

УДК 656.25: 621.318.5

С. Ю. БУРЯК – аспірант кафедри «Автоматика, телемеханіка та зв'язок»,  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка  
В. Лазаряна, bsyur@mail.ru

## КОНТРОЛЬ СТАНУ ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ КОЛІС РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ АКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

*Статтю представив д. фіз.-мат. н., проф. В. І. Гаврилюк*

### Вступ

Одними з відповідальних компонентів локомотивів і вагонів є колісні пари. Порушення геометричних розмірів колісних пар може призвести до аварій. Колеса виконують ряд функцій, важливих з погляду безпеки руху поїздів: сприйняття навантаження від кузова й візків рухомого складу; спрямування руху візків у рейковій колії; направлення й уписування рухомого складу в криві; забезпечення (у більшості випадків) роботи гальм.

У зв'язку з великим зростанням обсягу перевезень та значним підвищенням швидкості руху й тоннажу поїздів доводиться звертати все більше уваги на оперативний контроль стану відповідальних компонентів рухомого складу. Завдання може бути досягнуто шляхом створення ряду вимірювальних пристроїв, розташованих на залізничній колії й поблизу неї для виконання вимірювань безпосередньо при русі поїзда.

Автоматизація виявлення технічних несправностей вагонів в експлуатації в сучасних умовах інтенсивного руху поїздів має особливе значення, адже зараз на технічне обслуговування й ремонт колісних пар припадає близько 30 % усіх витрат служб рухомого складу залізниць. Більша їх частина витрачається на відновлення профілю поверхні кочення коліс, що на даний час знаходяться в експлуатації, і заміну зношених або ушкоджених коліс. Візуальний метод ненадійний і малопродуктивний. Значні витрати часу на ручне вимірювання ступеня зношення, а також простої рухомого

складу при виконанні вимірювань змушують проводити ці роботи з великими інтервалами часу. Автоматизація дозволяє виконувати процес діагностування в кілька разів швидше. При цьому забезпечується підвищена точність вимірювань і можливість планування технічного обслуговування.

### Мета роботи

Оскільки на даний час існує гостра необхідність автоматизації процесів технічного обслуговування рухомого складу, які б дозволили зменшити час перебування рухомого складу на станції та покращити рівень діагностування, то оптимальним варіантом вирішення цього питання є автоматизована діагностика, яку слід проводити дистанційно під час експлуатації з мінімальним втручанням у розклад руху поїздів.

Для визначення найбільш дієвого способу автоматизованого діагностування поверхонь кочення коліс рухомого складу залізниць необхідно провести аналіз існуючих методів визначення пошкоджень поверхні кочення коліс і встановити їх відповідність сучасним умовам експлуатації, складність та вартість устаткування, технічні характеристики. Крім цього, на підставі наявного досвіду використання систем даного типу, запропонувати свій власний метод, заснований на ударній діагностиці.

### Умови, процес та причини появи пошкоджень колісних пар

Під впливом нерівностей верхньої будови колії й на поверхні кочення коліс коліс-

на пара робить складні просторові переміщення, які через букси й ресорне підвішування передаються екіпажу. Конусність поверхні кочення коліс і нахил рейок сприяють прямолінійному руху екіпажа в прямих ділянках без набігання гребеня коліс на рейки. Вона ж полегшує вписування екіпажа в криві, компенсуючи різницю дотичної швидкості коліс, що котяться по зовнішній і внутрішній рейках, до того моменту, поки зовнішнє колесо не почне направлятися зовнішньою рейковою ниткою. Із цього моменту колесо починає прослизати по рейці й виникають додаткові поперечні сили між гребенем колеса й робочою гранню зовнішньої рейки. Це приводить до підвищеного бічного зносу рейок і гребенів коліс, скрипу, розширенню колії й виникненню умов для вкочування колеса на рейку [1].

Виникаючи при коченні сталі по сталі статичні й динамічні сили взаємодії між рухомим складом і залізничною колією передаються через зону контакту, площа якої становить біля одного квадратного сантиметра. У поверхневій частині цієї зони виникають контактні напруги й напруги зсуву, величина яких може перевищувати границю текучості металу. Цим екстремальним навантаженням протистоїть зміцнення металу, що супроводжується, однак, зношуванням як колеса, так і рейки. На першому етапі процесу зношування відбувається зміцнення зони контакту в результаті наклепу. При подальшому збільшенні числа циклів навантаження можливі втомні явища. У результаті нагромадження напружень відбувається поступове руйнування металу аж до його викришування в деяких місцях. Типовими прикладами таких пошкоджень є сітка поверхневих тріщин на головці рейки й викришування металу на верхні кочення коліс [2].

В результаті буксування й проковзування колісних пар виникають повзуни й мартенсит у зонах теплового впливу. У цих зонах при зазначених явищах температура найчастіше перевищує 800 °С, що викликає аустенітні перетворення в колісній сталі з

утворенням відносно м'якої високотемпературної фази, що не здатна витримувати високі експлуатаційні навантаження, а потім і повзунів. Повзуни, якщо вони не вилучені вчасно при обточуванні коліс, обумовлюють підвищення динамічних (аж до ударних) навантажень на колеса й рейки і збільшують імовірність їхнього пошкодження. Коли буксування або проковзування припиняється, утворений аустеніт швидко проохолоджується й, якщо швидкість охолодження досить висока, перетворюється в мартенсит, структуру тверду й крихку. При цьому в металі тріщини часто розвиваються внаслідок екстремально високих напруг, що виникають при мартенситному перетворенні. Тріщини, якщо їх не видалити при перепрофілюванні коліс, поширюються, викликаючи виникнення раковин й, у крайніх випадках, злам колеса. У процесі кочення колеса по рейці тріщини збільшуються й поєднуються. Лусочки металу, що утворюються при цьому, можуть деформуватися й зрушуватися із частковим взаємним перекриттям. Це приведе до викрашування й розтріскування поверхні кочення. Дефекти поверхні кочення сприяють збільшенню динамічних ударних навантажень на колесо, у результаті чого тріщини й інші дефекти поширюються по всій поверхні кочення колеса [3].

#### **Вітчизняний та іноземний досвід діагностування поверхні кочення колісних пар**

Зношування зараз вимірюють вручну, як це робили і раніше. Значні витрати часу на такі роботи спричиняють тривалі простої рухомого складу при виконанні вимірювань та змушують затримувати його протягом вагомого інтервалу часу, що дуже впливає на загальний графік руху. Автоматизація ж дозволяє виконувати ці вимірювання за кілька хвилин. При цьому забезпечується підвищена точність вимірювань і можливість планування технічного обслуговування.

Контроль коліс із метою виявлення некруглостей і повзунів є основною умовою забезпечення безпеки руху, особливо для високошвидкісних поїздів. Некруглість колеса може стати причиною пошкоджень колії або ходової частини рухомого складу, зниження плавності ходу й збільшення небезпеки виникнення аварійної ситуації через сід з рейок.

Існує кілька видів автоматизованого контролю коліс. Серед них найбільше поширення одержали такі системи, як ARGUS (розроблена німецькою компанією Hegenscheidt-MFD, Еркеленц), ДИСК-К й системи безконтактного контролю TreadView (компанія AEA Technology Rail, Великобританія), WPMS (Lynxrail, Австралія), WheelSpec (Imagemap, США), GeoTech (розроблена італійською компанією Technogamma, випускається компанією Proximaat, Нідерланди)

Вимірвальна система ARGUS обмірює й обстежує колеса рейкового рухомого складу в русі. Установка довжиною 20 м працює в спеціалізованому депо Берлін-Руммельсбург, що обслуговує поїзди ICE. Всі вимірювання на поїзді довжиною 400 м, що рухається зі швидкістю близько 10 км/год, виконуються протягом 3 хв. Принцип вимірювання механічний, і заснований на тому, що вершина гребеня не зношується, а тому відхилення від норми висоти гребеня ідентично відхиленню круга катання від ідеальної окружності й несе в собі інформацію про величину некруглостей і глибини повзунів. Використається вимірвальна балка (рис. 1), опусканню якої при натисканні на неї вершини гребеня протидіє тиск стисненого повітря.

Незважаючи на те, що даний метод має високу надійність і вірогідність, він застарілий, оскільки використовується контактний метод, що вимагає введення додаткових обмежень при проведенні діагностики, таких, наприклад, як обмеження швидкості

руху, вимоги до профілю й плану колії. Проте він цілком може конкурувати з оптичним або заснованим на вимірюванні діючих сил [4].

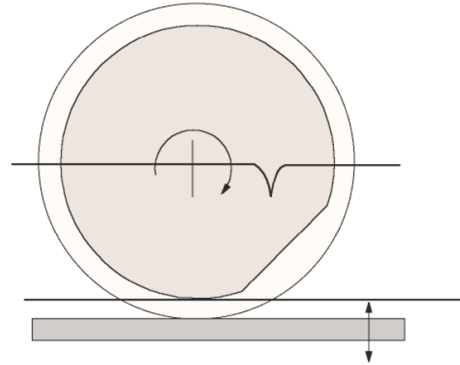


Рис. 1. Визначення висоти гребеня за допомогою вимірвальної балки

Апаратура ДИСК-К призначена для виявлення на ходу поїзда дефектів поверхні кочення коліс, що викликають ударний вплив колеса на рейку. Внаслідок ударів колеса з дефектами по рейці в останньому виникають прискорення, які вимірюються п'єзоелектричними датчиками (п'єзоакселерометрами). Вони перетворюють динамічний вплив колеса на рейку в електричний сигнал. Структурна схема апаратури ДИСК-К представлена на рис. 2 [5].

Системи ж, що працюють на принципі безконтактного оптичного вимірювання, дозволяють виявляти дефекти колеса задовго до того, як вони можуть стати причиною аварії. Переваги таких систем – можливість проведення вимірювань при поточній швидкості руху рухомого складу. Недоліки пов'язані з тим, що освітлення поверхні колеса в косих пучках при похилому падінні скануючого лазерного променя на поверхню колеса приводить до появи додаткових перекручувань, обумовлених зміною кута падіння луча, і, як наслідок, до виникнення додаткових помилок вимірювань.

На точність вимірювань впливає сонячне світло. Частково розробники вирішили цю проблему встановленням вузькосмугових фільтрів.

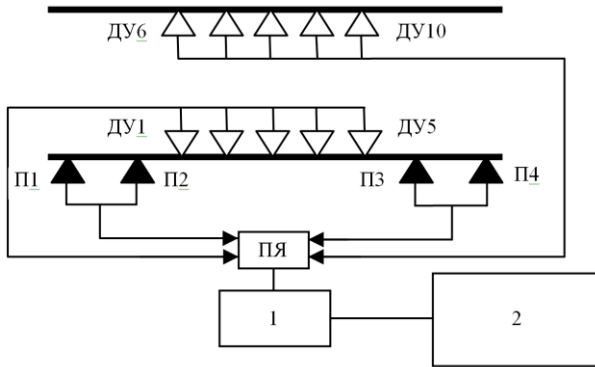


Рис. 2. Структурна схема апаратури ДИСК-К:  
 1 – постова апаратура; 2 – станційна апаратура

Максимальні значення швидкості рухомого складу, при яких виконуються вимірювання, заявлені компаніями-виробниками систем, не перевищують 100 км/год. Реально вони ще нижче.

Для виключення можливості виникнення помилок, що виникають при освітленні поверхні колеса під кутом, необхідно змінювати геометрію рейки, що впливає на її міцність. Наприклад, система EVA (рис. 3) для компенсації модифікації рейки, викликані розташуванням лазера й камери нижче рівня головки рейки, застосовує додаткові напрямні й захисні елементи. Наслідком такого підходу є низька швидкість проведення вимірювань, що не перевищує 15 км/год.

Сучасною тенденцією організації систем моніторингу колісних пар є інтегрування в рамках єдиного комплексу функцій декількох модулів, що забезпечують одержання повної інформації про параметри колісної пари. Прикладом може служити комплексна система WISE (компанія IEM, США), що показана на рис. 4.

Крім пристроїв вимірювання профілю й діаметра колеса, система WISE також включає модулі визначення дефектів колеса й вимірювань прокату й овальності. Принцип дії модуля визначення дефектів заснований на використанні електромагнітних ультразвукових датчиків. Перший датчик

генерує хвилю, що поширюється в поверхневому шарі колеса й оббігає його по колу, при цьому параметри хвилі вибираються з урахуванням глибини її проникнення в колесо й чутливості до дефектів. Відбитий від дефекту сигнал приймається другим датчиком. Увесь комплекс вимірювань проводиться при швидкості рухомого складу 8 км/год [6].

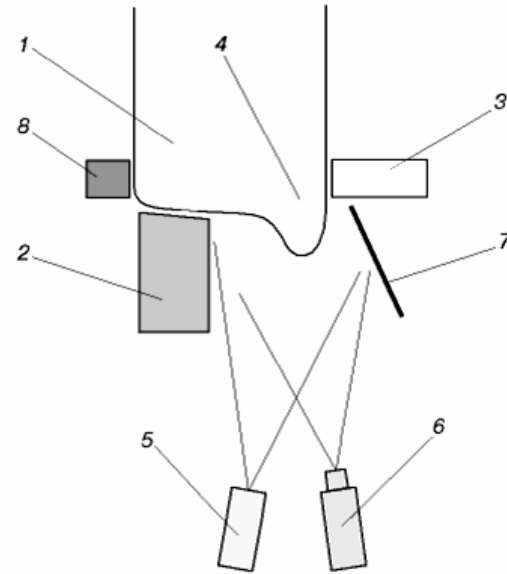


Рис. 3. Система EVA:  
 1 – колесо; 2 – направляюча плита; 3 – захисна рейка; 4 – гребінь; 5 – лазер; 6 – камера; 7 – дзеркало; 8 – датчик положення колеса

### Акустичний метод діагностування поверхні кочення колісних пар під час руху потягів

Методи проведення автоматизованого контролю стану колісних пар, розглянуті вище, мають як переваги, так і недоліки, і не можна однозначно віддати перевагу тому, або іншому методу, тому що крім складності пристрою, точності вимірювань і вимог по обмеженню швидкості проведення діагностування ще потрібно враховувати й вартість розробки, умови встановлення, вимоги до обслуговування, складність обслуговування, періодичність повірок і тестових випробувань.

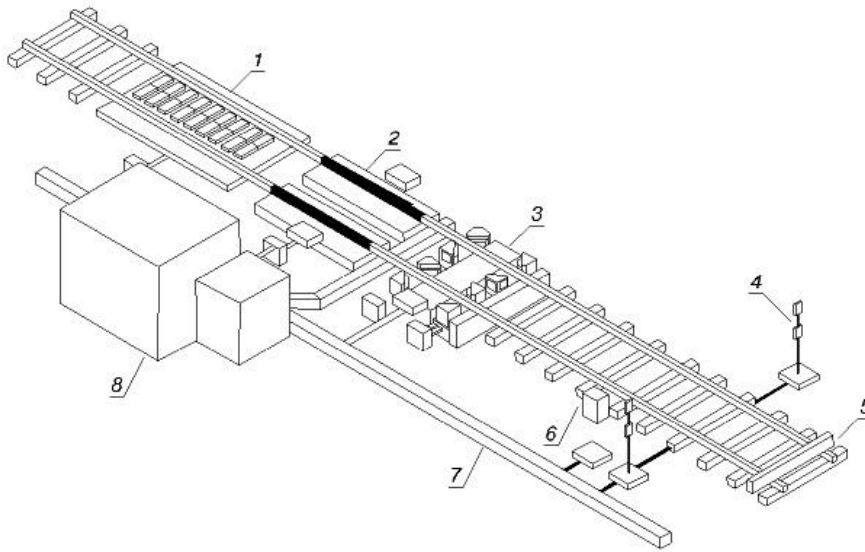


Рис. 4. Комплексна система контролю колісних пар WISE:

1 – модуль вимірювання прокату й овальності; 2 – модуль визначення дефектів колеса; 3 – модуль WIS для вимірювання профілю і діаметру колеса; 4 – датчик положення рухомого складу; 5 – датчик наявності сторонніх предметів; 6 – модуль автоматичної ідентифікації рухомого складу; 7 – канал для прокладки кабелів і волоконно-оптичних світловодів; 8 – приміщення (бокс) для установки контрольно-вимірювальної апаратури

Лише той факт, що пошук дефектів поверхні кочення колеса повинен бути безперервним автоматизованим процесом без втручання людини в процес діагностування, а лише при вирішенні проблем, якщо такі виникли, залишається незмінним. Адже під час проведення огляду колеса через конструктивні особливості виконання візка й з урахуванням ділянки в зоні контакту колеса з рейкою не оглянутою частиною колеса залишається більше 50 % у пасажирських й 40 % у вантажних вагонів.

Будь-яке переміщення колеса по рейках супроводжується характерним звуком, який буде мінімальним при русі ідеальної колісної пари по прямій рівній ділянці. Проте, оскільки в процесі експлуатації спостерігається незначне розходження в діаметрах коліс однієї колісної пари, то навіть на прямій ділянці колії буде спостерігатися незначне проковзування колеса, що має менший діаметр, яке і стає причиною вини-

кнення звуків. Навіть колісна пара з абсолютно однаковими діаметрами коліс буде видавати скрип від проковзування одного колеса, що йде по зовнішній рейці в кривій, оскільки діаметр внутрішньої рейки менше й друге колесо проходить його швидше. Це відбувається через відсутність диференціала коліс у колісній парі. При набіганні ж колеса, що має дефект поверхні кочення, на головку рейки, відбувається зіткнення контактуючих поверхонь, що супроводжується характерним звуком.

Для проведення випробувань, пов'язаних із записом звуків, які супроводжують рухомий склад, що рухається, була обрана ділянка колії, що лежить за вхідним світлофором Н станції Знам'янка, за яким розташований вагомір і тому швидкість на даній ділянці обмежена 15 км/год для вантажних поїздів, що робить початкові умови для проведення випробувань коліс однаковими. Мікрофон М встановлювався на відстані

760 мм від головки рейки непарної колії двоколісної ділянки (рис. 5) на віддаленні 2 м від стику. Вибір відстані виконувався з урахуванням ширини колії 1520 мм і припущенням подальшої установки мікрофона в середині колії для одночасного запису від обох сторін рухомого складу.

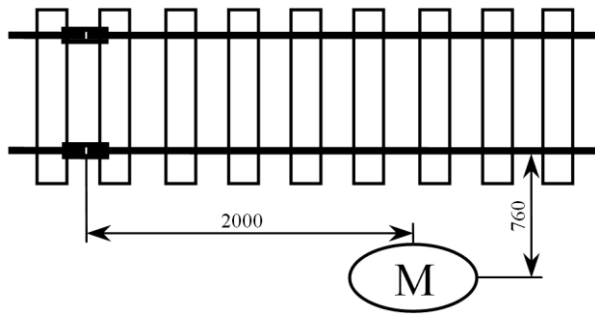


Рис. 5. Місце розташування мікрофону під час вимірювань

Вагомір у свою чергу виконує за допомогою вбудованих тензодатчиків вимірювання змін сил навантаження на рейку, про що повідомляє у вигляді шифрограми. Шифрограма оформляється у вигляді телеграми – натурального листа, у якому вказується навантаження на вісь, її порядковий номер, а також по дев'ятибальній шкалі нестабільність навантаження від колеса, що і є визначенням. Слід зазначити, що довжина поверхні кочення колеса становить 2983 мм, а зони контролю вагоміра – 600 мм. У такий спосіб перевірена тензодатчиками вагоміра частина колеса становить усього 20,114 % від загальної поверхні кочення. А тому дана інформація не може вважатися об'єктивно діагностичною, оскільки в еквівалентному представленні вона є відображенням стану кожної п'ятої колісної пари, які хаотично розташовані в поїзді, оскільки конкретно яка частина кожного колеса була перевірена вагоміром після численних обертань колісних пар на шляху до пункту технічного огляду вагонів встановити немож-

ливо. Дана інформація розцінюється у якості допоміжної і не зменшує часу, необхідного для здійснення технічного огляду.

### Результати досліджень

На рис. 6 показаний сигнал, записаний при проходженні поїзда, колісні пари якого не мали порушень кіл катання, а на рис. 7 показаний сигнал, записаний при проходженні поїзда, у складі якого перебував вагон з колісною парою, яка мала дефект. Подальший огляд на пункті технічного обслуговування підтвердив наявність дефекту на даній колісній парі і встановив, що дефектом виявився повзун глибиною 0,7 мм.

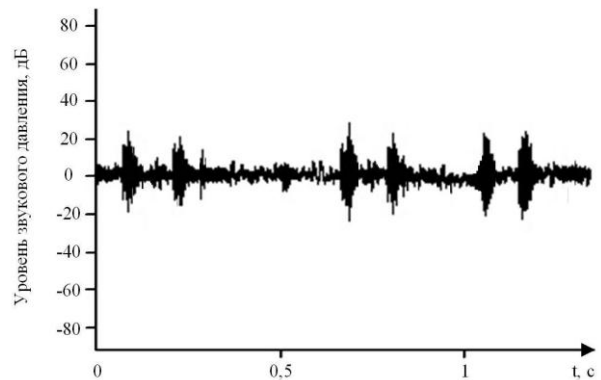


Рис. 6. Фрагмент звуку, що супроводжує проходження рухомого складу неушкодженої поверхні кочення колісної пари

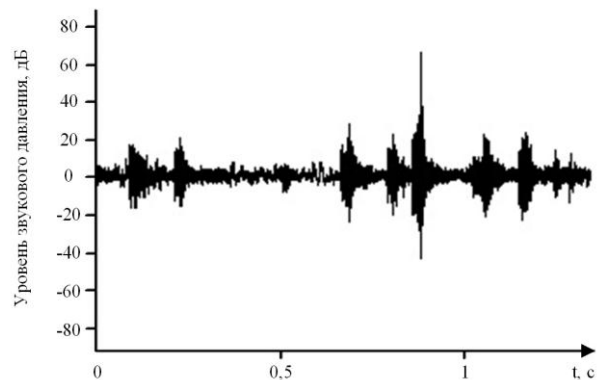


Рис. 7. Фрагмент звуку, що супроводжує проходження рухомого складу з дефектом поверхні кочення колісної пари

Даний дефект у такому розмірі відповідно до Інструкції з технічного обслуговування вагонів в експлуатації ЦВ/0043 [7] не вимагає виконання яких-небудь дій з боку працівників залізниці. Проте, звукове діагностування дає можливість виявляти й стежити за розвитком подібного роду дефектів на найменших початкових стадіях розвитку.

На рис. 6 та рис. 7 перші два підвищення рівня звуку до 20 дБ відповідають набіганню на стикове з'єднання першої та другої осей першого піввагона в складі поїзда. Наступне різке посилення звуку на рис. 7 до 60 дБ відповідає другій колісній парі з повзун, що наблизилася до пристрою запису. Повзун був розташований на колесі з правої сторони відносно руху поїзда, що було встановлено на місці вимірювань та під час подальшої перевірки. Для того, щоб автоматично визначати сторону, на якій є дефект, що можна встановити за звуком, необхідно розташовувати пристрій запису всередині колії та використовувати стереоефект. Два останніх підвищення рівня звуку до 20 дБ виникли через проходження третьої та четвертої осей піввагона по стиковому з'єднанню рейкових ланок. Розташування мікрофона біля стикового з'єднання рейкових ланок не випадкове, а навпаки, оскільки завдяки цьому досить легко визначати швидкість руху потяга за відомими з замірів часу проходження колісних пар по стиковому з'єднанню та відстані між колісними парами у візку. При цьому, прийнявши для різних швидкостей руху різні коефіцієнти чутливості системи до виявлення пошкоджень можна з великою точністю проводити діагностування. Крім цього, розташування мікрофону біля стикового

з'єднання дозволяє визначати і порядковий номер колісних пар, що мають пошкодження, і загальну кількість осей у поїзді завдяки можливості фіксування системою проходження колісними парами стикового з'єднання.

Слід також врахувати, що при проведенні запису звуків рухомого складу в русі вагоміром не був зафіксований зазначений вище недолік.

### Висновки

Для підвищення надійності експлуатації рухомого складу необхідна система контролю стану колісних пар, що дозволить проводити діагностику під час руху, а дані передавати працівникам станції з попередньою вказівкою місць з зафіксованими пошкодженнями, а також можливих причин і рекомендацій з усунення виявлених дефектів. Завдяки цій системі буде досягнуто оптимальне планування часу перевірки оглядачами вагонів та скорочення загального часу перебування поїзда в пункті технічного обслуговування завдяки тому, що дана система самостійно буде визначати наявність, ступінь та необхідність втручання працівників залізниці.

Відзначимо, що більшість існуючих методів діагностики поверхні кочення коліс вимагають зниження швидкості руху, а також мають складне технічне виконання. Ударна ж діагностика дозволяє покласти труднощі встановлення на колії й складність устаткування на програмний аналіз сигналів, отриманий під час експлуатації рухомого складу без будь-яких обмежень і вимог до швидкості руху.

Дана система дозволить скоротити час перебування рухомого складу на станції

для проведення технічного огляду. Крім цього, збільшиться якість проведення контролю стану рухомого складу за рахунок усунення людського фактора.

### Бібліографічний список

1. Краушав, Ф. Колеса во взаимодействии с рельсами [Текст] / Ф. Краушав // Железные дороги мира. – 1998. – № 11. – С. 66–69.
2. Луке, М. Стенд для исследования системы колесо–рельс [Электронный ресурс] / М. Луке // Железные дороги мира. – 2005. – № 4. – С. 41–46. – Режим доступа:  
<http://www.zdmira.com/arhiv/2005/zdm-2005-no-04#ТОС--5>. – Загл. с экрана.
3. Кассиди, Ф. Перспективные материалы для изготовления колес [Текст] / Ф. Кассиди // Железные дороги мира. – 2002. – № 5. – С. 40–41.
4. Хаушилд, Г. Автоматическая диагностика колесных пар с помощью системы ARGUS [Текст] / Ф. Кассиди // Железные дороги мира. – 2001. – № 12. – С. 36–42.
5. Диагностика технического состояния вагонов. Железнодорожные вагоны.

Введение в дисциплину [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
[http://www.vagoni-jd.ru/razdel\\_12.6%20diagnostika.php](http://www.vagoni-jd.ru/razdel_12.6%20diagnostika.php). – Загл. с экрана.

6. Венедиктов, А. З. Бесконтактный контроль параметров колесных пар [Текст] / А. З. Венедиктов // Железные дороги мира. – 2004. – № 10. – С. 61–65.
7. Інструкція з технічного обслуговування вагонів в експлуатації. – ЦВ/0043. [Текст] – К., 2008, 221 с.

**Ключові слова:** колісні пари, діагностування за звуком, дефекти поверхні кочення, пошкодження колісних пар, автоматизовані системи визначення дефектів.

**Ключевые слова:** колесная пара, диагностирование по звуку, дефекты поверхности катания, повреждения колесных пар, автоматизированные системы определения дефектов.

**Key words:** wheel, sound diagnostics, defects on the wheel surface, wheel damage, automated determination of defects.

Надійшла до редколегії 15.10.2013