

УДК 629.4.06:621.822.614

**ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ
ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАГОНІВ З
ПІДШИПНИКАМИ КОЧЕННЯ**

Старш. викл. В.Г. Равлюк, Л.С. Стасів, А.О. Дудник, О.Г. Сологуб

**ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССА ВИБРОДИАГНОСТИКИ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ВАГОНОВ С
ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ**

Старш. преп. В.Г.Равлюк, Л.С. Стасив, А.О. Дудник, А.Г. Сологуб

**FEATURES MATHEMATICAL MODELING OF VIBRO AXLE UNIT CAR
FROM ROLLING BEARINGS**

V.H. Ravlyuk, L.S. Stasiv, A.O. Dudnyk, O.H. Solohub

Описано діагностичні та математичні моделі підшипника кочення буксового вузла вагона, які подані у вигляді системи алгебраїчних рівнянь і диференціальних рівнянь, феноменологічних моделей, логічних співвідношень, функціональних, структурних, регресійних та інших типів моделей.

Розглянут особливості методів математичного моделювання, які дозволяють визначити оцінку технічного стану буксових вузлів вагонів з підшипниками кочення.

Ключові слова: *вібродіагностування, буксовий вузол, підшипник, діагностування, діагностична модель, математичне моделювання, діагностична ознака.*

Описаны диагностические и математические модели подшипника качения буксового узла вагона, которые представлены в виде системы уравнений и дифференциальных уравнений, феноменологических моделей, логических соотношений, функциональных, структурных, регрессионных и других типов моделей.

Рассмотрены особенности методов математического моделирования, которые позволяют определить оценку технического состояния буксовых узлов вагонов с подшипниками качения.

Ключевые слова: *вибродиагностики, буксовой узел, подшипник, диагностирование, диагностическая модель, математическое моделирование, диагностический признак.*

Describes the diagnostic and mathematical models of the rolling bearing axle-box host of the car, which is represented as a system of equations and differential equations, phenomenological models, logical relationships, functional, structural, regression and other types of models.

Considered are the peculiarities of mathematical modeling methods, which allow to determine the assessment of the technical condition of axlebox units of cars with rolling bearings.

Keywords: *Vibro, axle hub, bearing, diagnosis, diagnostic model, mathematical modeling, diagnostic feature.*

Вступ. Визначення технічного стану буксових вузлів вагонів безрозбірними методами є природним 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.

Широке застосування у промисловості методів та засобів технічної діагностики забезпечує перехід на якісно новий рівень експлуатації машини, що залежить від її фактичного технічного стану, а не від жорсткого графіка планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Графік ППР, що складається на основі середньостатистичних даних про величину міжремонтного періоду, не гарантує безаварійної роботи машини в міжремонтний період.

Використання засобів діагностики дає змогу збільшити міжремонтний період, значно зменшити експлуатаційні витрати, зокрема, за рахунок зниження потреби в

запасних частинах і зниження трудомісткості ремонтних робіт.

Аналіз останніх досліджень.

Значного поширення у всьому світі набули методи контролю й діагностики підшипників кочення, що базуються на вимірюванні параметрів вібрації. Обумовлено це тим, що вібраційні сигнали несуть в собі інформацію про стан механізму та підшипників зокрема. При цьому теорія й практика аналізу вібросигналів до теперішнього часу так відпрацьована, що можна отримати достовірну інформацію про поточний технічний стан не тільки підшипника, але і його елементів [1, 4, 5].

Методи й засоби вібродіагностування підшипників локомотивів та вагонів описано в працях РПЗТ, ХІПТ, ТашПТ, ВНДІЗТ та ін. [2, 3]. В той же час досліджень, що спрямовані на створення моделей працездатності буксових вузлів вагонів з використанням методів вібродіагностування, проводиться надто мало.

За існуючою технологією контролю стан підшипників кочення буксового вузла

вагона оцінюється за непрямыми параметрами: наявністю металевої стружки в мастилi; зміною температури корпусу букси; зміною вібрації в штатних точках у діапазоні роторних частот [5-11].

Мета статті. Розглянути особливості методів математичного моделювання для визначення оцінки технічного стану буксових вузлів вагонів з підшипниками кочення.

Викладення основного матеріалу. Здійснення процесу діагностування

підшипників кочення у загальному випадку припускає обов'язкову наявність:

- об'єкта діагностування;
- технічних засобів діагностування;
- людини-оператора.

При цьому для забезпечення оператора відповідною діагностичною інформацією необхідна певна організація взаємодії об'єкта і засобів діагностування, що у результаті утворює систему діагностування.

Структурну схему системи діагностування наведено на рисунку.

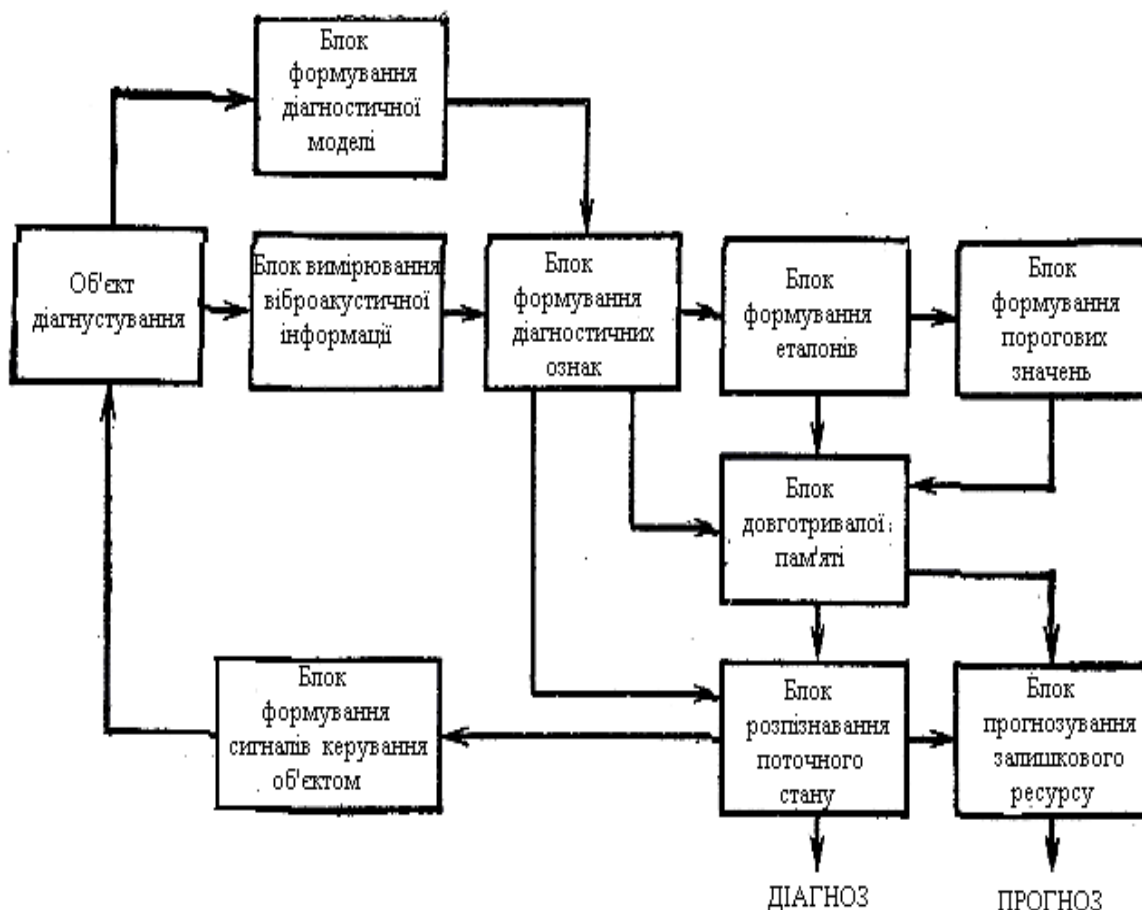


Рис. Структурна схема діагностування

Згідно з даною схемою система включає такі взаємодіючі між собою складові частини, що реалізують певні операції у процесі діагностування [9, 11]:

- об'єкт діагностування, що змінює свій технічний стан;

- підсистему формування діагностичної моделі, що забезпечує взаємозв'язок між технічним станом і вібрацією;

- підсистему вимірювання, що поставляє початкову для аналізу інформацію, що міститься у вібраційному сигналі;

- підсистему формування діагностичних ознак, що перетворює отриману при вимірюваннях інформацію у форму, зручну для розпізнавання поточного технічного стану;

- підсистему формування еталонів, що встановлює відповідність між фіксованим технічним станом і набором діагностичних ознак;

- підсистему вирішальних правил, що містить правила, згідно з якими здійснюється розпізнавання технічного стану;

- підсистему розпізнавання поточного стану, в якій на підставі вирішальних правил ставиться діагноз технічного стану;

- підсистему прогнозування, де на основі аналізу трендових характеристик параметрів технічного стану визначається залишковий ресурс.

Діагностична модель підшипника кочення

Модель, моделювання є фундаментальними поняттями, якими оперує дослідник у процесі вивчення дійсності, що його оточує.

У найбільш загальному вигляді під моделлю розуміють спрощений тією чи іншою мірою розгляд явища, що нас цікавить, спрямований на виявлення його обґрунтованих закономірностей.

Моделюванням відповідно називається процедура розроблення моделі явища і подальшого вивчення з її допомогою особливостей цього явища [8, 10, 11].

Залежно від виду моделі, що використовується, моделювання ділиться на математичне, фізичне і змішане.

Моделювання в діагностиці дає змогу:

- сформулювати умови працездатності, тобто умови поділу множини станів M , в яких підшипники кочення перебувають протягом свого життєвого циклу, принаймні, на дві підмножини: працездатна M_1 і непрацездатна M_2 ;

- отримати критерії для оцінки ступеня працездатності підшипників

кочення (тобто розрізнити зони M_{1i} в підмножині M_1);

- встановити ознаки несправностей (тобто розрізнити зони M_{2j} в підмножині M_2);

- встановити відповідність між параметрами, що визначають працездатність M (простором станів) і діагностичними ознаками D (простором діагностичних ознак).

Розглянемо докладніше, як вирішується це завдання при використанні вказаних вище моделей.

Математичне моделювання підшипника кочення

При математичному моделюванні підшипники кочення [10, 11] умовно розглядають як якийсь перетворювач A параметрів її технічного стану x_i (величини зазорів, натягу, перекошення кілець тощо) в параметри вібрації y_i (рівень і спектральний склад віброзсуву, віброшвидкості, віброприскорення тощо), що виникає при його функціонуванні [10]:

$$\{Y\} = A\{X\}, \quad (1)$$

де $\{Y\}=(y_1, y_2...y_n)$ – вектор діагностичних ознак розмірністю n , складений з параметрів вібрації y_i , які використовуються при діагностуванні і називаються діагностичними ознаками;

$\{X\}=(x_1, x_2...x_n)$ – вектор структурних параметрів, розмірність якого n визначається кількістю параметрів технічного стану x_i , які виявляються у процесі діагностування.

Розмірності n і m у загальному випадку нерівні між собою, причому діагностування можливе лише при виконанні умови $n > m$.

Задача вібродіагностування полягає в побудові залежності, зворотної для формули (1),

$$\{X\} = G^{-1}\{Y\}. \quad (2)$$

У простому випадку залежність (2) може бути функціональною:

$$x_i = F_i(y_1, y_2, \dots, y_n), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

конкретний вид якої встановлюється в період навчання, що передує етапу встановлення діагнозу. Цю функцію або систему функцій можна розглядати як відображення простору технічних станів, заданого координатами x_1, x_2, \dots, x_m , в простір діагностичних ознак з координатами y_1, y_2, \dots, y_n . При цьому виникає і становить особливий інтерес питання однозначності цього відображення.

Якщо кожному з параметрів стану x_i вдається поставити у відповідність тільки одну характерну діагностичну ознаку y_i , то система (3) розпадається на m незалежних співвідношень виду

$$x_i = F_i(y_i), \quad (4)$$

причому $n=m$. Діагностичні ознаки в цьому випадку вибираються з фізичних міркувань на основі математичного моделювання динаміки підшипника кочення [10].

Висновок. При побудові моделі підшипника кочення буксового вузла вагона необхідно розглядати істотні властивості підшипника, виключно важливі для встановлення діагнозу. Заміна реальних пристроїв їх моделями, що ідеалізуються, дозволить відмовитися від їх фізичної природи і за допомогою різних

математичних методів формалізувати вирішення діагностичних.

Діагностичні моделі розглядають, як правило, як моделі, подані у вигляді системи алгебраїчних рівнянь і диференціальних рівнянь, феноменологічних моделей, логічних співвідношень, функціональних, структурних, регресійних та інших типів моделей.

Вибір того або іншого типу моделі залежить від цілого ряду чинників (умови експлуатації підшипників кочення, конструктивного виконання, частотного діапазону вібрацій, що генеруються ними, тощо). Розрахункова модель (схема) складається з урахуванням найбільш істотних властивостей підшипників кочення, що визначають їх динамічну поведінку.

Вплив дефекту, що визначається, на параметри підшипника кочення як динамічної системи дуже багатогранний. В одних випадках дефект змінює характер збурення G , в інших – впливає на матриці жорсткості, демпфірування та інерції. Тому в конструкції реального підшипника кочення параметри елементів системи можуть відрізнятися від розрахункових значень і змінюватися у процесі експлуатації із зміною технічного стану. Тому у вібродіагностуванні існує необхідність аналізу впливу зміни технічного стану на зміну параметрів системи аналітичним шляхом, тобто на основі відомої математичної моделі.

Список використаних джерел

1. 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.
2. Погребняк, А.В. Совершенствование методики диагностирования подшипников тепловозных турбокомпрессоров по вибрационным характеристикам [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / А.В. Погребняк. – Днепропетровск, 1990. – 164 с.

3. Тартаковский, Э.Д. Вибродиагностика подшипников скольжения турбокомпрессоров с помощью кепстра [Текст] / Э.Д. Тартаковский, Е.А. Игуменцев, А.В. Погребняк // Сб. науч. трудов. – Харьков: ХИИТ, 1990. – 15 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, № 5266.
4. Мартинов, І.Е. Вібродіагностування підшипників кочення рухомого складу методом обвідної [Текст] / І.Е. Мартинов, В.Г. Равлюк // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 23. – С. 127-134.
5. Павлов, Б.В. Акустическая диагностика механизмов [Текст]: учебник / Б.В. Павлов. – М.: Машиностроение, 1971. – 427 с.
6. Барков, А.В. Диагностика и прогноз состояния подшипников качения по сигналу вибрации [Текст] / А.В. Барков // Судостроение. – 1985. - №3. – С. 21-23.
7. Равлюк, В.Г. Обґрунтування доцільності розробки технології вібродіагностування буксових вузлів вантажних вагонів [Текст] / В.Г. Равлюк // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 214-221.
8. Кравченко, В.М. Технічне діагностування механічного обладнання [Текст]: підручник / В.М. Кравченко, В.А. Сидоров, В.Я. Седуш. – Донецьк: ТОВ „Юго-Восток, Лтд“, 2007. - 447 с.
9. Равлюк, В.Г. Вібродіагностика та методи діагностування підшипників кочення буксових вузлів вагонів [Текст] / В.Г. Равлюк // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 21. – С. 177-189.
10. Барков, А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации [Текст]: учебник / А.В. Барков, Н.А. Баркова; СЗУЦ. – С.Пб.: СПбГМТУ, 2004. – 156 с.
11. Генкин, М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов [Текст]: учебник / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. — М.: Машиностроение, 1987. –288 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

Равлюк Василь Григорович, старш. викл. кафедри вагонів.

Стасів Леонід Станіславович, начальник, слухач ІППК, гр. МЗ-В-Б-11, Львівська залізниця.

Дудник Андрій Олексійович, слухач ІППК, гр. МЗ-В-Б-11, Південна залізниця.

Сологуб Олександр Геннадійович, слухач ІППК, гр. МЗ-В-Б-11, Південна залізниця.

Ravlyuk V.H., Stasiv L.S., Dudnyk A.O., Solohub O.H.