

Ю. І. ОСЕНІН, В. П. ВОЙТЕНКО

(Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ З АДАПТАЦІЄЮ ДО УМОВ НЕКОНТРОЛЬОВАНИХ АКУСТИЧНИХ ПЕРЕШКОД

Запропоновано пристрій для діагностування рейкової колії з адаптацією до умов неконтрольованих акустичних перешкод техногенного походження, які поширюються в матеріалі рейки, шляхом застосування спектрального аналізу на основі перетворення Фур'є, цифрової фільтрації і статистичної обробки сигналів. Розглянуто блок-схему і роботу пристрою.

Предложено устройство для диагностирования рельсового пути с адаптацией к условиям неконтролируемых акустических помех техногенного происхождения, распространяющихся в материале рельса, путем применения спектрального анализа на основе преобразования Фурье, цифровой фильтрации и статистической обработки сигналов. Рассмотрена блок-схема и работа устройства.

The paper suggests a railway track diagnostic device adaptable to the conditions of uncontrolled acoustic interferences of man-caused origin propagating in the rail material by means of using the spectral analysis based upon the Fourier transformation, digital filtration and statistical signal processing. The device block diagram and its operation are considered.

Одним із заходів, необхідних для забезпечення надійної роботи залізничного транспорту, є діагностування залізничної колії. У роботі [1] розглянуто можливість застосування акустичних методів для безперервного комплексного контролю технічного стану залізничної колії на наявність сторонніх предметів, дефектів поверхні головки рейки у вигляді тріщин і напливів, якості кріплення рейки до шпал, запропоновано пристрій для цих цілей. У роботі [2] проведено моделювання процесу діагностування залізничної колії на наявність сторонніх предметів. У роботах [3; 4] запропоновано пристрої для виявлення сторонніх предметів на контрольованій ділянці залізниці.

На роботу акустичних діагностуючих пристроїв можуть здійснювати вплив акустичні перешкоди техногенного походження, що виникають і поширюються в рейці у результаті взаємодії рухомого складу з рейкою під час руху поїздів, особливо при перетинанні потягом стрілочних переводів, стикових з'єднань рейкових ланок та гальмуванні. Тому захист таких пристроїв від акустичних перешкод є актуальним.

Ці акустичні перешкоди мають деякі характерні особливості, однак, вплив багатьох факторів на розподіл спектральної щільності акустичної емісії перешкоди не дозволяє однозначно ідентифікувати перешкоду. Тому задача ідентифікації перешкоди не ставиться.

Метою даної роботи є розробка пристрою для діагностування залізничної колії з адаптацією до умов неконтрольованих акустичних перешкод техногенного походження.

### Основний зміст дослідження

Підвищити надійність акустичних діагностуючих пристроїв, призначених для роботи в умовах неконтрольованих акустичних перешкод, що поширюються в рейці, можна шляхом адаптації до даних умов. Для цього необхідно проаналізувати спектр акустичної перешкоди й автоматично змінити робочу частоту акустичного пристрою таким чином, щоб вона приходилася на область спектра, максимально вільну від перешкоди.

Аналізувати спектр акустичної перешкоди зручно за допомогою одного з інтегральних перетворень. Для цього за допомогою аналогово-цифрового перетворювача перешкода перетворюється в масив даних  $y(x)$ , що містить  $2^n$  елементів, причому, чим більша кількість числових даних, тим вище спектральне розділення. Сукупності даних  $y(x)$  ставлять у відповідність деяку функцію  $f(v)$ . Розглянемо інтегральне перетворення Фур'є, найбільше часто застосовуване в спектральному аналізі.

Як відомо, математичний зміст перетворення Фур'є складається у зображенні сигналу  $y(x)$  у вигляді нескінченної суми синусоїд виду  $f(v) \cdot \sin(v \cdot x)$ . Аргумент  $v$  функції  $f(v)$  має значення частоти відповідного складового сигналу. Перетворення Фур'є  $f(v)$  є комплексною величиною навіть у випадку дійсного сигналу

$$f(v) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(x) \cdot \exp(-i \cdot v \cdot x) dx .$$

Для одержання функції  $f(v)$  по масиву дійсних даних існує ефективний алгоритм швидкого перетворення Фур'є, що, зокрема, реалізований на апаратному рівні у великих інтегральних схемах, які випускаються промисловістю.

Практична реалізація діагностуючого акустичного пристрою, що адаптується до умов акустичних перешкод, вимагає застосування широкосмугових п'єзоелектричних перетворювачів для перетворення електричних сигналів в акустичні і навпаки. Стандартні п'єзоелектричні перетворювачі, що випускаються промисловістю для дефектоскопії виробів, мають вузький робочий діапазон, що лежить у межах декількох сотень кілогерц. Такої порівняно вузької смуги частот може виявитися недостатньо для пошуку ділянки, вільної від акустичних перешкод. Тому як широкосмуговий перетворювач зручно використовувати п'єзоелектричний перетворювач у вигляді пластини перемінної товщини. Гарні результати можуть бути отримані за допомогою перетворювача, у якого одна сторона плоска, а інша – вигнута [5].

При зниженні частоти ультразвукова хвиля випромінюється кільцем більшого діаметра зі стінкою більшої товщини, завдяки чому діаграма спрямованості у випадку, якщо п'єзопластина звернена до поверхні призми плоскою стороною, залишається незмінною у всьому діапазоні частот перетворювача. Блок-схема акустичного пристрою для діагностування рейкової колії на наявність дефектів матеріалу рейки і сторонніх предметів на поверхні рейки з адаптацією до умов акустичних перешкод наведена на рисунку.

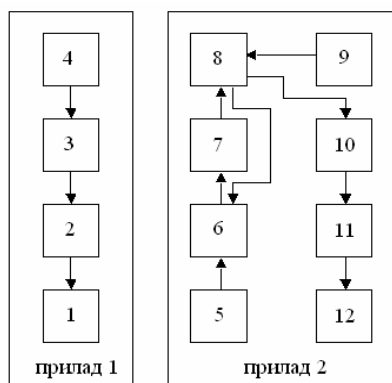


Рис. Блок-схема акустичного пристрою для діагностування рейкової колії з адаптацією до умов акустичних перешкод:

- 1 – випромінюючий п'єзоелектричний перетворювач; 2 – генератор хитної частоти;
- 3 – формувач інтервалів часу; 4 – нуль-детектор;
- 5 – приймальний п'єзоелектричний перетворювач;
- 6 – підсилювач з регульованою смугою посилення;
- 7 – аналогово-цифровий перетворювач;
- 8 – мікроконтролер; 9 – нуль-детектор;
- 10 – кодер; 11 – передавач із ЧМ модуляцією;
- 12 – резонансна електромагнітна антена

Пристрій (рисунок) складається з двох приладів, рознесених між собою на відстань, яка дорівнює довжині контрольованої ділянки залізниці. Прилад 1 містить у собі такі блоки: випромінюючий п'єзоелектричний перетворювач 1, з'єднаний з виходом генератора, хитні частоти 2, що керується формувачем інтервалів часу 3, синхронізованим нуль-детектором 4 із приладом 2.

Прилад 2 містить: приймальний п'єзоелектричний перетворювач 5, з'єднаний із входом підсилювача 6 з регульованою смугою посилення, вихід якого з'єднаний з аналогово-цифровим перетворювачем 7, цифрові виходи якого з'єднані з портом мікроконтролера 8. Мікроконтролер 8 з'єднано з детектором 9 і кодером 10, вихід якого з'єднано з входом модулятора передавача з частотною модуляцією (ЧМ) 11, підключеного до зовнішньої електромагнітної антени 12.

Пристрій працює в такий спосіб. Кожні 20 мс випромінюючий п'єзоелектричний перетворювач 1 першого приладу перетворює в акустичну хвилю, що поширюється в поверхні рейки, електричний сигнал тривалістю 2 мс постійної амплітуди генератора 2 хитні частоти, що задається формувачем 3 інтервалів часу, синхронізованому за моментом перетинання перемінною напругою живильної мережі частотою 50 Гц нульового значення, що визначається за допомогою нуль-детектора 4, який забезпечує синхронізацію роботи приладу 1 із приладом 2.

Прилад 2 працює в такий спосіб. Приймальний п'єзоелектричний перетворювач 5 перетворює шум акустичних перешкод, що поширюються в поверхневому шарі рейки, в електричний сигнал, який підсилюється підсилювачем 6 з регульованою смугою посилення, причому смуга посилення відповідає робочій смузі приймального п'єзоелектричного перетворювача. Приймальний п'єзоелектричний перетворювач – це диск, одна з поверхонь якого плоска, а інша – сферична.

Посилений електричний сигнал, що містить інформацію про амплітудно-частотний спектр акустичних перешкод у рейці, надходить на вхід аналогово-цифрового перетворювача 7, що передає цифрову інформацію про сигнал у мікроконтролер 8 через проміжок часу 10 мс із моменту подачі сигналу від нуль-детектора 9, що здійснює синхронізацію приладів 1 і 2 по переходу через нуль живильної напруги частотою 50 Гц.

Спеціальна підпрограма мікроконтролера 8 реалізує алгоритм швидкого перетворення Фур'є за двоїчними даними, отриманими від аналогово-цифрового перетворювача 7. Визначається ділянка спектра, відносно вільна від пе-

решкод, якій ставляться у відповідність перемінні підпрограми, що реалізують цифрову фільтрацію прийнятого сигналу, а також ширина смуги посилення підсилювача 6 з регульованою смугою посилення. По переходу живильної напруги частотою 50 Гц через нуль, п'єзоперетворювачем 1 першого приладу випромінюється акустичний сигнал у вигляді пакета постійної амплітуди і перемінної частоти, що змінюється лінійно від нижнього до верхнього значення. У цей же час по сигналі нуль-детектора 9 другого приладу мікроконтролер 8 установлює смугу посилення підсилювача 6 з регульованою смугою посилення відповідно до ділянки спектра, відносно вільній від акустичних перешкод у даний момент часу.

Випромінюваний п'єзоперетворювачем 1 першого приладу сигнал разом з акустичними перешкодами приймається п'єзоперетворювачем 5 другого приладу. Після цього електричний сигнал підсилюється підсилювачем 6, у результаті чого на вхід аналогово-цифрового перетворювача 7 надходить тільки та частина сигналу, що у момент випромінювання знаходилася в смузі частот відносно вільній від перешкод. Мікроконтролер 8 додатково проводить фільтрацію сигналу за допомогою підпрограми, що реалізує алгоритм цифрового фільтра за допомогою прямого і зворотного перетворення Фур'є. У результаті програмної обробки визначається максимальне значення амплітуди прийнятої послідовності і на підставі порівняння обмірюваної амплітуди з величиною, записаною у флеш-пам'ять мікроконтролера при калібруванні пристрою, робиться висновок про наявність дефекту матеріалу рейки або стороннього предмета на поверхні рейки.

Для підвищення надійності пристрою в умовах сильних акустичних перешкод, викликаних, наприклад, наближенням потяга, застосовуються методи статистичної обробки декількох десятків вимірів. Розглянутий пристрій повідомляє про результати виявлення сторонніх металевих предметів на поверхні рейки за допомогою радіозв'язку. Для цього мікроконтролер 8 (див. рисунок) передає дані в кодер 10, які після кодування передаються в диспетчерську за допомогою передавача 11 із ЧМ модуляцією, що має зовнішню резонансну антену 12. У диспетчерській інформація, що надходить від акустичного пристрою, аналізується разом з іншою інформацією, що надходить від систем забезпечення безпеки на контрольованій ділянці залізниці.

## Висновки

1. Підвищити надійність роботи діагностуючого пристрою в умовах акустичних перешкод на рейковій колії можна завдяки його адаптації до цих умов шляхом застосування спектрального аналізу, цифрової фільтрації і статистичної обробки сигналів. Пристрій може бути використаний для діагностики потенційно небезпечних ділянок рейкової колії, на яких ймовірність випадання вантажів, будівельних матеріалів, елементів екіпажної частини транспортних засобів є великою (залізничні переїзди, стрілочні переводи) та ділянок, на яких наявність сторонніх предметів може викликати тяжкі наслідки (криволінійні ділянки колії, мости, тунелі).

2. Забезпечити синхронізацію роботи двох приладів, установлених на протилежних кінцях ділянки залізниці, що входять до складу акустичного діагностувального пристрою, можна за рахунок застосування нуль-детектора, підключеного до мікроконтролера.

3. Застосування діагностувального пристрою з адаптацією до умов неконтрольованих акустичних перешкод дозволить підвищити безпеку руху на залізниці.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Войтенко В. П. Діагностування технічного стану рейкового шляху за допомогою акустичних методів / В. П. Войтенко, Ю. І. Осенін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2005. – № 5(87). – С. 272–278.
2. Войтенко В. П. Моделювання процесу діагностування залізничного рейкового шляху та аналіз результатів дослідження / В. П. Войтенко, Ю. І. Осенін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2005. – № 6(88). – С. 244–254.
3. Войтенко В. А. Обнаружение препятствий на железнодорожном пути / В. П. Войтенко, Ю. І. Осенін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2005. – № 3(85). – С. 54–60.
4. Войтенко В. П. Пристрій для виявлення сторонніх предметів на залізничній колії / В. П. Войтенко, Ю. І. Осенін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2005. – № 8(90), ч. 2. – С. 118–123.
5. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Т.1 / Под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1986. – 487 с.

Надійшла до редколегії 11.11.2005.