

Міністерство освіти і науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

РАВЛЮК ВАСИЛЬ ГРИГОРОВИЧ

УДК 629.4.06:621.822.6

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ БУКСОВИХ
ПІДШИПНИКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ПРОМІЖНИХ РЕВІЗІЯХ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі вагонів Української державної академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Мартинов Ігор Ернстович, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра вагонів, завідувач кафедри

Офіційні опоненти доктор технічних наук
Горобець Володимир Леонідович, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, галузева науково-дослідна лабораторія динаміки та міцності рухомого складу, головний науковий співробітник

кандидат технічних наук, доцент
Гончаров Олександр Михайлович, Державне підприємство «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», науково-дослідне відділення організації наукової діяльності, начальник

Захист відбудеться “23” жовтня 2014 р. о 11³⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “19” вересня 2014 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А. В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ

Парк вантажних вагонів Укрзалізниці в основному складається з вагонів побудови минулого сторіччя, що вже відпрацювали свій ресурс і мають подовжений термін експлуатації. Забезпечення їх надійної роботи є найважливішим завданням вагонного господарства. За період 2002 — 2013 років на залізницях серед транспортних подій, віднесених на вагонне господарство, близько 35,3 % було викликано відмовами буксових вузлів вантажних вагонів із циліндричними роликowymi підшипниками. Це свідчить, що саме від працездатності буксових підшипників багато в чому залежить технічний стан вантажного вагона та безпека руху поїздів.

Актуальність теми

Система підтримання буксових вузлів у працездатному стані включає в себе проведення проміжних та повних ревізій, які відрізняються обсягом проведених ремонтно-діагностичних робіт. При проміжних ревізіях розбирання буксового вузла з візуальним оглядом не виконується. Тому одним із шляхів запобігання аварійним ситуаціям є використання прогресивних засобів діагностування для вчасного виявлення несправностей у буксових підшипниках.

Для діагностування технічного стану вагонних буксових підшипників використовуються різноманітні методи. Останніми роками набуло поширення діагностування за вібраційним сигналом, який володіє специфічними особливостями в часовій і частотній областях залежно від видів дефектів і ступеня їх розвитку. Ці методи є різними за теоретичними передумовами, мають різну трудомісткість, достовірність, потребують використання різного апаратного забезпечення.

За результатами діагностування на проміжних ревізіях підшипників кочення буксових вузлів існуючими деповськими діагностичними засобами було виявлено дефекти у близько 30 % буксових вузлів. Після передавання їх на повну ревізію і здійснення демонтажу буксових вузлів підтвердилося лише 25 % виявлених дефектів. Отже, значна частка буксових підшипників з дефектами є результатом помилкового бракування, що свідчить про недостатню ефективність існуючих засобів вібраційного діагностування.

Також невирішеним залишається завдання з ідентифікації дефектів елементів підшипників кочення буксових вузлів, які можуть по-різному розвиватися у фазі зародження в процесі експлуатації вантажного вагона. Це обумовлено тим, що більшість дослідників орієнтувалися лише на аналіз часової форми вібрації, яка надає достовірну безадресну інформацію на передаварійних стадіях розвитку дефектів підшипників кочення. Крім того, використовується метод прямого спектра, який дозволяє визначити зростання достовірності досліджуваних вузлів із наближенням до передаварійного стану, але він не дає можливості визначити дефекти на ранніх стадіях розвитку. Також використовується метод кепстра, який дає задовільні результати протягом діагностування вузла з підшипниками ковзання, робота яких супроводжується сильним шумом, однак метод забезпечує виділення роторних рахмонік, які не дають можливості ідентифікувати відому бібліотеку несправностей. Тому тема дисертації, що спрямована на удосконалення технології вібродіагностування буксових підшипників вантажних вагонів на проміжних

ревізіях, є актуальною і має вагомe значення для технічного переозброєння вагонного парку залізниць України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана на кафедрі вагонів Української державної академії залізничного транспорту відповідно до „Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 — 2020 роки“ (затверджена Наказом Міністра транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 р. № 1259), науково-дослідних робіт за темами: „Удосконалення технології вібраційного діагностування буксових вузлів вантажних вагонів“ (ДР 0108U010335), „Підвищення надійності та працездатності вузлів вантажних вагонів з урахуванням життєвого циклу“ (ДР 0108U0103334), „Стендові випробовування з визначенням температури нагрівання циліндричних буксових підшипників, заправлених мастилом ЗУМ“ (ДР 0113U001806).

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є удосконалення технології вібродіагностування буксових підшипників вантажних вагонів на проміжних ревізіях.

Поставлена мета визначила такі основні задачі досліджень:

- провести аналіз відомих методів виявлення дефектів буксових підшипників із використанням технології вібродіагностування під час проведення проміжної ревізії та визначити їх переваги й недоліки;
- сформулювати метод діагностування підшипників кочення буксових вузлів вантажних вагонів, який забезпечував би усунення завад, підвищення достовірності і візуалізації сприйняття результатів діагностування оператором у депо під час проміжної ревізії із його подальшою реалізацією у діагностичній системі ОМСД-02;
- запропонувати методи вибору частоти смугового і 1/3-октавного фільтрів, які дозволять розширити аналіз частотного діапазону вібрації буксового вузла вантажного вагона;
- сформулювати науковий підхід для діагностування буксових підшипників на проміжній ревізії з метою удосконалення діагностичного стенда СВ-01П і розширення діапазонів навантажень на букси колісних пар;
- встановити залежності між зміною локальних особливостей діагностичних сигналів підшипників кочення та динамікою зміни амплітуди дискретних складових на спектрах обвідної вібрації для оцінки технічного стану буксових підшипників на підставі теоретичних і експериментальних досліджень;
- удосконалити методи визначення технічного стану елементів буксових підшипників в умовах великого об'єму інформації за допомогою використання математичного апарату нейронних мереж.

Об'єкт дослідження – процес проведення проміжних ревізій буксових вузлів вантажних вагонів з підшипниками кочення.

Предмет дослідження – технологія вібродіагностування підшипників кочення буксових вузлів вантажних вагонів.

Методи дослідження

Для вирішення поставлених задач теоретичні дослідження виконувались на основі комп'ютерного моделювання з використанням методів теорії ймовірності та математичної статистики для визначення виду розподілу вібраційних реалізацій, методів технічної діагностики, теорії розпізнавання образів із залученням математичного апарату нейронних мереж для формування діагностичних ознак

технічного стану підшипникових вузлів.

Експериментальні дослідження виконувались при діагностуванні колісних пар із буксовими вузлами, які обладнані підшипниками кочення у вантажному вагонному депо „Основа“ Південної залізниці на проміжних ревізіях з використанням апаратно-програмних комплексів СВ-01П та СВП-01В.

Достовірність отриманих результатів визначено зіставленням результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання формування удосконаленої технології вібродіагностування буксових підшипників вантажних вагонів на проміжних ревізіях.

Вперше:

- для діагностування підшипників кочення буксових вузлів вантажних вагонів запропоновано виявляти модуляції найбільших складових вібрації на гармоніках частоти обертання роликів відносно зовнішнього кільця нижчими модулюючими частотами для усунення завад, підвищення достовірності і візуалізації сприйняття результатів діагностування оператором у депо під час проміжної ревізії;
- отримані регресійні залежності амплітуди вібрацій від довжин тріщин зовнішніх кілець для виявлення дефектів підшипників кочення, які відбивають вплив реальних схем навантажень і не спотворюють діагностичні ознаки. Дані залежності дають змогу оцінювати довжину тріщин зовнішніх кілець протягом діагностування.

Дістали подальшого розвитку:

- метод обвідної вібрації — шляхом упровадження перетворення Гілберта, який, на відміну від існуючих методів формування обвідної вібрації в існуючих діагностичних засобах, дозволяє ліквідувати інтенсивні високочастотні компоненти сигналу в області вищих гармонік центральної частоти смугового фільтра;
- метод вибору частоти смугового і 1/3-октавного фільтрів, який дозволяє, на відміну від існуючих при використанні апаратно-програмних комплексів депо, розширити аналіз частотного діапазону вібрації буксового вузла вантажного вагона;
- метод визначення технічного стану елементів підшипників кочення шляхом удосконалення процедури автоматизації постановки діагнозу на основі впровадження апарату нейронних мереж при великій кількості результатів діагностування.

Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення роботи полягає у використанні розроблених моделей і засобів при формуванні автоматизованої технології вібродіагностування буксових підшипників вантажних вагонів при виконанні проміжних ревізій у вантажному вагонному депо „Основа“ Південної залізниці.

Розроблено регресійні моделі для ідентифікації технічного стану елементів підшипників кочення на проміжних ревізіях за допомогою удосконаленого стенда СВ-01П, який дозволяє відтворювати експлуатаційні умови роботи буксових підшипників, створювати різні діапазони навантаження на букси колісних пар у процесі вібродіагностування.

Розроблено програмно-апаратний комплекс, який дає змогу визначати номери основних гармонік частотних смуг, що характеризують спектри обвідної вібрації в результаті діагностування буксових підшипників, та надавати перелік необхідних технологічних операцій на проміжних ревізіях, що дає змогу підвищити достовірність вібродіагностування підшипників кочення на 5,8 %.

Отримані результати використовуються в навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту для підготовки спеціалістів та магістрів спеціальності „Вагони та вагонне господарство“ при вивченні дисциплін „Технологія вагонобудування та ремонту вагонів“, „Основи технічного обслуговування вагонів“, „Надійність та технічна діагностика залізничного рухомого складу“, „Основи експлуатації та відновлення вагонів“, при виконанні науково-дослідних робіт студентів, у дипломному проектуванні спеціалістів та магістрів.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами впровадження, які наведені в додатках до дисертаційної роботи.

Особистий внесок здобувача

Усі положення та результати, які виносяться на захист, були отримані автором самостійно і проводились в Українській державній академії залізничного транспорту. В роботах, які опубліковані у співавторстві, дисертанту належать:

[2] – формування процедури щодо визначення пошкоджень сепаратора на спектрах обвідної вібрації;

[3] – визначення вимог щодо опису амплітудно-модульованих сигналів;

[4, 12] – опис процедури щодо узгодження між зареєстрованими вібраційними параметрами та змодельованими пошкодженнями елементів буксових підшипників кочення;

[5] – порівняльний аналіз переваг детермінованих підходів із ймовірнісними;

[7, 15] – обґрунтування проведення демодуляції після смугової фільтрації зареєстрованих вібраційних сигналів у певних частотних діапазонах;

[8, 10] – розробка системи зміни штучного навантаження при діагностуванні колісної пари вантажного вагона;

[9] – розробка діагностичної моделі на основі математичного апарату штучних нейронних мереж для обробки і класифікації більшого об’єму діагностичної інформації.

Апробація результатів дисертації

Результати дисертаційної роботи доповідались на таких конференціях:

— на IX і XIII Науково-практичних конференціях „Безпека руху поїздів“ (м. Москва, 2008, 2012 рр.);

— на конференціях молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України „Сучасні проблеми машинобудування“ (м. Харків, 2008, 2012 рр.);

— 69 Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту“ (м. Дніпропетровськ, 2009 р.);

— XVIII Міжнародній науково-технічній конференції „Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я“ (м. Харків, 2010 р).

Повністю дисертаційна робота доповідалася та була позитивно оцінена:

на розширеному засіданні кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої ради (м. Харків); науково-технічній раді Державного підприємства „Український науково-дослідний інститут вагонобудування“ (м. Кременчук); науковому семінарі Державного підприємства „Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України“ Міністерства інфраструктури України (м. Київ).

Публікації

За темою дисертації опубліковано 16 наукових праць, у тому числі 8 наукових статей (зокрема 2 із них без співавторів) у фахових виданнях, що затверджені МОН України, з яких 1 наукова стаття включена до міжнародних наукометричних баз, 1 наукова стаття у виданнях іноземних держав, 1 патент на винахід, 6 тез доповідей.

Структура та обсяг роботи

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 206 сторінок, з яких обсяг основного тексту 134 сторінки. Робота ілюстрована 69 рисунками, з яких 21 рисунок на 11 сторінках, наведено 12 таблиць. Список використаних джерел складає 159 найменувань на 18 сторінках, 8 додатків розміщено на 50 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність обраної теми дослідження, сформульована мета роботи, подана загальна характеристика дисертаційної роботи та визначені її наукова новизна та практична цінність.

У **першому розділі** виконано аналіз існуючих методів і технологій вібродіагностування підшипників кочення. Також подано огляд публікацій, присвячених дослідженням, що спрямовані на вирішення задач підвищення вібродіагностування буксових вузлів рухомого складу.

Питанням підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту присвячені дослідження С. В. Панченка, Т. В. Бутько, Д. В. Ломотька та ін. У розвитку наукових підходів до підвищення надійності рухомого складу залізниць ви значну роль відіграли фундаментальні праці О. Л. Голубенка, Ю. В. Дьоміна, М. Б. Кельріха, В. М. Котуранова, В. І. Мороза, В. М. Самсонкіна, Е. Д. Тартаковського та ін. У створенні удосконалених конструкцій рухомого складу різного призначення та їх вузлів значний внесок належить А. В. Донченку, І. Е. Мартинову, В. Г. Маслієву, С. В. Мямліну, О. М. Савчуку, В. Ф. Ушкалову. Проблемам удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту рухомого складу присвячені дослідження О. Б. Бабаніна, М. І. Горбунова, Ю. Є. Калабухіна, О. В. Устенка, А. П. Фалендиша. Вирішенням завдань діагностування у загальномашинобудівній галузі займалися такі вчені: О. В. Барков, А. С. Гольдін, М. Д. Генкін, А. М. Куліков, Б. В. Павлов, А. В. Мозгалевський та ін. Задачам підвищення надійності та діагностування підшипникових вузлів вагонів присвячені дослідження О. М. Гончарова, В. Л. Горобця, А. Б. Кулікова, В. П. Нелюбова, Ю. В. Теттера та інших авторів, які створили базу для розробки й застосування методів вирішення прикладних завдань діагностування. У цьому напрямку плідно працюють

фахівці багатьох науково-дослідних і навчальних закладів: Всеросійського науково-дослідного інституту залізничного транспорту, Московського державного університету шляхів сполучення, Уральського державного університету шляхів сполучення, Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Українського науково-дослідного інституту вагонобудування та ін.

Закордонними дослідниками D. Dyer, R. Stewart, I. Antoni, A. D. Ball, A. Leung, S. Chobsaard, C. Capdessus, W. A. Gardner, F. Gu, O. G. Gustaffson, J. L. Lacoume, W. Li, C. E. Phipps, M. Sidahmed, R. B. Randall, T. E. Tallian, G. D. Zivanovic здійснюється аналіз часового й частотного подання вібрації різноманітними методами форм коливань на частотах дії гармонічних коливальних сил. Проте точність вимірювання в межах даних методів потребує стабільної частоти обертання ротора, що не завжди може досягатися, особливо в перехідних режимах, а низька швидкість ухвалення рішень є недоліком даних методів вібродіагностування.

Режими роботи буксових підшипників вантажних вагонів у процесі експлуатації характеризуються різними швидкостями руху колісних пар по рейковій колії, а під час проміжної ревізії букс діагностування здійснюється на удосконаленому стен-ді СВ-01П при стаціонарному режимі руху з прикладанням навантаження. Крім того, в буксових вузлах неможливо орієнтуватися на природну зміну етапів розвитку дефектів, оскільки кожний елемент буксового вузла може перебувати на різному етапі життєвого циклу з різною швидкістю розвитку однакового дефекту. Не може бути врахована й інформація про режими роботи вузлів вагонів, особливо про перевантаження за час між діагностичними вимірами на ревізіях.

На сьогоднішній день у багатьох депо використовують апаратно-програмні діагностичні комплекси, які орієнтовані на один, або на два різних методи, що не забезпечують високої достовірності діагнозу й прогнозу стану підшипників. Переважна більшість інструментальних деповських діагностичних засобів є переносною. Проведений аналіз технології вібродіагностування буксових вузлів на проміжних ревізіях довів її недостатню якість, оскільки значна кількість колісних пар при діагностуванні бракується. Досліджено, що у вантажному вагонному депо „Основа“ на програмно-апаратному комплексі при середньорічній програмі вібродіагностування 7720 колісних пар за рік помилково бракується 459 колісних пар. Це обумовлено тим, що у стенді СВ-01П немає пристрою для відтворення режимів експлуатаційних навантажень, які дозволяють виявити дефекти у роликівих підшипниках з більшою достовірністю. Також у діагностичній системі використовуються методи діагностування, які не забезпечують необхідної точності при вимірюваннях, що потребує додаткових витрат на проведення ревізій. У зв'язку з цим виникає необхідність залучення для діагностування буксових вузлів вагонів додаткових методів, які дозволять підвищити якість та достовірність діагностування буксових підшипників вантажних вагонів на проміжних ревізіях.

У **другому розділі** обґрунтовувався вибір віброакустичного методу діагностики для формування сукупності процесів реєстрації, накопичення, обробки сигналів із наданням у зручній формі результатів діагностування. Віброакустичний метод діагностики здатен реєструвати з високою достовірністю інформативні

параметри, що характеризують стан елемента підшипників у порівнянні з іншими методами діагностування (температурний, визначення стану мастила, визначення енергетичних втрат). Для удосконалення технології вібродіагностування запропоновано здійснювати виділення мультиплікативних компонент вібрації однієї природи з вібраційної реалізації, що аналізується, з подальшим поділом на стаціонарні множники та з кінцевим проведенням спектрального аналізу у того множника, який містить періодичні складові. Відповідно до цього доцільно розглядати амплітудно-модульований сигнал у вигляді

(1)

де $x(t)$ — складова вібрації, що модулює; $y(t)$ — стаціонарна випадкова складова вібрації

Функція, що модулює, має вигляд

(2)

де m — глибина модуляції; Ω — колова частота модуляції.

Для спектрального аналізу обвідної сигналу вібрації запропоновано послідовно виділяти з сигналу підшипникової вібрації складові у необхідній смузі частот з подальшим формуванням обвідної та виконанням спектрального аналізу сформованого сигналу. Моделюванням виявлена небажаність потрапляння до виділеної частини сигналу складових від іншого працюючого обладнання вагоноскладальної дільниці депо, які рівні за потужністю й мають різну природу походження, оскільки обвідна сигналу вібрації відображає процес флуктуацій його потужності в часі. Досліджено неприпустимість зміни спектральної щільності сигналу в межах смуги частот, що обирається. Встановлено, що виділення обвідної вібрації за допомогою лінійного детектора або цифрового детектора, яке притаманне методам діагностування вузлів загальномашинобудівного обладнання з появою інтенсивних гармонічних і вузькосмугових випадкових складових, призводить до зниження достовірності діагнозу.

У дисертаційній роботі для виділення обвідної вібрації було використано перетворення Гілберта, яке встановлює в часовій і частотній областях зв'язок між дійсною та уявною частинами сигналу. Обвідна сигналу набуває вигляду

(3)

де $\tilde{x}(t)$ — спряжений за перетворенням Гілберта сигнал; $x(t)$ —

незалежна змінна; $x(t)$ — дійсний сигнал.

Дане перетворення дозволяє проводити одразу два згортання сигналу з імпульсною характеристикою фільтра та з імпульсною характеристикою, спряженою за перетворенням Гілберта, що дає можливість у будь-який момент часу розраховувати випадкову обвідну сигналу за формулою (3).

Вібраційне збудження амплітудно-модульованого сигналу (1) можна надати як амплітудно-модульовану випадкову послідовність імпульсів

де — випадкова амплітуда k -го імпульсу; — функція, що описує форму імпульсів

— момент часу; — кількість періодів; T — період проходження імпульсів зіткнення; —

тривалість імпульсу зіткнення; — випадкова фаза k -го ударного імпульсу.

Досліджено, що в практичних завданнях інтерпретації результатів вібродіагностування обмежуються їх описом у рамках нормального закону розподілу з ненульовим середнім значенням із подальшим визначенням кількісної оцінки відмінності реального розподілу від нормального. Для визначення законів розподілу вібраційних реалізацій генерувався: випадковий стаціонарний сигнал; сигнал, який містить, окрім випадкових складових, гармонічну складову; сигнал із гармонічною складовою, яка більша за випадкову складову. Встановлено, що перший сигнал описувався законом розподілу Релея, другий сигнал — законом розподілу Релея-Райса, третій сигнал — нормальним законом розподілу. Отже, здійснене моделювання дозволило на підставі отриманих результатів підтвердити адекватність обраної моделі, а закон розподілу декількох компонентів вібрації незначно відрізняється від нормального, що відповідає реальним підшипниковим вібраціям, генерованим протягом вібродіагностування на проміжних ревізіях (перевірено узгодженість теоретичного розподілу з експериментальними даними проведених за критерієм Пірсона, що показали достатню збіжність).

У третьому розділі проаналізовано вібраційні характеристики підшипників кочення та отримано моделі, які дозволяють визначати довжину тріщини за значенням віброприскорення у певному довірчому інтервалі.

Стандартна технологія вібродіагностування являє собою сукупність процесів реєстрації вібраційних реалізацій буксових підшипників, що обертаються, підсилення й перетворення реалізацій, їх накопичення, фільтрації з подальшою побудовою спектрів у широкому частотному діапазоні за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є та обробки даних спектрів програмним забезпеченням для установаження багаторівневого діагнозу (справний стан, потреба у додаванні мастила, передаварійний стан). Підвищення достовірності технології вібродіагностування вимагає збільшення кількості процесів щодо аналізу спектрів обвідної вібрації. З цією метою виділялися спектри вібрації буксових підшипників типу 30-232726E2M, 30-42726E2M у широкому частотному діапазоні на стенді СВП-01В, що розташовується у відділенні з ремонту роликів підшипників і призначений для моделювання несправностей і уточнення діагностичних порогів. Запропоновано для побудови спектра обирати смуги частот з найвищими рівнями вібрації: 600 — 1200 Гц, 1350 — 2000 Гц, 2400 — 2800 Гц, 2950 — 3200 Гц, 3350 — 3950 Гц, 4000 — 4800 Гц, 5200 — 6000 Гц, 6250 — 8350 Гц, 8400 — 10400 Гц, 10550 — 12800 Гц. Вибір обумовлено тим, що на цих частотах спостерігається найбільший рівень вібрації. В ході експериментальних досліджень на першому етапі здійснювали монтаж у буксові вузли підшипників із дефектами, які створювалися штучно. В результаті досліджень встановлено, що згенеровані вібраційні реалізації даних підшипників є відмінними від сигналів дефектів, які утворені в експлуатаційних умовах. Тому на другому етапі для уточнення діагностичних ознак технічного стану здійснювали монтаж в буксові вузли підшипників із дефектами, що виникли в експлуатаційних умовах і були відібрані в депо. Кожен із підшипників із зовнішніми кільцями з різними довжинами тріщин від 12,5 до 42,8 мм, які розташовувалися перпендикулярно до поверхні кочення від борта, що контролювалися штангенциркулем і лупою із десятикратним збільшенням, встановлювався на стенд СВП-01В, зазнавав навантаження 2,5 кН, розкручувався і розраховувалися основні частоти збуджень коливаль підшипників кочення. Отримані чисельні

часові подання вібрації, вказують на неспроможність даного виду відтворення вібрації отримувати достовірні результати діагностування, а саме визначати вид дефекту, надаючи лише інформацію про ступінь погіршення загального технічного стану підшипника кочення за допомогою амплітуди вібраційних імпульсів і частоти їх повторювання. Більшу інформацію надають спектри вібрації у широкому частотному діапазоні, однак і на них простежується незадовільна чутливість до різноманітних стадій пош-коджень досліджуваних елементів. Запропоновано для точної ідентифікації пош-коджень залучати метод обвідної вібрації як один з найбільш достовірних і зручних методів визначення виду пошкодження й оцінки стану підшипників кочення буксових вузлів. Як діагностичні ознаки слід використовувати амплітудну модуляцію високочастотної випадкової вібрації підшипникового вузла, а діагностичними параметрами доцільно обрати парціальні глибини модуляції випадкового сигналу. Встановлені недоліки відомих виразів з обчислення частот обертання елементів підшипників кочення щодо здатності до обліку прикладеного навантаження.

Встановлені вимоги й залежності до вибору верхньої граничної частоти спектра вібрації у широкому частотному діапазоні та спектра обвідної високочастотної вібрації, забезпечення необхідної частотної роздільності. Запропоновано для побудови обвідної вібрації обирати широкосмуговий фільтр за трьома основними параметрами: за середньгеометричною частотою, за шириною смуги пропускання і за складом спектральних складових вібрації у смузі частот обраного фільтра. Для реалізації методу сформовано правило для обрання орієнтовної середньгеометричної частоти смугового фільтра залежно від частоти обертання внутрішнього кільця підшипників кочення з подальшим корегуванням.

Для визначення реакції у вигляді зміни вібраційного стану досліджуваних буксових підшипників на зміну технічного стану (збільшення тріщини зовнішніх кілець) було використано модель експерименту

(5)

де Y_i — значення ознаки Y , коли фактор A (довжина тріщини) перебуває на i -му рівні та k -му повторенні експерименту; \bar{Y} — загальне середнє значення ознаки в експерименті; σ — випадкова помилка в k -му спостереженні, коли фактор A перебуває на i -му рівні.

Для встановлення впливу різних довжин тріщин зовнішніх кілець на величину амплітуди вібрації досліджувалися сім підшипників на першій гармоніці спектра обвідної вібрації (76,6 Гц), яка виникає внаслідок змін форми зовнішнього кільця, та отримувалися експериментальні значення амплітуд віброприскорення за кожним підшипником. Кількість вимірювань при вібродіагностуванні підшипників на апаратно-програмному комплексі СВП-01В становить 105 (по 15 вимірювань на кожен підшипник). За результатами вимірювань обчислювались сумарні квадрати, які характеризують мінливості ознаки в зв'язку зі зміною значення фактора A та мінливості ознаки в зв'язку з помилкою експерименту й дією неврахованих факторів, а також обчислювались значення ступенів свободи. Здійснювалася перевірка значимості впливу тріщини зовнішнього кільця на величину амплітуди вібрації та виявлявся внесок розглянутого фактора до загальної мінливості ознаки. Кінцевий розрахунок підтвердив правильність ототожнення віброприскорення на частоті 76,6 Гц з тріщиною зовнішнього кільця підшипників кочення на 67,1 %.

Для визначення достовірності експериментальних даних для кожної інформаційної частоти було побудовано довірчі інтервали, які визначали межі перебування залежностей діагностичного параметра (амплітуди вібрацій, m/s^2) від структурного (тріщини зовнішнього кільця). Зазначені залежності є близькими до лінійних на частотах 76,6 Гц, 153,2 Гц. Чутливість діагностичних ознак зростає зі збільшенням величини дефекту (рис. 1).

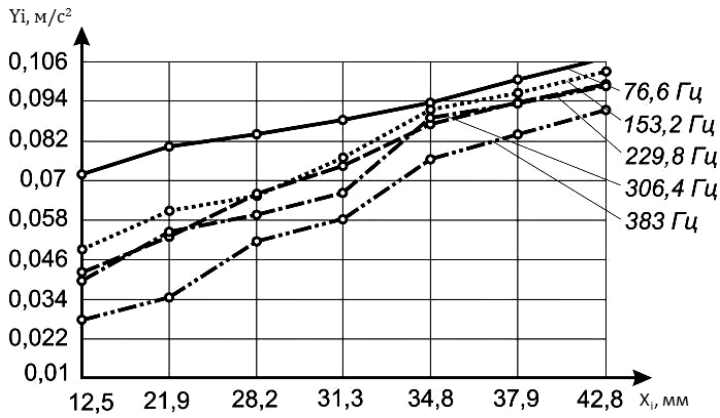


Рисунок 1 — Залежність амплітуди коливань від довжин тріщин зовнішніх кілець підшипників кочення

Наведені результати доводять правильність вибору діагностичних ознак для діагностування буксових підшипників на проміжних ревізіях, які містять достатню інформативність і можуть бути використані як додатковий процес технології вібродіагностування для оцінки технічного стану підшипників кочення.

У подальшому для забезпечення достатньої точності застосовувався статистичний прогноз на основі рівняння лінійної регресії

(6)

де Y_i — амплітуда вібрації підшипника кочення, м/с²; a_i — коефіцієнти регресії; X_i — довжина тріщини зовнішнього кільця підшипника кочення, мм.

Лінійна регресія і статистичні залежності визначалися коефіцієнтами регресійних моделей для кожної інформаційної частоти, які отримано за експериментальними значеннями на стенді СВП-01В. За даними значеннями будувалися регресійні моделі для кожної інформаційної частоти.

Модель регресії на інформаційній частоті 76,6 Гц

(7)

модель регресії на інформаційній частоті 153,2 Гц

(8)

модель регресії на інформаційній частоті 229,8 Гц

(9)

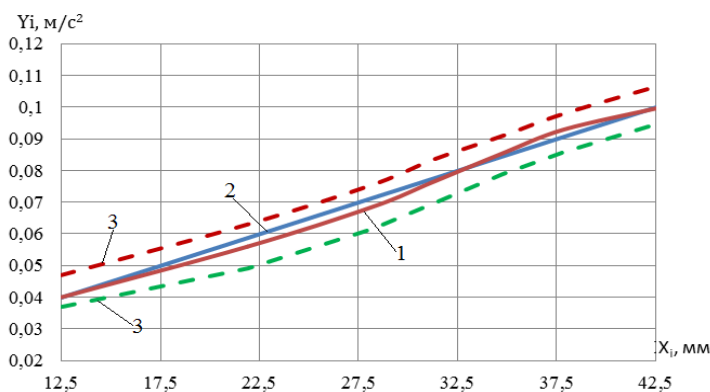
модель регресії на інформаційній частоті 306,4 Гц

(10)

модель регресії на інформаційній частоті 383 Гц

(11)

На рис. 2 наведено довірчий інтервал і графіки регресії для інформаційної частоти 229,8 Гц, поєднані з експериментальними значеннями.



1 — експериментальна модель; 2 — регресійна модель; 3 — верхня та нижня границя довірчого інтервалу

Отже, значення експериментальних даних перебувають у межах верхньої та нижньої границь довірчого інтервалу (рис. 2).

Виконання умов потрапляння в довірчі інтервали значень, отриманих у результаті розрахунків і експериментальних даних, підтверджують достатню точність отриманих результатів і можливість доповнювати технологію вібродіагностування запропонованими діагностичними моделями.

Рисунок 2 — Довірчий інтервал і графік рівняння регресії для інформаційної частоти 229,8 Гц

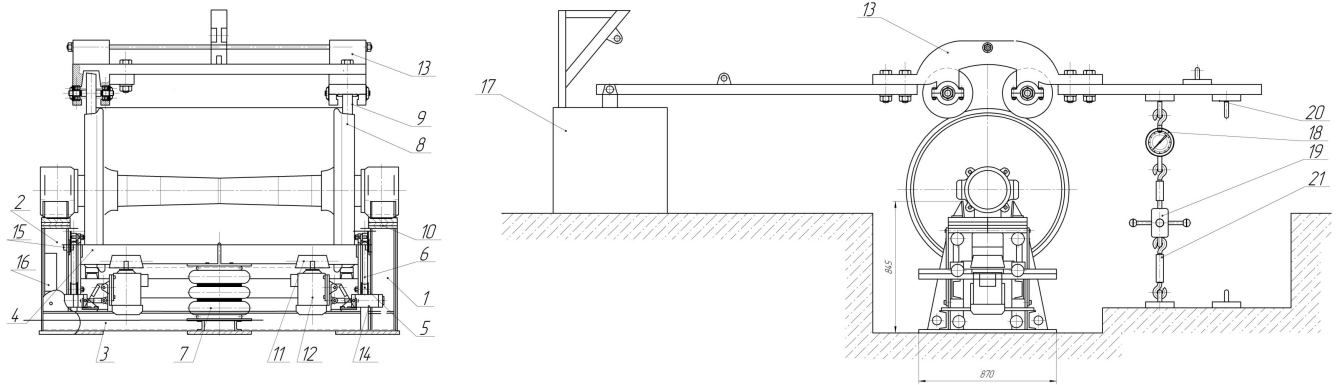
У четвертому розділі порівнювалися запропоновані процедури й способи діагностування із стандартними методами, які включені до технології вібродіагностування буксових підшипників на проміжних ревізіях.

На удосконаленому стенді реєструвалися і порівнювалися можливості спектрів вібрації у широкому частотному діапазоні та розробленого способу формування спектрів обвідної вібрації із залученням математичного апарату нейронних мереж, що відтворює для автоматизації ухвалення діагностичного рішення.

Установлено, що необхідність відтворення реальних навантажень на буксові вузли, які виникають під час руху, вимагає використання досконалих закордонних зразків коткових стендів, які мають високу вартість і яких нині немає на найзначніших українських заводах, які спеціалізуються на випуску залізничного рухомого складу.

Найбільшим чином наблизитися до експлуатаційних умов роботи буксових підшипників дозволяє удосконалення наявного у вагонному депо „Основа“ Південної залізниці стенда СВ-01П

шляхом реалізації запропонованого технічного рішення у вигляді коромисла з навантажувальними роликами, які дають можливість змінювати навантаження, що прикладається (рис. 3). Для удосконаленого стенда розроблена „Програма-методика діагностування буксових вузлів колісних пар вантажних вагонів з роликовими підшипниками“, яка затверджена Головним управлінням вагонного господарства „Укрзалізниці“.



1, 2 — стійка; 3 — нерухома рама; 4 — рухома рама; 5 — ролики для переміщення рухомої рами; 6 — напрямна; 7 — пневматичний циліндр; 8 — колісна пара; 9 — навантажувальний ролик; 10 — амортизаційний майданчик; 11 — приводний ролик; 12 — електродвигун; 13 — коромисло; 14 — пневматичний циліндр; 15 — безконтактний оптичний давач; 16 — розподільна коробка; 17 — опора із стійкою; 18 — динамометр; 19 — струбцина; 20 — вушко; 21 — стяжка

Рисунок 3 — Удосконалений стенд для вібродіагностування підшипників буксових вузлів колісних пар вантажних вагонів

Для оцінки ступеня розвитку пошкодження слід порівнювати значення отриманих віброприскорень підшипника, рівнів звукового тиску з еталонними значеннями та розраховувати глибини модуляції високочастотної вібрації

(12)

де — різниця рівнів гармонічної та випадкової складових спектра обвідної вібрації;

— ширина смуги фільтра, що виділяє високочастотну вібрацію, Гц; —

частотна роздільність у спектрі обвідної високочастотної вібрації; — гранична частота спектра обвідної вібрації, Гц; — кількість частотних смуг у спектрі.

Згідно з розрахунками гранична частота спектра для підшипника 30-232726E2M з частотою обертання 4,67 Гц (280 об/хв) дорівнює 100 Гц. Частотна роздільність

Гц. Ширина смуги 1/3-октавного фільтра

Різниця у характеристиках спектрів у широкому частотному діапазоні і спектрів обвідної вібрації, зареєстрованих без навантаження і з навантаженням, є суттєвою, що вказує саме на необхідність проведення вимірювань з наближенням до експлуатаційних навантажень. Зокрема спектри обвідної вібрації, отримані без навантаження і з навантаженням, суттєво відрізняються: дискретні складові збільшуються у прямій пропорційності до навантаження при незмінній довжині тріщини, що свідчить про неприпустимість достовірного діагностування без штучно створеного навантаження.

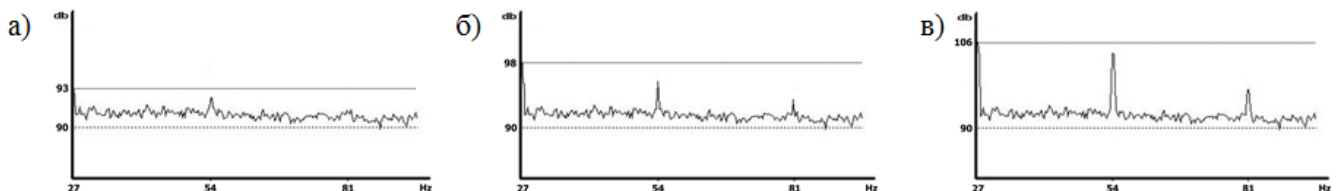
У вагонному депо „Основа“ Південної залізниці протягом проміжної ревізії відбувалася реєстрація вібраційних характеристик буксових вузлів з подальшим аналізом виділених прихованих особливостей зміни дискретних складових, що відповідають різним стадіям пошкоджень зовнішніх кілець підшипників кочення на спектрах обвідної вібрації. Встановлено, що розташування датчиків вібрації на опорах стенда змінювати недоцільно, оскільки вони реєструють вібрацію саме у навантаженій нижній зоні корпусу букси. Для запобігання зміщенню резонансної частоти датчика у зону нижніх частот було запропоновано схеми кріплення датчиків до поверхні корпусів букс. Досліджено, що саме спектри обвідної вібрації, що побудовані запропонованим способом, дають можливість ідентифікувати зазначене пош-кодження, ознаки якого в разі відсутності на спектрах у широкому частотному діапазоні і вчасно вжитих превентивних заходів призводять до непрогнозованого ха-рактеру розвитку дефектів й підвищують ймовірність аварії. На рис. 4 наведені спектри обвідної вібрації з ознаками пошкоджень зовнішніх кілець буксових вузлів.

Глибина модуляції спектра обвідної вібрації (рис. 4, а) $m = 1,6\%$, а рівню сильних дефектів відповідає глибина модуляції $m = 16\%$, тому зовнішнє кільце даного підшипника не потребує проведення заміни. Це підтвердило подальше розбирання, кількість мастила, згідно із загальним підняттям складових спектра в широкому частотному діапазоні, виявилася недостатньою і необхідну різницю було додано.

Глибина модуляції спектра обвідної вібрації (рис. 4, б) $m = 3,8\%$, що не відповідає рівню розвинутого дефекту. Після зняття кришки букси було встановлено відсутність перекошування підшипникових кілець. Після розбирання буксового вузла розвинутий дефект зовнішнього кільця не підтвердився. Таким чином, спектр вібрації у широкому частотному діапазоні не був наповнений вагомими діагностичними ознаками, а чисельні припущення щодо сутності окремих виражених дискретних складових не підтвердилися. Натомість обчислена низька глибина модуляції, яка ототожнена зі слабким дефектом, підтвердилася на практиці.

Глибина модуляції спектра обвідної вібрації (рис. 4, в) $m = 10,2\%$, що перебуває в межах норми та відповідає дефекту середньої стадії. Розбирання підтвердило наявність раковини, яка поки не створює аварійної ситуації на шляху прямування та не вимагає вживання превентивних заходів. Отже, відсутність глибокої інформації на прямому спектрі вібрації вимагає розбирання вузла для з'ясування причин підвищеної вібрації на спектрі у широкому частотному діапазоні, що вплине на підвищений відсоток надмірного бракування й, як наслідок на додаткові витрати.

На завершальному етапі досліджень було використано математичний апарат штучних нейронних мереж (ШНМ) для розпізнавання технічного стану підшипників кочення. Досліджувалися 64 буксові підшипника кочення типу 30-232726E2M з різними довжинами тріщин зовнішніх кілець, реєструвалося 194 спектри обвідної вібрації кожного підшипника в частотному діапазоні від 0 до 100 Гц, досліджувалися рівні віброприскорень на частоті 76,6 Гц.



а — підшипник кочення із задовільним технічним станом; б — підшипник кочення без перекошування; в — підшипник кочення з середньою стадією розвитку пош-кодження зовнішнього кільця

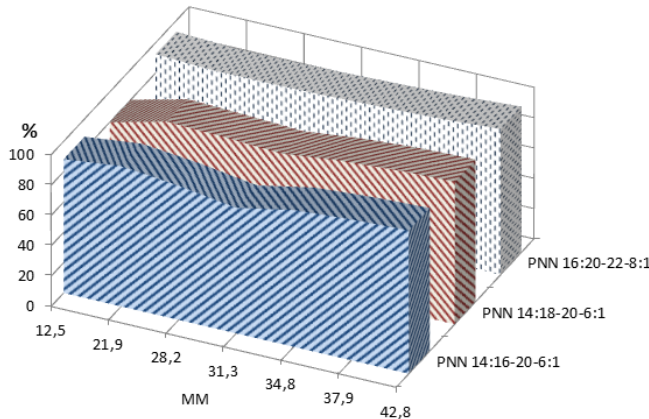
Рисунок 4 — Спектри обвідної вібрації підшипників кочення з різним технічним станом

Для досліджень обиралися ШНМ типу: багатосаровий перцептрон (MLP), радіально-базисна мережа (RBF), імовірнісна нейронна мережа (PNN). Обрано позначення ШНМ таким чином: Вх:Ш-Ш-Ш:Вих, де Вх — кількість вхідних змінних; Ш — кількість елементів в кожному

шарі; Вих — кількість вихідних змінних.

На рис. 5 наведені результати ідентифікації технічного стану ШНМ типу PNN 16:20-22-8:1, які є найвищими серед інших двох ШНМ.

Таким чином, існуюча технологія вібродіагностування на проміжних ревізіях доповнюється додатковими процесами, що базуються на отриманих результатах теоретичних та експериментальних досліджень, а саме: вони містять розроблений



метод виділення обвідної вібрації, отримані регресійні моделі та математичний апарат штучних нейронних мереж, що сприяє підвищенню ефективності виконання ремонтних заходів буксових вузлів із розширенням градацій кінцевого діагнозу для оператора (справний; дефект, що зароджується; потреба у додаванні мастила; передаварійний стан) завдяки реалізації програмного доповнення (модуля) до апаратно-програмного комплексу.

Рисунок 5 — Результати ідентифікації технічного стану ШНМ типу PNN

Доповнення (модуль) написано мовою високого програмування та включено до складу апаратно-програмного комплексу діагностичної системи ОМСД-02 таким чином, щоб реалізовувати запропоновані заходи. Результати діагностування наводяться в окремій вкладці програмного забезпечення апаратно-програмного комплексу.

У п'ятому розділі як оцінювальний критерій, що характеризує ефективність технології вібродіагностування, обчислювався показник достовірності діагностування для стенда СВ-01П за результатами досліджень вібраційних характеристик буксових вузлів вантажних вагонів у вантажному вагонному депо „Основа“ Південної залізниці, величина якого становить 79,4 %. Цей показник внаслідок упровадження розроблених заходів становить 85,2 %, тобто перевищує аналогічний для стенда СВ-01П.

Після впровадження удосконаленої технології вібродіагностування буксових вузлів вантажних вагонів та запропонованого програмно-апаратного комплексу підвищено якість технології ревізій завдяки зменшенню помилки бракування при діагностуванні. Для підтвердження цього були виконані проміжні ревізії, результатом яких є виявлення дефектів у 15 % буксових вузлів від загальної кількості, які надходили на проміжну ревізію з вагоноскладальної дільниці депо або з пунктів експлуатації вагонів. Після розбирання підтвердилося 13 % виявлених тріщин зовнішніх кілець, а 2 % дефектів розцінювалися як результати помилкового бракування. Отже, удосконалена технологія вібродіагностування забезпечує скорочення кількості помилкового бракування у порівнянні зі стандартною технологією на 3 %.

Прогнозований економічний ефект від удосконаленої технології вібродіагностування буксових підшипників на проміжних ревізіях дає можливість отримати середньорічну економію 406,3 тис. грн шляхом зменшення помилкового бракування при звичайному обстеженні на 459 колісних парах за рік, що досягається за рахунок підвищення показника достовірності.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання підвищення ефективності ідентифікації тріщин зовнішніх кілець буксових підшипників кочення на проміжних ревізіях на основі удосконалення технології вібраційного діагностування.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі результати:

1. Проведений аналіз довів, що для підвищення достовірності технології вібродіагностування доцільно використовувати найбільш інформативні методи аналізу сигналів у частотній формі (спектри у широкому частотному діапазоні, різновиди спектрів обвідної вібрації), які дають можливість ідентифікувати тріщини зовнішніх кілець на ранніх та середніх стадіях розвитку, що зменшує імовірність раптового виходу з ладу буксового вузла під час руху.
2. Запропоновано у процесі діагностування технічного стану буксових підшипників використовувати різновид спектра обвідної вібрації, а саме визначати модуляції найбільших складових вібрації на гармоніках частоти обертання роликів від-носно зовнішнього кільця нижчими модулюючими частотами, що дає можливість усувати недоліки у вигляді появи в спектрі слабких бокових складових вібрації, підвищувати якість візуального сприйняття результатів діагностування оператором у депо під час проведення проміжної ревізії.
3. Запропоновано для побудови спектра обвідної розширити частотний діапазон вібрації буксового вузла вантажного вагона для апаратно-програмного комплексу діагностичної системи ОМСД-02 і обирати смуги частот з найвищими рівнями вібрації, які дозволяють з більшою достовірністю ідентифікувати тріщину зовнішнього кільця підшипника як одну з найбільш небезпечних і ту, яку важко виявити стандартними вібраційними методами.
4. Сформовано науковий підхід шляхом моделювання різноманітних діапазонів експлуатаційного навантаження під час проведення проміжних ревізій на буксові вузли при діагностуванні на удосконаленому стенді СВ-01П у вагонному депо „Основа“, на який отримано патент на винахід, та розроблена „Програма-методика діагностування буксових вузлів колісних пар вантажних вагонів з роликівими підшипниками“. Запропоновано програму для отримання та подальшого аналізу спектрів обвідної вібрації для діагностичної системи ОМСД-02, що надасть можливість формувати результати діагностування та уточнювати діагностичні пороги технічного стану зовнішнього кільця буксових підшипників кочення.
5. Результати теоретичних і експериментальних досліджень підтвердили припущення щодо складу вібраційних реалізацій, а побудовані залежності віброприскорення на стенді СВП-01В від частоти обертання дають можливість встановлювати довірчі інтервали й обирати інформативні значення частот. Встановлені регресійні моделі дають змогу оцінювати величину виявленої тріщини.
6. Для оцінки технічного стану буксових підшипників вантажних вагонів сформовано модель на основі штучних нейронних мереж, яка в комплексі із удосконаленою технологією вібродіагностування дає змогу визначити наявність і характеристики тріщин зовнішніх кілець буксових підшипників. На основі впровадження удосконаленої технології достовірність діагностики підвищено на 5,8 %, а еконо-мічний ефект складає 406,3 тис. грн за рік в результаті помилкового бракування 459 колісних пар, при виконанні проміжних ревізій буксових підшипників.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Равлюк В. Г. Особливості спектрального методу вібродіагностування буксових вузлів вантажних вагонів [Текст] / В. Г. Равлюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Вып. 4/3 (34). – С. 25 – 27.
2. Борзилов І. Д. Визначення діагностичних ознак технічного стану елементів підшипників кочення буксових вузлів рухомого складу [Текст] / І. Д. Борзилов, В. Г. Равлюк // Зб. наук. праць. — Донецьк: ДонІЗТ, – 2008. – Вип. 15. – С. 100–105.
3. Кутько О. В. Застосування спектрів обвідної вібраційних сигналів для підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників кочення букс рухомого складу [Текст] / О. В. Кутько, В. Г. Равлюк, М. Г. Равлюк // Зб. наук. праць. — Харків: УкрДАЗТ, – 2009. – Вип. 94. – С. 86–93.

4. Кутько О. В. Аналіз вібраційних реалізацій буксових підшипників кочення в часовому й частотному поданнях [Текст] / О. В. Кутько, В. Г. Равлюк, М. Г. Равлюк // Зб. наук. праць. — Харків: УкрДАЗТ, — 2009. — Вип. 103. — С. 83 – 89.
5. Борзилов І. Д. Визначення працездатності буксових вузлів вагонів вібродіагностичними методами [Текст] / І. Д. Борзилов, В. Г. Равлюк, М. Г. Равлюк // Зб. наук. праць. — Донецьк: ДонІЗТ, — 2009. — Вип. 19. — С. 83 – 92.
6. 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.
7. 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– 133.
- Публікації у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:
8. Равлюк В. Г. Визначення динамічних характеристик вагонів при випробуваннях на каткових стендах [Текст] / В. Г. Равлюк, А. С. Глущенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — Вып. 5/7 (59). — С. 49 – 52.
- Праці у наукових періодичних виданнях іноземних держав з напрямку:
9. Мартынов И. Э. Оценка виброакустики буксовых узлов [Текст] / И. Э. Мартынов, В. Г. Равлюк, С. В. Михалкив // Мир Транспорта. — 2013. — Вип. 3. — С. 52 – 57.
- Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:
10. Пат. 99206 Україна, МПК51 G01M 17/08. Стенд для вібродіагностування буксових вузлів колісної пари вантажного вагона [Текст] / Мартинов І. Е., Равлюк В. Г., Нечволода С. І., Михалків С. В., Нечволода К. С., Равлюк М. Г., Труфанова А. В.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту; заявл. 21.03.11; опубл. 25.07.12, Бюл. №14.
- Праці апробаційного характеру:
11. Равлюк В. Г. Виділення корисних складових технічного стану буксових вузлів вантажних вагонів на спектрах обвідної вібрації протягом вібраційного діагностування [Текст] / В. Г. Равлюк // Сучасні проблеми машинобудування: конф. молодих вчених та спеціалістів НАН України ім. А. М. Підгорного. 3 – 6 листопада, 2008 р.: тези доповідей. — Харків, 2008. — С. 12.
12. Петухов В. М. Бортовая буксовая диагностическая станция [Текст] / В. М. Петухов, В. Г. Равлюк // Безопасность движения поездов: междунар. науч.–прак. конф. 30 – 31 октября 2008 г.: тезисы докл. — М., 2008. — С. VII–37.
13. Равлюк В. Г. Визначення діагностичних ознак технічного стану елементів підшипників кочення буксових вузлів вантажних вагонів [Текст] / В. Г. Равлюк // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: междунар. науч.–прак. конф. 21 – 22 апреля, 2009 г.: тезисы докл. — Днепропетровск, 2009. — С. 54.
14. Равлюк В. Г. Підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників кочення застосуванням обвідної [Текст] / В. Г. Равлюк // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: міжнар. наук.–прак. конф. 12–14 травня, 2010 р.: тези доповідей. — Харків, 2010. — С. 237.
15. Мартынов И. Э. Диагностирование буксовых узлов грузовых вагонов вибродиагностическим комплексом ОМСД–02 [Текст] / И. Э. Мартынов, В. Г. Равлюк // Безопасность движения поездов: междунар. науч.–прак. конф. 18 – 19 октября 2012 г.: тезисы докл. — М., 2012. — С. VII–8.
16. Равлюк В. Г. Обробка й дослідження ефективності різних форм подання вібрацій буксових вузлів рухомого складу [Текст] / В. Г. Равлюк // Сучасні проблеми машинобудування: конф. молодих вчених та спеціалістів НАН України ім. А. М. Підгорного. 5 – 8 листопада, 2012 р.: тези доповідей. — Харків, 2012. — С. 20.

Равлюк В. Г. Удосконалення технології вібродіагностування буксових підшипників вантажних вагонів на проміжних ревізіях. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. Українська державна академія залізничного транспорту МОН України, Харків, 2014 р.

Для підвищення достовірності оцінки технічного стану буксових підшипників вантажних вагонів на проміжних ревізіях на основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена удосконалена технологія вібродіагностування, що містить комплекс заходів: віброакустичний метод діагностики для формування сукупності процесів реєстрації, накопичення, обробку сигналів із поданням у зручній формі результатів діагностування буксових підшипників.

Для спектрального аналізу обвідної запропоновано послідовно виділяти з сигналу складові вібрації у необхідній смузі частот із подальшим формуванням обвідної та виконанням спектрального аналізу сформованого сигналу з використанням перетворення Гілберта, що усуває недоліки, притаманні цифровим методам формування обвідної вібрації.

Оцінка величин дефектів елементів буксових підшипників і прогнозування їх розвитку здійснювалися за розробленими регресійними діагностичними моделями після впровадження методу вибору частоти смугового і 1/3-октавного фільтрів, що враховує специфіку вібрації буксового вузла вантажного вагона з використанням удосконаленого стенда СВ-01П під час виконання проміжних ревізій.

Для автоматизованого процесу визначення технічного стану елементів буксових підшипників використано математичний апарат ймовірнісних нейронних мереж, яким властиве швидке навчання і висока достовірність діагнозу при великій кількості результатів діагностування.

Ключові слова: букса, вібродіагностування, методи, моделі, підшипник, стенд, технологія.

АННОТАЦІЯ

Равлюк В. Г. Усовершенствование технологии вибродиагностирования буксовых подшипников грузовых вагонов на промежуточных ревизиях. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2014 г.

Для повышения достоверности оценки технического состояния буксовых подшипников грузовых вагонов на промежуточных ревизиях на основе теоретических и экспериментальных исследований разработана усовершенствованная технология вибродиагностирования, которая содержит комплекс мер: виброакустический метод диагностики для формирования совокупности процессов регистрации, накопление, обработку сигналов с представлением в удобной форме результатов диагностирования буксовых подшипников грузовых вагонов.

Предложено для усовершенствования технологии вибродиагностирования осуществлять выделение мультипликативных компонент вибрации одной природы из вибрационной реализации, которая анализируется, с дальнейшим делением на стационарные множители и с конечным проведением спектрального анализа того множителя, который содержит периодические составляющие.

Для спектрального анализа огибающей предложено последовательно выделять из сигнала составные вибрации в необходимой полосе частот с дальнейшим формированием огибающей и выполнением спектрального анализа сформированного сигнала. Для выделения огибающей вибрации предложено использовать преобразование Гилберта, которое устраняет недостатки, присущие цифровым методам формирования огибающей вибрации.

Исследовано, что в практических задачах интерпретации результатов вибродиагностирования ограничиваются их описанием в рамках нормального закона распределения с ненулевым средним значением с дальнейшим определением количественной оценки отличия реального распределения от нормального. Осуществленное моделирование позволило на основании полученных результатов подтвердить адекватность избранной модели, а закон распределения нескольких компонентом вибрации незначительно отличается от

нормального, что соответствует реальным подшипниковым вибрациям, генерированным на протяжении вибродиагностирования на промежуточных ревизиях.

Проанализированы вибрационные характеристики подшипников качения и получены модели, которые позволяют определять длину трещины по значению виброускорения в определенном доверительном интервале.

Повышение достоверности технологии вибродиагностирования требует увеличения количества процессов относительно анализа спектров огибающей вибрации. С этой целью выделялись спектры вибрации буксовых подшипников типа 30-232726Э2М, 30-42726Э2М в широком частотном диапазоне на стенде СВП-01В, который предназначен для моделирования неисправностей и уточнения диагностических признаков технического состояния.

Оценка величин дефектов элементов буксовых подшипников и прогнозирование их развития осуществлялись за разработанными регрессионными диагности-ческими моделями после внедрения метода выбора частоты полосового и 1/3- октавного фильтров, который учитывает специфику вибрации буксового узла грузового вагона с использованием усовершенствованного стенда СВ-01П во время выполнения промежуточных ревизий буксовых узлов.

На усовершенствованном стенде СВ-01П, который создает реальные эксплуатационные нагрузки, возникающие во время движения, и включен в технологию вибродиагностирования буксовых подшипников на промежуточных ревизиях, выполнены также сравнения спектров вибрации в широком частотном диапазоне и разработанном образе формирования спектров огибающей вибрации в условиях автоматизированного процесса определения технического состояния элементов буксовых подшипников. Для автоматизированного процесса задействован математический аппарат вероятностных нейронных сетей, который быстро обучает сеть и дает высокую достоверность диагноза при большом количестве результатов диагностирования.

Разработанная технология вибродиагностирования на промежуточных ревизиях дополняется процессами, базирующимися на полученных результатах теоретических и экспериментальных исследований, которые содержат разработанный метод выделения огибающей вибрации, полученные регрессионные модели и математи-ческий аппарат искусственных нейронных сетей, который содействует повышению эффективности выполнения ремонтных мер с расширением градаций конечного диагноза для оператора благодаря реализации программного дополнения к аппаратно-программному комплексу.

Ключевые слова: букса, вибродиагностирование, методы, модели, подшипник, стенд, технология.

ABSTRACT

Ravluyk V. G. The improvement of technology of vibrodiagnostics of axle-box bearings of freight cars at the intermediate revisions.

Dissertation to obtain the scientific degree of a Candidate of Engineering Sciences according to the speciality 05.22.07 – railway rolling stock and train traction. Ukrainian State Academy of Railway Transport of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2014.

To improve the reliability of evaluation of technical condition of axle-box bearings of freight cars at the intermediate revisions on the basis of theoretical and experimental studies an advanced technology of vibration diagnostics was developed, which contains a complex of measures: vibroacoustic diagnostics method for forming the set of processes of registration, accumulation, processing of signals with a view in a convenient form of the results of diagnostics axle-box bearings.

For spectral analysis envelope proposed consistently highlight of the signal components vibration in the required frequency band with the subsequent formation of the envelope and perform spectral analysis of the generated signal using conversion Gilbert, eliminating the disadvantages of digital methods of formation of vibration envelope.

For values estimation of defects in the elements of axle-box bearings and forecasting of their development a regression diagnostic models were developed with the selection of the frequency band and 1/3-octave filters which take into account a specific vibration of axle-box of freight car using an improved stand SV-01P during the intermediate revision.

For the automated process of determining the technical condition of axle-box bearings mathematical tools used probabilistic neural networks, which have a quick learning and high reliability of the diagnosis with a large number of the results of diagnostics.

Keywords: axle-box, vibration diagnostics, methods, models, bearing, stand, technology.

РАВЛЮК ВАСИЛЬ ГРИГОРОВИЧ

УДК 629.4.06:621.822.6

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ БУКСОВИХ
ПІДШИПНИКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ПРОМІЖНИХ РЕВІЗІЯХ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

Калмиков О. С.

Підписано до друку “17” вересня 2014 р.
Формат 60х90/16 Папір офсетний
Умовн. друк. арк. 1,0 Обл. –вид. арк. 1,1.
Замовлення №323. Тираж 150 прим.

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.