

ОСОБЛИВОСТІ СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДУ ВІБРО- ДІАГНОСТУВАННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

В. Г. Равлюк

Старший викладач кафедри «Вагони»
Українська державна академія залізничного транспорту
пр Фейєрбаха 7, м. Харків, Україна 61050.
e-mail:ravlyukvasiliy@rambler.ru

Враховуючи складний характер вібрацій буксових вузлів рухомого складу залежно від технічного стану встановлено, що широкосмуговий спектр вібрації не здатен забезпечити достовірне виявлення пошкоджень, що зароджуються в елементів підшипників кочення, й попередити подальший розвиток пошкоджень до небезпечного рівня

1. Вступ

Визначення технічного стану буксових вузлів вантажних вагонів безрозбірними методами є природнім шляхом підвищення якості ремонту й зниження експлуатаційних витрат. Головним завданням зазначеного заходу можна вважати перехід на обслуговування й ремонт рухомого складу за фактичним технічним станом шляхом удосконалення існуючої технології вібродіагностування.

2. Аналіз останніх публікацій

Протягом тривалого часу методи контролю й діагностування обладнання за будь-якими видами діагностичних сигналів ґрунтувалися на порівнянні величини сигналу або його складових з граничними значеннями, що поділяють множини бездефектних і дефектних станів [3].

Системи контролю й діагностування, які створювалися на базі цих методів забезпечували виділення інформативних складових з вимірюваного сигналу й реєстрацію моментів перевищення ними граничних значень [1, 5]. Будь-яке перевищення порогів реєструвалося як дефект, вид якого визначався за сукупністю складових, які перевищили заздалегідь задані пороги.

Проте протягом тривалого часу основний акцент робився на вимірюванні й аналізі низькочастотної вібрації, для чого обмежувались найпростішими вимірювальними приладами. Навіть при діагностиці машин «на слух», за допомогою стетоскопа, фактично аналізувалася низькочастотна й середньочастотна ві-

брація, для збудження якої необхідні значні коливальні сили [4].

Проте методи ідентифікації пошкоджень на ранніх стадіях та необхідність усунення недоліків спектральних методів у широкому частотному діапазоні залишались поза увагою.

Мета статті – обґрунтування особливостей побудови й аналізу широкосмугового спектру вібрації досліджуваних сигналів й недоліків, властивих зазначеним заходам.

3. Особливості спектрального методу вібродіагностування.

Найпростішою з інформаційної технології саме для функціонального діагностування є енергетична технологія, заснована на вимірюванні потужності або амплітуди контрольованого сигналу. Як діагностичний сигнал може використовуватись вібрація. Технологія будується на вимірюванні величин складових сигналів, попередньо виділених у певних частотних діапазонах із наступним порівнянням їх із граничними значеннями.

Суть спектрального аналізу заснована на дискретному перетворенні Фур'є вібросигналу й полягає у розподілі потужності вібросигналу в частотній області на компоненти з різними властивостями й різної природи. Безперервний коливальний сигнал складної форми (рис. 1) без розривів можна математично представити у вигляді суми окремих синусоїдальних і косинусоїдальних гармонік із різними частотами й амплітудами.

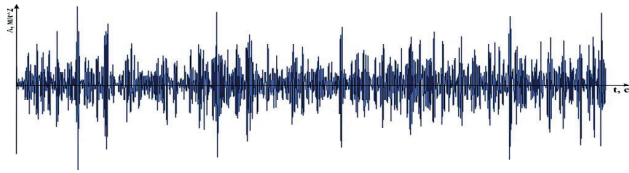


Рис. 1. Часова форма віброцигналу

Спектр вібрації відображає розподіл потужності часового вібраційного сигналу в частотній області, будується після використання алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), яке є різновидом дискретного перетворення Фур'є (ДПФ)

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) [\cos(2\pi nm / N) - j \sin((2\pi nm / N)), \quad (1)$$

де $X(m)$ – m -й компонент ДПФ,

тобто $X(0), X(1), X(2), X(3), \dots$ та ін.,

m – індекс ДПФ в частотній області,

$m = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$,

$x(n)$ – послідовність вхідних відліків

$x(0), x(1), x(2), x(3), \dots$ та ін.,

n – часовий індекс вхідних відліків $n = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$,

$$j = \sqrt{-1},$$

N – кількість відліків вхідної послідовності й кількість частотних відліків результату ДПФ.

Кожен вхідний відлік ДПФ $X(m)$ представляє собою суму почлених добутків вхідної послідовності відліків сигналу на послідовність відліків комплексної синусоїди (гармоніки) вигляду $\cos(\phi) - j \sin(\phi)$. Точні значення частоти різних синусоїд залежать як від частоти дискретизації f_s , з якою був дискретизований початковий сигнал, так і від кількості відліків N [3]. Поряд із беззаперечними перевагами до недоліку ДПФ слід віднести заміну вхідного сигналу на періодичний, а також отримання усереднених коефіцієнтів для всього досліджуваного сигналу.

Типовий широкосмуговий спектр (рис. 2) характеризується значною кількістю гармонічних складових в області низьких частот.

По мірі збільшення частоти гармонічних складових стає менше й вони практично відсутні в області високих частот.

Функціонування більшості приладів і систем, що застосовуються у вібродіагностичних цілях, засновано на спектральному аналізі вхідного сигналу у широкому частотному діапазоні. Таке застосування обумовлюється як простотою методу так і його відносною універсальністю.

Параметри вібрації підшипників кочення визначаються конструктивними особливостями буксового вузла. На вібрацію буксового вузла впливають дефекти виготовлення й збирання підшипників кочення, а також пошкодження, що утворюються протягом експлуатації [1].

Види пошкоджень ідентифікуються за основними та додатковими групами гармонік [5, 6] у спектрі віброцигналу. До основних груп гармонік належать:

– гармоніки із частотами, кратними частоті обертання кільця підшипника $kf_{об}$

$$f_{\rightarrow 1} = \frac{n}{60}, \text{ Гц} \quad (2)$$

де $f_{об}$ – частота обертання внутрішнього кільця, k – кратність гармоніки.

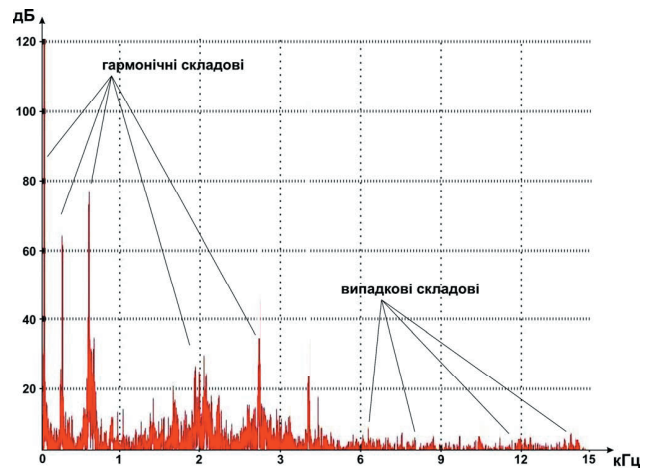


Рис. 2. Широкосмуговий спектр вібрації

– гармоніки із частотами, кратними частоті перекошування тіл кочення по зовнішньому кільцю $kf_{зовн}$

$$f_{зовн} = \frac{1}{2} f_{об} \left(1 + \frac{d_{тк}}{d_c} \right) \cdot Z_{тк}, \text{ Гц}, \quad (3)$$

де $d_{тк}$ – діаметр тіла кочення;

d_c – діаметр сепаратора;

$Z_{тк}$ – кількість тіл кочення підшипника кочення.

– гармоніки із частотами, кратними частоті перекошування тіл кочення по внутрішньому кільцю $kf_{внут}$

$$f_{внут} = \frac{1}{2} f_{об} \left(1 - \frac{d_{тк}}{d_c} \right) \cdot Z_{тк}, \text{ Гц}, \quad (4)$$

– гармоніки із частотами, кратними частоті обертання сепаратора kf_c

$$f_c = \frac{1}{2} f_{об} \left(1 - \frac{d_{тк}}{d_c} \right), \text{ Гц} \quad (5)$$

– гармоніки із частотами, кратними частоті обертання тіл кочення $kf_{тк}$

$$f_{тк} = \frac{1}{2} f_{об} \frac{d_c}{d_{тк}} \left(1 - \frac{d_{тк}^2}{d_c^2} \right), \text{ Гц} \quad (6)$$

Гармоніки, обчислені за виразами (2 – 6), дають змогу ідентифікувати вид пошкодження підшипників кочення.

У сигналі вібрації характерна поява гармонічних частотних складових, не кратних частоті обертання внутрішнього кільця. При однаковому ступені розвитку пошкодження вібрація, що викликається внутрішнім кільцем, має більш низьку інтенсивність, ніж вібрація від зовнішнього кільця. На віброграмі з'являються ударні імпульси й викиди, віброграма набуває випадкового неперіодичного характеру проте деякі імпульси можуть бути періодичними.

Пошкодження внаслідок зношування поверхонь кочення впливають на характер вібрації у всьому

частотному діапазоні. Наявність ударних імпульсів і випадкової вібрації призводить до насиченого складу спектру вібрації. Основна властивість дефектів зношування – високий рівень випадкової вібрації й наявність ударних імпульсів.

Похибки виготовлення й монтажу деталей, температурні зміни геометричних параметрів деталей і зазорів у з'єднаннях, зміна в'язкості мастила, порушення форми й якості поверхонь деталей, що взаємодіють, нестабільність обертів колісної пари й безліч інших випадкових факторів призводять до флуктуацій амплітуд і розмиванню дискретних ліній ширококутового спектра протягом діагностування.

Поява складових вібрації на резонансних частотах інших деталей свідчить про сильне зношування підшипника кочення. Високий рівень випадкової вібрації (ширококутовий шум) з'являється при значних пошкодженнях підшипників кочення. Зазначена стадія розвинутого пошкодження чітко ідентифікується ширококутовим спектром вібрації.

Основною причиною пропуску передаварійної ситуації при використанні ширококутового спектру є його низька чутливість до пошкоджень, що зароджуються, до порушення змащення, що призводить до прискореного зношування підшипників у період між діагностичними вимірюваннями.

Друга причина визначається тим, що у випадку нестабільної частоти обертання внутрішнього кільця підшипника кочення в момент проведення діагностичних вимірювань у спектрі вібрації «розмиваються» спектральні лінії, що призводить до викривлення результатів діагнозу.

Третя причина полягає в тому, що на початковій стадії руйнування підшипника можливі випадки, коли підшипникова вібрація, що збуджується ударами при контакті пошкоджених ділянок поверхонь кочення перестає бути періодичною навіть при постійній частоті обертання внутрішнього кільця і її зростання не може бути ідентифіковане ширококутовим спектром. При цьому може зростати інтегральний рівень вібрації на високих, середніх або низьких частотах, залежно від виду пошкодження.

Так, наприклад, якщо при пошкодженнях поверхонь кочення може зростати загальний рівень вібрації, в тому числі й на низьких частотах, то при пошкодженнях сепаратора зростання рівня вібрації спостерігається, насамперед, на високих частотах, роздільність яких на ширококутових спектрах вібрації є низькою, що унеможливорює достовірну ідентифікацію технічного стану вузла без залучень додаткових методів аналізу вібрації.

Очевидно, що для виявлення пошкоджень, що зароджуються, слід перейти на вимірювання й аналіз високочастотної вібрації, незважаючи на те, що вона є інформативною в безпосередній близькості від пошкодження. Є очевидним той факт, що риси ширококутового спектру є однаковими для різних видів пошкоджень.

Таким чином, на сьогоднішній день можливості прямого спектру вібрації не можуть повною мірою задовольнити зростаючі вимоги до якості розв'язання завдань вібродіагностування, що призводить до необхідності фахівцям кафедри «Вагони» досліджувати досконаліші методи діагностування.

4. Висновки

Сучасні методи вібродіагностування вузлів із підшипниками кочення на основі ширококутового спектру не сприяють підвищенню вимог з безпеки руху, що обумовлює необхідність впровадження ефективних методів аналізу вібросигналів, зокрема методу обвідної спектру вібрації.

У ширококутовому спектрі вібрації досить часто частотні складові, характерні для пошкоджень кільця підшипника, призводять до появи додаткових складових на спектрах вібрації, чітка ідентифікація яких можлива лише після застосування додаткових заходів.

Література

1. Бейзельман Р. Д., Цыпкин Б. В. Подшипники качения. Справочник. – М.: Машиностроение, 1975. – 362 с.
2. Браун, Датнер. Анализ вибраций роликовых и шариковых подшипников: Пер. с англ. – Конструирование и технология машиностроения. – М.: Мир, 1979. – т. 101, №1, С. 65 – 82.
3. Р. Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.
4. Орлов М. В., Тагиров А. Ф., Сидоров С. В., Зерницкий Б. А. Диагностика роликовых подшипников // Железнодорожный транспорт. – 1985. – №7. – С. 53 – 55.
5. Barkov A. V., Barkova N. A., Mitchell J. S. Condition Assessment and Life Prediction of Rolling Element Bearings // Sound and Vibration, Part 2. – 1995. – P. 27 – 31.
6. M. S. Safizadeh, A. A. Lakis and M. Thomas. Time-Frequency Algorithms and Their Application. International Journal of Computers and Their Applications, Vol. 7, No. 4, PP. 1-20, Dec. 2000.