

Ю. І. ОСЕНІН, В. П. ВОЙТЕНКО (Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

МОНІТОРИНГ СТАНУ КОЛІС ПІД ЧАС РУХУ РУХОМОГО СКЛАДУ

Обґрунтовано можливість адаптації та використання методу синтезованої фокуруючої апертури для контролю стану коліс під час руху рухомого складу. Одержано систему рівнянь для визначення місця розташування дефекту в колесі та уточнено формулу для відновлення зображення дефекту. Запропоновано бортовий пристрій для безперервного моніторингу стану коліс під час руху рухомого складу.

Обоснована возможность адаптации и использования метода синтезированной фокусирующей апертуры для контроля состояния колес во время движения подвижного состава. Получена система уравнений для определения места расположения дефекта в колесе и уточнена формула для восстановления изображения дефекта. Предложено бортовое устройство для непрерывного мониторинга состояния колес во время движения подвижного состава.

The possibility of adaptation and use of the method of synthesized focusing aperture for checking the condition of wheels during movement of the vehicle is substantiated. A set of equations for the determination of defect location in a wheel is obtained and a formula for restoration of the defect image is improved. An on-board device for continuous monitoring of the condition of wheels during the vehicle movement is suggested.

Під час вирішення стратегічної задачі підвищення ефективності залізничних перевезень виникає необхідність у підвищенні швидкостей руху потягів, маси вантажних потягів, а також у забезпеченні безпеки руху і запобіганні виникненню аварійних ситуацій, пов'язаних з утворенням та розвитком внутрішніх напружень в матеріалі колеса і рейки, здатних привести до зламу коліс, розриву бандажів і зламів рейки.

З метою зниження аварійності на залізничному транспорті застосовується моніторинг стану колії і ходових частин рухомого складу. Існуючі пристрої, що здійснюють моніторинг стану рухомого складу, реалізовані у вигляді підлогового і бортового устаткування для виявлення несправностей буксових вузлів, деталей, що провисають і волочаться. Контроль стану рухомого складу під час руху на 90 % здійснюється на основі виявлення перегрітих букс із використанням болометричних датчиків вимірювання теплового випромінювання.

Розроблено стаціонарну систему, що включає в себе функціональний модуль виявлення макродефектів на ободі колеса, у той час як мікродефекти в колесах під час руху рухомого складу не контролюються [1]. Таким чином, зниження аварійності рухомого складу за рахунок безперервного моніторингу стану коліс під час руху рухомого складу з метою своєчасного виявлення дефектів у колесі і вживання заходів щодо запобігання виникненню аварійних ситуацій є актуальною науково-технічною задачею.

Метою роботи є здійснення безперервного моніторингу стану коліс під час руху рухомого складу на основі методів акустичного контролю і з використанням методу синтезованої фокуруючої апертури для виявлення дефектів і візуалізації результатів моніторингу.

Задачами дослідження є: вибір методу безперервного контролю стану коліс під час руху рухомого складу; обґрунтування можливості застосування й адаптація методу синтезованої фокуруючої апертури для виявлення і візуалізації нещільностей матеріалу коліс рухомого складу; розробка системи для контролю стану коліс і аналізу результатів моніторингу.

Основний зміст дослідження. Для виявлення нещільностей матеріалу елементів екіпажної частини рухомого складу, а також рейкової колії широко застосовуються акустичні методи контролю [2–4]. Однак інформація про внутрішній стан виробу, одержувана за допомогою стандартних акустичних методів контролю, не завжди є достатньою для встановлення ступеня небезпеки нещільності і можливості подальшої експлуатації виробу.

Для одержання більш точної інформації про розташування нещільності, її форму і розміри, а також для візуалізації нещільності матеріалу виробу використовується метод синтезованої фокуруючої апертури, що є методом моделювання широкодіапазонного фокууючого променя ультразвукового перетворювача за допомогою цифрової обробки амплітуд сигналів у всьому діапазоні контролю й інформації, одержуваної за допомогою сканування нещільностей звичайним нефокууючим променем [5].

Запис інформації для моделювання за методом синтезованої фокуруючої апертури здійснюється за допомогою механічного сканатора, що переміщає по поверхні нерухомого виробу необхідну кількість ультразвукових перетворювачів. Для виявлення і візуалізації нещільностей обертового колеса під час руху рухомого складу необхідно удосконалення й адаптація методу.

Контроль стану колеса під час руху рухомого складу здійснюватимемо одним нерухомим електромагнітоакустичним (ЕМА) перетворювачем. Принцип визначення місцезнаходження дефекту в колесі під час руху рухомого складу пояснюється схемою, наведеною на рис. 1.

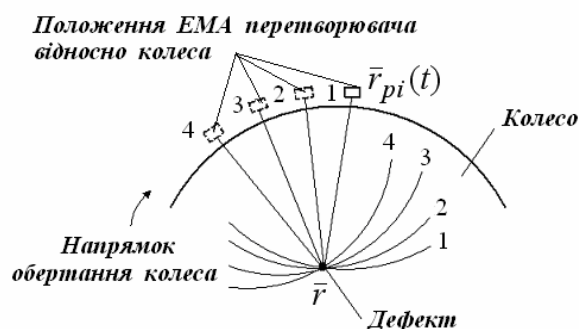


Рис. 1. Схема визначення місцезнаходження дефекту в колесі під час руху рухомого складу

Приймання ЕМА перетворювачем відбитого сигналу в момент часу t_0 після випромінювання означає, що неоднорідність матеріалу колеса знаходиться на дузі радіусом $r_0 = t_0 c / 2$ з центром в точці відліку перетворювача (c – швидкість поширення ультразвукових хвиль в матеріалі колеса). Дуги, побудовані при різних положеннях перетворювача, перетинаються в місці розташування дефекту в колесі. Координати r і φ місця розташування дефекту в колесі визначаємо за допомогою системи рівнянь

$$\begin{cases} r^2 - 2r\rho_p \cos(\varphi - \varphi_{pi}) + \rho_p^2 = r_{0i}^2; \\ r^2 - 2r\rho_p \cos(\varphi - \varphi_{pj}) + \rho_p^2 = r_{0j}^2, \end{cases} \quad (1)$$

де ρ_p , φ_{pi} і φ_{pj} – координати перетворювача.

Максимальний кутовий зсув $\Delta\varphi_s$ ультразвукового сигналу, обумовлений обертанням колеса

$$\Delta\varphi_s = \omega t_0,$$

де ω – кутова швидкість обертання колеса, й для значень $t_0 = 2R/c \approx 0,35$ мс (R – радіус колеса) і $\omega \approx 64c^{-1}$, що відповідає швидкості

руху потяга $v \approx 120$ км/год, $\Delta\varphi_s$ складе величину $2,24 \cdot 10^{-4}$ рад. Для перетворювача із шириною діаграми спрямованості $\alpha = 0,5$ рад відношення $\alpha / \Delta\varphi_s \approx 25$, що цілком достатньо для надійного виявлення дефектів в колесі під час руху рухомого складу.

Оцінимо неточність визначення місця розташування дефекту, обумовлену обертанням колеса, за формулою

$$\Delta r = \frac{0,5\Delta\varphi_s R (1 - \cos 0,5(\Delta\varphi_s + \alpha))}{\sin 0,5(\Delta\varphi_s + \alpha)}, \quad (2)$$

обчислення за якою дають $\Delta r \approx 0,8$ мм при швидкостях руху потяга близько 120 км/год і $\Delta r \approx 1,1$ мм при швидкостях руху потяга близько 200 км/год.

Відновлення зображення з урахуванням особливостей взаємного розташування ЕМА перетворювача і колеса під час руху рухомого складу здійснюємо за адаптованою формулою [2]:

$$I(\vec{r}) = \frac{1}{N(\vec{r})} \sum_{i=1}^{N(\vec{r})} |\vec{r}_{pi}(t) - \vec{r}|^2 s(t_0, \vec{r}_{pi}(t)), \quad (3)$$

де $I(\vec{r})$ – інтенсивність зображення в місці розташування дефекту; $N(\vec{r})$ – число відліків, за яких перетворювач приймає сигнал із точки колеса з радіусом-вектором \vec{r} ; $\vec{r}_{pi}(t)$ – радіус-вектор перетворювача; $s(t_0, \vec{r}_{pi}(t))$ – ультразвуковий сигнал, відбитий від дефекту і прийнятий перетворювачем; t_0 – час між випромінюванням і прийманням відбитого сигналу

$$t_0 = \frac{2|\vec{r}_{pi}(t) - \vec{r}|}{c}.$$

Суперпозиція ультразвукових сигналів, відбитих від дефекту матеріалу колеса і прийнятих ЕМА перетворювачем, приводить до збільшення рівня зображення в місці розташування дефекту.

Для здійснення безперервного моніторингу стану коліс під час руху рухомого складу розроблено пристрій, блок-схема якого наведена на рис. 2, а на рис. 3 наведено схему блока контролю колеса. ЕМА перетворювач, що збуджує в колесі ультразвукові хвилі, встановлюється на спеціальному кронштейні, що кріпиться нерухомо на вагонному візку, чим забезпечується необхідний зазор між перетворювачем і поверхнею кочення бандажа, що рухається відносно перетворювача. Для визначення кута повороту колеса застосовано магнітний датчик.

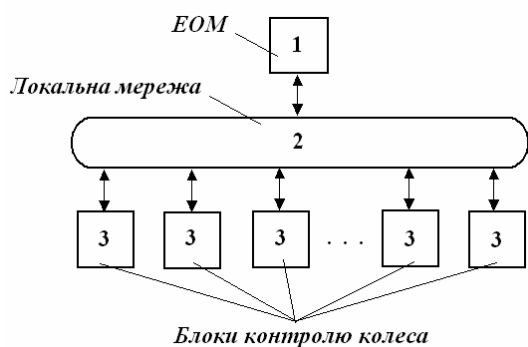


Рис. 2. Блок-схема пристрою для безперервного моніторингу стану коліс рухомого складу

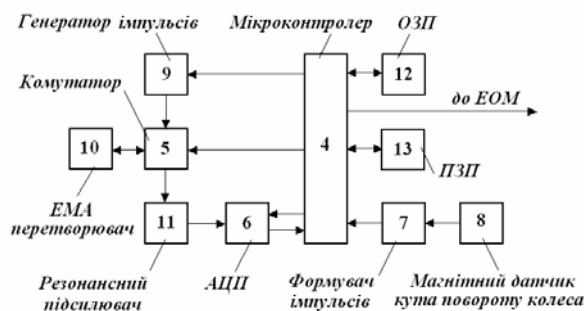


Рис. 3. Схема блока контролю колеса

Пристрій для безперервного моніторингу стану коліс рухомого складу працює таким чином. ЕОМ 1 ініціює обмін інформацією через локальну мережу 2 з блоками 3 контролю колеса. Кожний з цих блоків працює таким чином. Мікроконтролер 4 ініціює черговий цикл вимірювань стану колеса. Для цього у внутрішньому циклі він виконує послідовність зондувань колеса акустичними хвилями під різними кутами.

Щоб виконати зондування, мікроконтролер 4 переключає комутатор 5 в режим випромінювання та аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) 6 в режим готовності. Після отримання сигналу з перетворювача 7, що перетворює сигнал з магнітного датчика 8 кута повороту колеса в стандартний логічний рівень, мікроконтролер ініціює генерацію потужного імпульсу генератором 9, який через комутатор 5 подається на ЕМА перетворювач 10, за допомогою якого перетворюється в поверхні колеса в короткий акустичний зондувальний сигнал. Після цього мікроконтролер 4 переключає комутатор 5 в режим приймання та ініціює процес перетворення АЦП 6, на вхід якого подається віддзеркалений від дефекту колеса, перетворений в ЕМА перетворювачі 10 та підсилений в резонансному підсилювачі 11 електричний сигнал.

Результати вимірювань амплітуди віддзеркаленого акустичного сигналу та його запізнення в часі з моменту випромінювання записуються в оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) 12. Після цього процедура зондування колеса повторюється. Після проведення заданої кількості вимірювань мікроконтролер 4 ініціює обробку масиву даних, що знаходиться в ОЗП 12, за алгоритмом синтезованої фокусуєчої апертури.

Отриманий в результаті обробки масив, що містить розподіл інтенсивності віддзеркалених сигналів в колесі, порівнюється з еталонним масивом, записаним в постійному запам'ятовуючому пристрої (ПЗП) 13. Якщо в результаті порівняння еталонного масиву розподілу інтенсивності віддзеркаленого сигналу з масивом, отриманим при поточних вимірюваннях, виявлена невідповідність, викликана утворенням дефектів в колесі, то мікроконтролер 4 повідомляє через локальну мережу 2 ЕОМ 1 про цю подію і передає масив розподілу інтенсивності віддзеркалених сигналів для візуалізації тріщини або іншого дефекту на екрані монітора.

Висновки

Встановлено, що метод синтезованої фокусуєчої апертури дозволяє контролювати стан коліс при високих швидкостях руху потягів. Одержано систему рівнянь, що дозволяє визначити місця розташування дефектів у колесі. Неточність визначення місця розташування дефекту, обумовлена обертанням, складає $\Delta r \approx 0,8$ мм при швидкостях руху близько 120 км/год і $\Delta r \approx 1,1$ мм при швидкостях близько 200 км/год.

Отримана уточнена формула для відновлення зображення дефектів з урахуванням обертання колеса дозволяє здійснити статистичну обробку даних й візуалізувати результати моніторингу.

Застосування запропонованого бортового пристрою для безперервного моніторингу стану коліс рухомого складу дозволить уникнути аварійних ситуацій внаслідок руйнування коліс і бандажів рухомого складу.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Белоногов А. Г. Контроль состояния подвижного состава в пути следования / А. Г. Белоногов, Г. А. Николаев, Ю. В. Моисеев, А. В. Бартель // Железнодорожный транспорт. – 2004. – № 4. – С. 56–57.
2. Декларацийний патент на корисну модель №u200508876 МПК⁷В61К9/08. Спосіб автоматичного контролю технічного стану колісних пар рухомого складу / Осенін Ю. І., Войтенко Г. О. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Заявл. 19.09.2005. Опубл. 15.03.2006. Бюл. № 3.

3. Деклараційний патент на корисну модель №u200508874 МПК⁷B61K9/08. Пристрій для діагностики колісних пар рухомого складу / Осенін Ю. І., Войтенко Г. О. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Заявл. 19.09.2005. Опубл. 15.03.2006. Бюл. № 3.
4. Деклараційний патент на корисну модель №u200508879 МПК⁷B61K9/08. Пристрій для автоматичного контролю технічного стану колісних пар рухомого складу / Осенін Ю. І., Войтенко Г. О. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Заявл. 19.09.2005. Опубл. 15.03.2006. Бюл. № 3.
5. Давыдов Е. А. Компьютеризированная технология НК для определения размеров несплошностей сварных соединений ответственных конструкций методами синтезированной фокусирующей апертуры / Е. А. Давыдов, В. П. Радько // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2003. – № 2. – С. 32–35.

Надійшла до редколегії 24.11.2006.