

**АВТОМАТИКА ТА КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
РУХОМ ПОЇЗДІВ**

УДК 681.518.5:656.2

**ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХОДОВИХ ЧАСТИН РУХОМОГО СКЛАДУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Магістрант К.І. Губанов

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Магистрант К.И. Губанов

DIAGNOSIS TECHNICAL STATE COIL RAILWAY ROLLING STOCK

Undergraduates K.I. Hubanov

Проведено огляд та аналіз причин виникнення пошкоджень колісних пар. Наведено існуючі методи і технічні засоби контролю стану окремих вузлів рухомих одиниць. Основна увага приділяється контролю стану колісних пар, як найбільш вагомим елементів, що забезпечують безпеку руху поїздів. Для контролю стану колісних пар як найбільш перспективний обрано метод так званої ударної діагностики.

Ключові слова: діагностування стану колісних пар, дефекти поверхні кочення колісних пар, овальність та повзун колеса, пункт дефектоскопії.

Проведен обзор и анализ причин возникновения поврежденных колёсных пар. Приведены существующие методы и технические средства контроля состояния отдельных узлов подвижных единиц. Основное внимание уделено контролю состояния колёсных пар, как наиболее важных элементов, обеспечивающих безопасность движения поездов. Для контроля состояния колёсных пар как наиболее перспективный выбран метод так называемой ударной диагностики.

Ключевые слова: диагностирование состояния колесных пар, дефекты поверхности катания колесных пар, овальность и ползун колеса, пункт дефектоскопии.

A review and analysis of the causes of damage wheelsets. Presents current methods and technical means of verification status of individual units of mobile units. Focuses on the condition monitoring of wheelsets, as the most important elements to ensure traffic safety. To monitor the status of wheelsets, yak most promising method is selected shock diagnosis. Most existing methods of diagnosing the rolling surface of wheels require slowing down and have a complex technical execution. Shock diagnosis allows using software analysis to simplify the structure of ground equipment and do not impose any requirements for the operating conditions of rolling stock and railway technology. Such a method of diagnosis will minimize Time Spent rolling stock at the station for inspection. In addition, increased quality control due to the high metrological performance and eliminate the human factor influence on the measurement results.

Keywords: diagnosis of the state of wheelsets, surface defects riding wheelsets, roundness and slide wheel point inspection.

Вступ. З підвищенням швидкості руху поїздів зростають вимоги до технічного стану колії і рухомого складу. У той же час ситуація на ринку транспортних послуг не дозволяє збільшувати витрати на технічне обслугову-

вання (ТО) рухомого складу. У зв'язку з цим необхідно забезпечити його ефективну експлуатацію без зниження рівня безпеки руху.

Постановка проблеми. Робота рухомого складу в системі «колесо – рейка» пов'язана зі

значним зносом обох компонентів, проте більшою мірою це стосується коліс [1, 6]. У ході експлуатації погіршуються геометрія колеса, якість його матеріалу і стан поверхні кочення, при підвищенні швидкості руху, навантаженні від кузова на візки рухомого складу знижуються плавність ходу, і, як наслідок, рівень безпеки руху. Це вимагає розроблення та впровадження автоматичних систем комплексного діагностування стану рухомого складу, що функціонують без порушення технологічного процесу руху поїздів.

Аналіз досліджень і публікацій. На ТО і ремонт колісних пар зараз припадає 30 % всіх витрат служби вагонного господарства. У більшій частині випадків ці витрати спрямовані на відновлення профілю поверхні кочення або заміну зношених і пошкоджених колісних пар [2].

У сучасних реаліях автоматизація виявлення дефектів рухомого складу в процесі його експлуатації має дуже велике значення. Візуальний метод є дуже неефективним. Значні витрати часу на вимір зносу вручну визивають тривалі простої вагонів. Деякі пошкодження, наприклад повзуни, овальності колеса, неможливо виявити без руху вагона. Візуальний контроль несе в собі дуже малу інформативність про технічний стан колісної пари через складність побудови ходової частини рухомих одиниць. Автоматизація дозволяє проводити виміри набагато точніше і швидше, а також дає змогу більш ґрунтовно ставитись до планування графіків ТО, проводити ремонт ходових частин рухомого складу за поточним станом [3].

Мета роботи. Нині існує необхідність автоматизувати процес діагностування технічного стану залізничного рухомого складу та збільшити кількість вимірювальних контрольних параметрів з метою підвищення безпеки руху поїздів при скороченні часу простою вагонів на станціях. Оптимальним рішенням для цього є діагностування рухомого складу в процесі руху поїзда без порушень технології перевізного процесу. У роботі проводиться аналіз існуючих методів виявлення пошкодження колісних пар і їх відповідність сучасним вимогам експлуатації.

Причини виникнення пошкоджень колісних пар. Виникаючи при коченні сталі об сталь статичні і динамічні сили взаємодії між

рухомим складом і колією передаються через зону контакту, площа якої складає близько одного квадратного сантиметра. У цій зоні виникають контактні навантаження, величина яких може перевищувати значення плинності металу [4, 5].

На першому етапі процесу зносу відбувається зміцнення зони контакту в результаті наклепання. При подальшому збільшенні кількості циклів навантаження можливі явища втоми металу. У результаті накоплення навантаженості відбувається поступове руйнування металу, можливе його викришування в деяких місцях. Прикладами таких пошкоджень є сітка поверхневих тріщин на головці рейок і вищерблення металу на поверхні кочення коліс.

Повзуни в зонах теплової дії з'являються в результаті буксування та проковзування колісних пар. У цих зонах при вказаних явищах температура здебільшого перевищує 800 °С, що викликає аустенітні перетворення в колісній сталі з виникненням відносно м'якої високотемпературної фази, яка не зможе витримати важкі експлуатаційні вагові та ударні навантаження, що сприяє появі протягом експлуатації рухомого складу повзунів. Повзуни, якщо вони не видалені при обточці коліс, обумовлюють підвищення динамічних навантажень на буксові вузли колеса і рейки, зумовлюють їх передчасне пошкодження.

Коли буксування або проковзування припиняється, аустеніт швидко охолоджується і, якщо швидкість охолодження велика, перетворюється в мартенсит, структуру тверду і крихку. При цьому тріщини в металі виникають при мартенситному перетворенні внаслідок екстремально великих навантажень. Тріщини, якщо їх не видалити при перепрофілюванні коліс, розповсюджуються, викликаючи раковини, вибоїни, а в крайніх випадках і злам колеса.

У процесі кочення колеса по рейці тріщини збільшуються і з'єднуються. Лусочки металу можуть деформуватися і зрушуватись зі взаємним перекриттям. Це призводить до вищерблення і розтріскування поверхні кочення. Дефекти поверхні кочення сприяють підвищенню динамічних ударних навантажень на колесо, що призводить до передчасного руйнування ходових частин рухомого складу.

Методи визначення дефектів поверхні кочення колісних пар. Значні витрати на ручний вимір дефектів колісних пар, а також простої рухомого складу змушують проводити ці роботи зі значними витратами часу. Автоматизація дозволяє виконувати виміри за дуже незначний часовий проміжок. При цьому забезпечується точність вимірів і можливість планування ТО. Важливим також є здійснення таких вимірів під час руху поїзда на ділянці наближення до станції без порушення технології перевізного процесу.

Контроль коліс з метою визначення овальностей і повзунів є однією з основних вимог забезпечення безпеки руху, особливо для швидкісних поїздів. Овальність колеса може стати причиною пошкоджень колії або ходових частин рухомого складу, зниження плавності ходу і небезпеки сходу з рейок.

Існує декілька видів автоматизованого контролю стану колісних пар. Серед них найбільше розповсюдження отримали такі системи, як «ARGUS» (розробка німецької компанії «Hegenscheidt-MFD»), «ДИСК-К», системи безконтактного контролю «TreadView»

(Велика Британія), «WPMS» (Австралія), «WheelSpec» (США).

Вимірююча система «ARGUS» діагностує стан коліс по поверхні кочення у рейкового рухомого складу під час руху [6]. Установка довжиною 20 м працює в депо «Берлін-Руммельсбург». Принцип виміру механічний, заснований на тому, що вершина гребеня не зношується, а тому відхилення від норми висоти гребеня ідентичне відхиленню кола кочення колеса від ідеального кола і несе в собі інформацію про значення некруглостей і глибину повзунів. Використовується вимірююча балка, опусканню якої при натисканні на нею вершиною гребеня протидіє тиск стиснутого повітря (рис. 1). Вертикальний хід балки при коченні колеса вимірюється електромеханічним датчиком. Сигнал з датчика передається в ЕОМ, де він обробляється і реєструється як зміна ходу балки мінімум за один оберт колеса (рис. 2). На заключному етапі виміряні параметри перераховуються для вимог, коли поверхня колеса і вимірювана балка ідеально рівні.

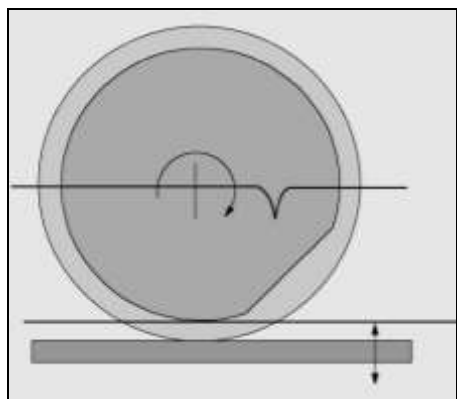


Рис. 1. Визначення висоти гребеня за допомогою вимірюючої балки

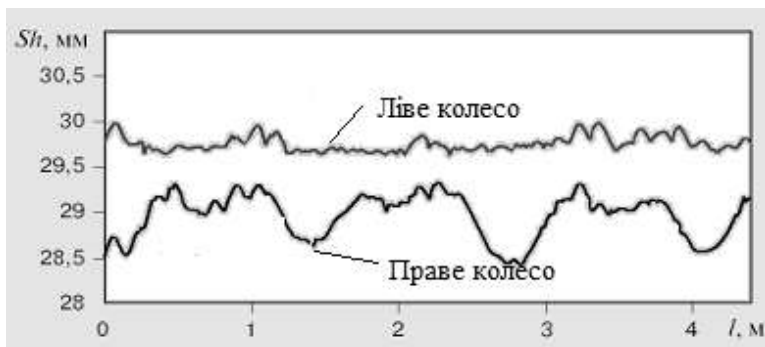


Рис. 2. Зміна висоти гребеня по колу кочення: Sh , мм – висота гребеня; L , м – розгортка колеса за вершиною гребеня

Таким чином, коливання вимірних значень будуть відображувати лише зміни висоти гребеня колеса. За кривою зміни висоти гребеня за один оберт визначається наявність некруглості або повзуна.

Незважаючи на те, що даний метод є надійним і достовірним, він є застарілим, оскільки використовується контактний метод вимірювання. А це у свою чергу вимагає

додаткових обмежень, таких як швидкість руху, вимоги до профілю і плану колії, якості поверхні головки рейки.

Апаратура «ДИСК-К» призначена для виявлення дефектів поверхні кочення колісних пар під час руху поїзда. Внаслідок ударів колеса з дефектами по рейці в ній виникають прискорення, які вимірюються п'єзоелектричними датчиками (п'єзоакселерометрами).

Вони перетворюють динамічну дію колеса на рейку в електричний сигнал (рис. 3).

Системи, що працюють за принципом безконтактного оптичного виміру, дозволяють виявляти дефекти колеса задовго до того, як вони можуть стати причиною аварії. Перевага таких систем – можливість проведення вимірів при поточній швидкості руху поїзда. Недоліки пов'язані з тим, що освітлення поверхні колеса в косих пучках при нахлонному падінні скануючого лазерного проміння на поверхню

колеса призводять до появи додаткових завад, які зумовлені зміною кута падіння проміння, і, як наслідок, до виникнення дотикових помилок виміру. На точність виміру впливає сонячне світло. Частково було вирішено цю проблему встановленням фільтрів з вузькою полоскою пропускання. Для виключення можливих помилок, що виникають при освітленні поверхні колеса під кутом, необхідно змінювати геометрію рейки, що впливає на її міцність.

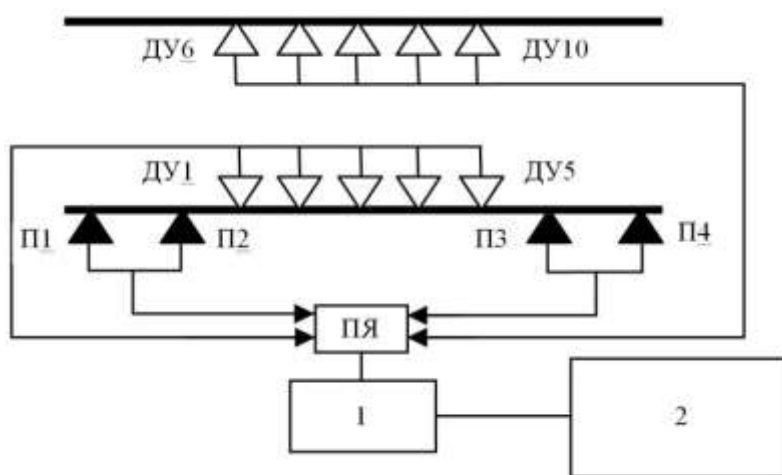


Рис. 3. Структурна схема апаратури «ДИСК-К»: 1 – постова апаратура; 2 – станційна апаратура

Як приклад, у системі «EVA» для компенсації модифікації рейки, спричиненої розміщенням лазера і камери, застосовують додаткові направляючі і захисні елементи. Однак при такому підході також потрібно зниження швидкості руху поїзда на ділянці контролю.

Система «WISE» об'єднує в собі модулі визначення дефектів колеса і виміру прокату й овальності. Принцип дії модуля визначення дефектів засновано на використанні електромагнітних ультразвукових датчиків. Перший датчик генерує хвилю, яка розповсюджується у поверхневому шарі колеса і обігає його по колу. При цьому параметри хвилі визначаються за умови її проникнення в колесо і чутливості до дефектів. Відбитий від дефекту сигнал приймається другим датчиком.

Діагностування поверхні кочення за звуком під час руху. Розглянуті методи проведення автоматизованого контролю стану колісних пар мають як переваги, так і недоліки,

тому не можна однозначно віддати перевагу якомусь з них. При цьому, крім складності пристрою, точності вимірів і вимог до обмеження швидкості, потрібно враховувати і вартість розроблення, вимоги до технічного обслуговування, періодичність метрологічних перевірок і тестових випробувань [7].

Незмінним залишається те, що пошук дефектів поверхні кочення колеса повинен бути неперервним автоматизованим процесом без втручання людини в процес діагностування. Це пов'язано з тим, що під час огляду людиною колеса, залишається неоглянутою значна частина поверхні колеса, особливо у пасажирських вагонів.

Переміщення колеса по рейках супроводжується звуком. Під час руху по рівній ділянці колії ідеальної колісної пари звук від руху буде мінімальним. Але на практиці ідеальні випадки практично не трапляються, деякі колеса мають овальність, відмінність діаметрів, повзуни. Тому навіть на прямій

ділянці колії будуть спостерігатися незначні проковзування коліс, що мають менший діаметр, повзуни, викришування поверхні кочення коліс, що є причиною виникнення звуків. При набігу колеса, який має дефект поверхні кочення, на головку рейки відбувається зіткнення контактуючих поверхонь, яке супроводжується звуком.

Існує система визначення дефектів поверхні кочення коліс, що використовує акустичний метод, який дозволяє проводити аналіз шумів від кожної колісної пари окремо. Схема пункту акустичного контролю подана на рис. 4.

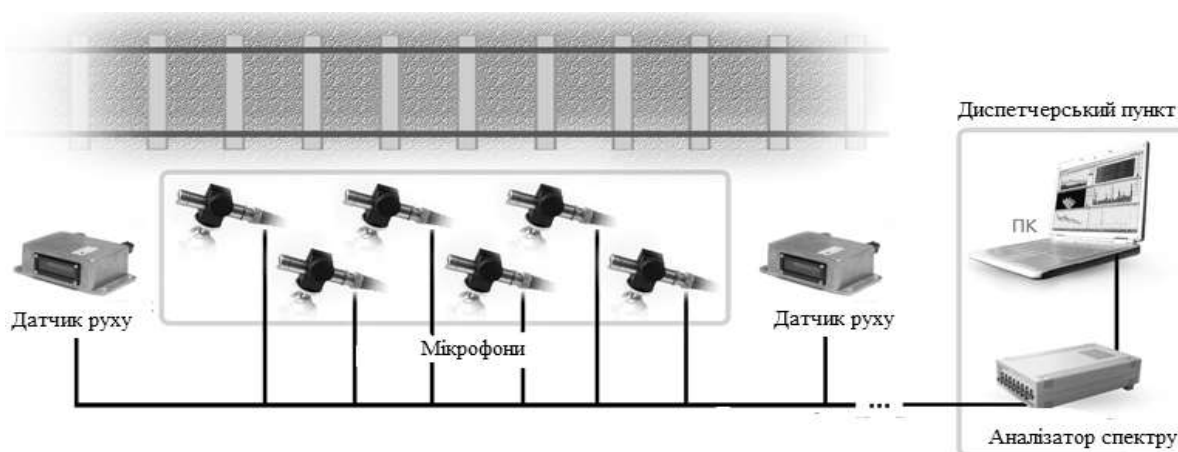


Рис. 4. Структурна схема пункту дефектоскопії

У такій системі ділянка дефектоскопії являє собою відрізок залізничного полотна, поблизу якого згідно з габаритом наближення будівель розміщено датчики руху, що синхронізують роботу мікрофонів, які перетворюють звуковий тиск в електричний сигнал (рис. 5). Мікрофонні датчики підключаються до аналізатора спектра, який знаходиться в приміщенні диспетчерського пункту, персональний комп'ютер розміщено в приміщенні оператора. Багатофункціональний аналізатор спектра призначений для виміру параметрів спектральних складових сигналу.

Електричний потенціал з датчиків надходить на модуль збору даних, створений на основі аналогово-цифрового перетворювача (АЦП). Ця ланка є проміжною між датчиком і контролером, який виконує математичну обробку інформації і посилення команд керування. Модуль збору даних складається з кодека, який виконує попередню обробку і аналогово-цифрове перетворення сигналів. Дані в цифровому вигляді передаються цифровому сигнальному процесору і до лінії зв'язку для подальшої математичної обробки. У базовій станції комп'ютером здійснюється

подальша реалізація алгоритму контролю і відображення інформації про результати аналізу. Важливою складовою системи є програмне забезпечення. Програмний комплекс має можливості візуалізації, спектрального аналізу, виміру електричних параметрів, запису і відтворення сигналів, які надходять на вхід аналізатора спектра.

Таким чином, робота комплексу дефектоскопії колісних пар визначається тим, що за показанням датчиків переміщення встановлюється час проходження рухомого складу вздовж ланцюга акустичних датчиків, синхронізується система і за сигналами з мікрофонів виявляються шуми від коліс, за величинами яких зробляться висновки про результати контролю.

При виявленні повзунів можливе застосування технології обробки сигналів, що отримала назву амплітудного детектування. Цим методом імпульси від ударної дії рухомого складу на колію, обумовленої певними дефектами ходової частини рухомого складу, ефективно виділяються з широкого спектра несучих частот.

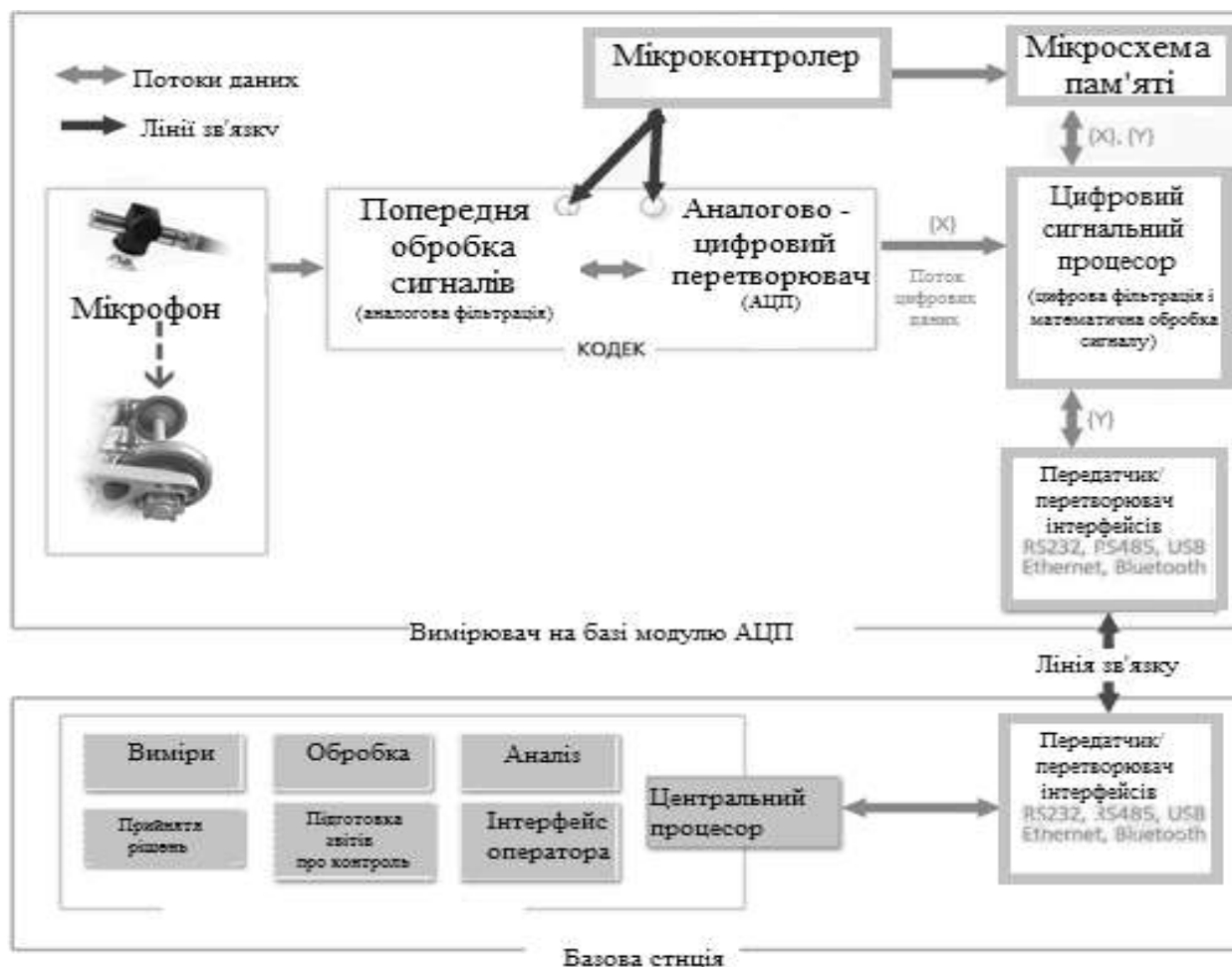


Рис. 5. Структурна схема виміральної системи

Модульоване коливання, що містить лише високочастотні складові, має несучу і бічні частоти. На виході ж повинна бути

отримана напруга з низькочастотним спектром переданого сигналу.

Колівання, промодульоване за амплітудою гармонічним сигналом (тонально модульоване коливання), має вигляд

$$u(t) = U_0 (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t, \quad (1) \quad u(t) = U_0 (1 + m \cos \Omega_t) \cos \omega_0 t, \quad (1)$$

де U_0 - амплітуда несучого коливання;
 m - глибина модуляції;
 Ω - частота низькочастотного сигналу;
 ω_0 - несуча частота.

Вираз (1) можна подати як

$$u(t) = U_0 \cos \omega_0 t + U_0 \frac{m}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t + U_0 \frac{m}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t \quad (2)$$

Зокрема шість схем, налаштованих на дефекти окремих видів, розпізнають

викришування і відшарування металу на зовнішньому, внутрішньому кільцях

підшипника і роликах, травлення, пошкодження шийки осі та ослаблення підшипника на осі.

Детектори з аналізатором кепстра. У пристроях на базі звичайних тензометричних датчиків і вимірювачів прискорювання обробка сигналів звичайно обмежена порівнянням фактично виміряних величин з заданими граничними, як це має місце, наприклад, при вимірі ударних навантажень від коліс з повзунами. Сумісна робота університету Флоренції й компанії Siliani Electronica ed Impianti (Італія) призвела до створення нового детектора повзунів коліс на базі п'єзоелектричного кабелю – дешевого і надійного пристрою типу вимірювального перетворювача для вимірювання й підсумовування вібрацій у всіх напрямках [8].

Для виділення вібрацій, викликаних повзунами, з усього спектра вібрацій у взаємодії колеса і рейки використовується аналізатор кепстра (кепстр – косинус-перетворення Фур'є логарифма спектра потужності). Таким методом можна розпізнати

дефекти коліс, що не піддаються виявленню традиційними методами. Система має додаткові переваги, вона електрично ізольована від рейки і тому захищена від завад з боку зворотних тягових струмів і струмів СЦБ, чутлива у всіх напрямках, а її характеристики не піддаються змінам протягом тривалого періоду.

Висновки. Більшість існуючих методів діагностування поверхні кочення коліс вимагають зниження швидкості, а також мають складне технічне виконання. Ударна діагностика дозволяє за допомогою програмного аналізу значно спростити структуру напільного обладнання, а також не висуває ніяких вимог для умов експлуатації рухомого складу і технології перевізного процесу.

Такий спосіб діагностування дозволить звести до мінімуму час знаходження рухомого складу на станції для проведення технічного огляду. Крім того, підвищується якість контролю за рахунок високих метрологічних показників та усунення впливу людського фактора на результати вимірювань.

Список використаних джерел

1. Марков, Д.П. Контактная усталость колёс и рельсов [Текст] / Д.П. Марков // Вестник ВНИИЖТ. – М.: ВНИИЖТ, 2001. – № 6. – С. 8-14.
2. Краушав, Ф. Колёса во взаимодействии с рельсами [Текст] / Ф. Краушав // Железные дороги мира. – 1998. – № 11. – С. 66-69.
3. Борзилов, І.Д. Удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів засобами технічної діагностики [Текст]: навч. посібник для ВНЗ. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – Ч. 1. – 91 с.
4. Биттибаев, С.М. Некоторые вопросы оценки прочностной надёжности колёсных пар подвижного состава [Текст] / С.М. Биттибаев, С.К. Кулжанов // Вестн. Каз. акад. трансп. и коммуникаций. – 2006. – №2. – С.7-12.
5. Кассиди, Ф. Перспективные материалы для изготовления колёс [Текст] / Ф. Кассиди // Железные дороги мира. – 2002. – № 5. – С.40-41.
6. Диагностика технического состояния вагонов. Железнодорожные вагоны. Введение в дисциплину [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vagoni-jd.ru>.
7. Венедиктов, А.З. Бесконтактный контроль параметров колёсных пар [Текст] / А.З. Венедиктов // Железные дороги мира. – 2004. - №10. – С. 61-65.
8. Бойник, А.Б., Загарий Г.И., Кошевой С.В., Луханин Н.И., Поета М.В. Диагностирование устройств железнодорожной автоматики и агрегатов подвижных единиц [Текст]: учебник / А.Б. Бойник, Г.И. Загарий, С.В. Кошевой [и др.]. – Харьков: ЧП Издательство «Новое слово», 2008. – 304 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.І. Мойсеєнко

Губанов Костянтин Ігоревич, магістрант Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації Української державної академії залізничного транспорту (УкрДАЗТ).

Gubanov Konstantin I., Undergraduate Teaching and Research Institute of retraining and advanced training of the Ukrainian State Academy of Railway Transport.
