеристики методів діагностики

Для виконання порівняльного аналізу вище наведених методів приведемо їх в зведену таблицю 1, в якій описані характеристики методів, а також максимальна оцінка параметрів буде наведена п'ятьма плюсами. Це особисті оцінки, що базуються на власному досвіді й не претендують на абсолютну істину.

Таблиця 1 - Порівняльні характеристики методів

Параметр	Оцінка методу			
	ПК-фактор	прямий спектр	спектр обвідної	ударні імпульси
1	2	3	4	5
1 Діагностика дефектів, що зароджуються	-	+	+++++	++++
2 Діагностика розвинених дефектів	++	+++	+++++	+++++
3 Оцінка стану за результатами однократного вимірювання	+	++	+++++	+++++
4 Оцінка стану при спостереженні за зміною вібропараметра в часі	+++	++++	+++++	+++++
5 Поділ стану підшипника по кінематиці й змащенню	-	-	+	++++

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
6 Ідентифікація змін кінематики підшипника з конкретними джерелами (тіла кочення, доріжки, сепаратор, перекося ...)	-	+++	++++	-
7 Перешкодозахищеність	+	++	+++++	++++
8 Апаратурно реалізується простими портативними засобами віброконтролю, капітальні вкладення мінімальні	++++	++	++	+++++
9 Апаратурні засоби з функціями спектрального аналізу, досить складні та мають високу вартість для масового споживача	-	++++	+++++	-

Висновки. Складний характер зареєстрованої вібрації буксових вузлів вагонів з підшипниками кочення потребує залучення сучасних методів обробки вібраційних сигналів для усунення завад та виділення корисного сигналу. Вкрай важливим завданням, розв'язання якого дозволяє вчасно виявляти передаварійний стан та підвищувати безпеку руху поїздів є проведення ґрунтовних досліджень з метою інтерпретації та класифікації отриманих дискретних частотних складових на спектрах вібрації, що ототожнюються з технічним станом підшипників кочення буксових вузлів вагонів.

Список літератури

1. Барков, А. В. Диагностика и прогноз состояния подшипников качения по сигналу вибрации [Текст] / А. В. Барков // Журнал Судостроение. – 1985. - №3. – С. 21–23.
2. Борзилов, І. Д. Визначення працездатності буксових вузлів вагонів вібродіагностичними методами [Текст] / І. Д. Борзилов, В. Г. Равлюк, М. Г. Равлюк // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: - 2009. – Вип. 19. – С. 83 - 92.
3. Равлюк, В. Г. Особливості спектрального методу вібродіагностування буксових вузлів вантажних вагонів [Текст] / В. Г. Равлюк // Восточно - Европейский журнал

передовых технологий. - 2008. – Вып. 4/3 (34). - С. 25 - 27.

4. Кравченко, В. М. Технічне діагностування механічного обладнання [Текст]: підруч. / В. М. Кравченко, В. А. Сидоров, В. Я. Седуш. – Донецьк: ТОВ „Юго-Восток, Лтд“, 2007. - 447 с.

5. Явленский, К. Н. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем [Текст]: учеб. / К. Н. Явленский, А. К. Явленский; - Л.: Машиностроение, 1983. – 239 с.

6. Барков, А. В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации [Текст]: учеб. / А. В. Барков, Н. А. Баркова; СЗУЦ. - СПб.: СПбГМТУ, 2004. -156 с.

УДК 629.4.083:629.45

Скуріхін Д.І., аспірант (УкрДАЗТ)

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ СУЦЬНОКАТАНИХ КОЛІС ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Постановка проблеми. Кожен об'єкт в певних умовах експлуатації при фіксованому напрацюванні має обмежене число деталей або вузлів, які найчастіше виходять з ладу, вони одержали назву: «лімітуючі надійність» і в основному визначають величину матеріальних і трудових витрат на підтримку об'єкту в працездатному стані.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження «ВНИИЖТ» [1,2] показали, що в період між плановими ремонтами пасажирські вагони відчіплюються до 2-х разів і в більшості випадків унаслідок відмов коліс (53%). Автори відзначають, що пробіг колісних пар між обточуваннями за прокатом в 2 рази менше міжремонтного пробігу вагону. Також безвідмовний пробіг колісних пар обмежують відмови коліс гальмівного і втомного походження. Відомо, що відчеплення вагонів в поточний ремонт значно ускладнюють діяльність ЗТ. Вони, крім робіт, пов'язаних з усуненням несправностей, приводять до зриву графіків руху потягів, зайвим простоям на станції та ін.

Постановка завдання. Природний знос і пошкодження випадкового характеру коліс істотно обмежують безвідмовний пробіг пасажирських вагонів, що знижує економічну ефективність роботи залізниць. У даній публікації проведена оцінка експлуатаційної надійності коліс в сучасних