

Українська державна академія залізничного транспорту

Кіреєв Андрій Миколайович

УДК 629.4.027.4:620.179.162

**УДОСКОНАЛЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ
КОЛІСНИХ ЦЕНТРІВ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ**

Спеціальність 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2007

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля на кафедрі «Залізничний транспорт», Міністерство освіти і науки України

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент
Басов Геннадій Григорійович,
ВАТ «Холдингова компанія «Луганськтепловоз»,
технічний директор

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор
Бабанін Олександр Борисович,
Українська державна академія залізничного
транспорту, кафедра „Експлуатація та ремонт рухомого
складу”, професор

– кандидат технічних наук, доцент
Шевченко Олександр Іванович,
Східноукраїнський національний університет імені
Володимира Даля, кафедра „Прилади”, доцент

Провідна установа – Київський університет економіки та технології
транспорту, Міністерство транспорту та зв'язку України,
кафедра „Тяговий рухомий склад”, м. Київ

Захист відбудеться „15” червня 2007 р. о 14-00 годині 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 ознайомитись у бібліотеці Української державної
академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан
Фейєрбаха, 7

Автореферат розісланий ” ____ ” _____ 2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Ломотько Д.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Враховуючи позитивні тенденції розвитку економіки України, в найближчі роки слід чекати зростання пасажирських перевезень, як в приміському, так і міжміському сполученні. У зв'язку з цим пріоритетним напрямком розвитку залізничного транспорту є розробка та впровадження нових типів локомотивів і моторвагонного рухомого складу. При проектуванні та виготовленні сучасного швидкісного тягового рухомого складу ставляться задачі отримання високих ходових якостей і забезпечення безпеки руху. Для забезпечення надійної роботи рухомого складу в експлуатації особливе значення має контроль якості його елементів при виготовленні. Однією з найважливіших операцій є неруйнівний контроль суцільності елементів екіпажної частини.

Актуальність теми. Вживання катаних колісних центрів замість литих дозволяє понизити невіднесену масу колісної пари, зменшити динамічні зусилля взаємодії між колесом та рейкою, скоротити витрату металу при виготовленні коліс тягового рухомого складу.

Основною причиною можливого руйнування катаних колісних центрів в експлуатації, виходячи з теорії механіки руйнування, є наявність в них дефектів типу порушення суцільності, які з'являються в процесі їх виготовлення. Якість і надійність колісних центрів рухомого складу забезпечується контрольними операціями в технологічному процесі їх виготовлення. Однією з найважливіших операцій по забезпеченню якості, безвідмовної роботи в експлуатації є ультразвуковий контроль колісних центрів на відсутність внутрішніх недопустимих несцільностей.

Існуюча технологія ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу недосконала внаслідок низької вірогідності результатів контролю.

У зв'язку з цим удосконалення ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць є актуальною науково-прикладною задачею, для вирішення якої необхідне проведення експериментальних і теоретичних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно з державною програмою «Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства», введеною в дію Постановою Кабінету Міністрів України №769 від 2 червня 1998 р. Результати дисертаційної роботи використовуються при виконанні держбюджетної науково-дослідницької роботи в СНУ імені Володимира Даля на тему ДН 29-06 «Розробка теорії

фізико-хімічних процесів тертя при силовому контакті в процесах кочення й ковзання» (ДР0106U000289).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць.

Для досягнення поставленої мети передбачено рішення наступних задач:

- визначення можливості використання ультразвукового імпульсного луна-методу для неруйнівного контролю колісних центрів рухомого складу залізниць;
- проведення теоретичних досліджень закономірностей поширення ультразвукової хвилі в елементах колісного центру;
- проведення експериментальних досліджень робочого процесу ультразвукового контролю колісних центрів;
- визначення зв'язку між коефіцієнтами загасання ультразвукової хвилі в ободі колісного центру в осьовому та радіальному напрямках;
- отримання аналітичної залежності амплітудної характеристики ультразвукового луна-сигналу від площі та глибини залягання несучільності;
- оцінка вірогідності запропонованого методу ультразвукового контролю колісних центрів;
- визначення економічного ефекту впровадження запропонованого методу.

Об'єкт дослідження – робочий процес ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць.

Предмет дослідження – закономірності поширення ультразвукової хвилі та ідентифікації несучільностей в елементах колісного центру рухомого складу залізниць.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач були використані наступні методи: дослідження внутрішніх несучільностей металу катаних колісних центрів (розділ 1) проводилося з використанням методу макроструктурного аналізу; експериментальні дослідження (розділ 3) за визначенням параметрів луна-методу, механізму поширення і відбиття поздовжньої ультразвукової хвилі в колісних центрах проводилися з використанням ультразвукового імпульсного луна-методу, обробка результатів вимірювань проводилася з використанням математичної статистики і чисельного аналізу; дослідження мікроструктури сталі по перетину обода і маточини катаного колісного центру (розділ 3) проводилися з використанням методу мікроструктурного аналізу; теоретичні дослідження

(розділ 2, 4) проводилися з використанням положень теорії акустичних коливань та хвиль, методів математичного аналізу.

Методологічною основою дослідження, яка визначає структуру і організацію дисертаційної роботи, є концепція системного підходу до рішення актуальної науково-прикладної задачі удосконалення ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць.

Наукова новизна отриманих результатів. Розроблені наукові основи удосконалення ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць:

- вперше виявлені особливості дисипації енергії ультразвукової хвилі при її поширенні в елементах колісного центру, обумовлені неоднорідністю структури матеріалу, облік яких дозволяє підвищити вірогідність результатів ультразвукового контролю;

- вперше показаний зв'язок між коефіцієнтами загасання ультразвукової хвилі в ободі колісного центру в осьовому та радіальному напрямках, на підставі якого доведена можливість використання амплітудної характеристики донного луна-сигналу в осьовому напрямку для визначення дисипації енергії ультразвукової хвилі в радіальному напрямку, шляхом корекції функціональної залежності;

- вперше отримана аналітична залежність амплітудної характеристики ультразвукового луна-сигналу від площі і глибини залягання несущальності, що враховує дисипацію енергії ультразвукової хвилі і зміну коефіцієнта загасання по перетину елементів колісного центру, яка дозволяє детермінувати порогове значення несущальності, що класифікується як дефект.

Практичне значення отриманих результатів. Дослідження закономірностей поширення ультразвукової хвилі та ідентифікації несущальностей дозволили розробити метод ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць, що має більшу вірогідність результатів контролю, ніж існуючі раніше.

Аналітичні залежності амплітудної характеристики ультразвукового луна-сигналу від площі і глибини розташування несущальності дозволили розробити алгоритм обробки результатів ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць.

Програмний продукт „Комплекс-ультра” дозволяє автоматизувати детерміацію несущальності, що класифікується як дефект при ультразвуковому контролі колісних центрів рухомого складу залізниць.

Метод ультразвукового контролю та програмний продукт „Комплекс-ультра” впроваджені у ВАТ „ХК „Луганськтепловоз” в технологічний процес

ультразвукового контролю катаних колісних центрів тепловозів, дизель- та електропоїздів. Розроблену методику ультразвукового контролю колісних центрів допускається застосовувати при проведенні стендових та колійних випробувань тягового рухомого складу.

Методика проведення експерименту та експериментальні установки можуть бути використані для дослідження інших елементів ходової екіпажної частини рухомого складу залізниць.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес підготовки бакалаврів та спеціалістів за спеціальністю „Рухомий склад залізниць та спеціальна техніка залізничного транспорту” у навчальну дисципліну „Діагностика та технічне обслуговування рухомого складу”.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. Деякі експериментальні та теоретичні дослідження проведені разом з співавторами, прізвища яких приведені в списку публікацій: в праці [1, 2, 5] – розробка методики та проведення експерименту та обробки його результатів, в праці [6] – розрахунки відносних коефіцієнтів загасання поздовжньої ультразвукової хвилі.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи докладалися і обговорювалися на: XIV, XV, XVI міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми розвитку рейкового транспорту» (Ялта, Алушта 2004, 2005, 2006 рр.); 8-й міжнародній конференції «Неруйнівний контроль – 2005» (Київ, 2005 р.); 67, 68-й міжнародних науково-технічних конференціях кафедр академії та фахівців залізничного транспорту і підприємств, УкрДАЗТ (Харків, 2005, 2006 рр.).

Повністю дисертаційна робота докладалася на розширеному засіданні кафедри «Залізничний транспорт» СНУ імені Володимира Даля (Луганськ, 2006 р.); також на засіданні кафедри «Експлуатація і ремонт рухомого складу» УкрДАЗТ з участю членів спеціалізованої вченої ради (Харків, 2006 р.).

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані в восьми статтях у фахових виданнях, які входять до переліку ВАК України.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 115 найменувань на 11 сторінках і 3 додатків на 16 сторінках. Повний обсяг роботи складає 198 сторінок, в тому числі 122 сторінки основного тексту, 49 повних сторінок з рисунками та таблицями.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані основні напрямки, мета й завдання досліджень. Показано наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, представлені відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертаційної роботи.

Перший розділ присвячений огляду літератури за темою дисертації, що стосується розгляду проблем забезпечення якості та надійності ходової екіпажної частини рухомого складу залізниць та аналізу існуючих методів.

Розглянуті внутрішні несучільності металу, які виникають в катаних колісних центрах через порушення технології виготовлення заготовки. Найбільш поширеною несучільністю є ліквация. Однією з найбільш небезпечних несучільностей, які можуть привести до виникнення тріщин, є флокен. Флокени мають розмір від 1 до 30 мм та більше.

Показано що для проведення 100% контролю колісних центрів на відсутність внутрішніх неприпустимих несучільностей необхідне застосування неруйнівних методів контролю.

Проведено аналіз методів неруйнівного контролю суцільності матеріалу. Розглянуто ультразвукові, радіаційні методи й метод вихрових струмів. Показано та обґрунтовано, що найбільш прийнятним для контролю колісних центрів рухомого складу залізниць на відсутність внутрішніх неприпустимих несучільностей є ультразвуковий імпульсний луна-метод.

Виходячи зі зробленого аналізу була сформована мета та задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений удосконаленню методу ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць.

Розглянуті питання використання ультразвукового імпульсного луна-методу для неруйнівного контролю катаних колісних центрів рухомого складу залізниць.

Розглянуті основні методичні операції технологічного процесу ультразвукового контролю колісних центрів, зокрема:

- оцінка контролепридатності виробу;
- підготовка виробу до проведення ультразвукового контролю;
- настройка ультразвукового дефектоскопу;
- пошук і виявлення несучільностей;
- визначення координат несучільностей;
- детермінація несучільностей, що класифікуються як дефект і оцінка якості виробу.

Проведений аналіз вживання ультразвукового імпульсного луна-методу неруйнівного контролю колісних центрів рухомого складу залізниць показав недостатню вірогідність результатів контролю, внаслідок різниці в

дисипації енергії ультразвукової хвилі в контрольованому колісному центрі та в стандартному зразку підприємства з еталонними відбивачами, по яким визначається порогове значення несучільності, що класифікується як дефект.

Для обліку дисипації виникає необхідність виготовлення великої кількості громіздких, дорогих і незручних у практичній роботі стандартних зразків підприємства. Щоб позбутися від необхідності виготовлення великої кількості зразків, слід перейти до безеталонних методів детерміації несучільностей, що класифікуються як дефект, заснованих на вивченні закону, що описує зв'язок між амплітудною характеристикою луна-сигналу від відбивача і його розмірами. Вплив багатьох чинників, таких як характеристики поля перетворювача, форма відбивача, його орієнтування і глибина залягання, загасання ультразвукової хвилі в матеріалі виробу, нелінійність прийомопідсилюваного тракту дефектоскопа та інше, роблять цей зв'язок достатньо складним.

Аналіз цього зв'язку, проведений різними дослідниками, привів, взагалі, до аналогічних між собою формул.

Для детерміації порогового значення несучільності, що класифікуються як дефект у катаних колісних центрах еталонним відбивачем є отвір з плоским дном орієнтований перпендикулярно осі циліндру.

Амплітуда луна-сигналу від еталонного відбивача в ближній зоні перетворювача описується залежністю

$$\left| \frac{A}{A_0} \right| = (1 \dots 4) \frac{S_b}{S_a}, \quad (1)$$

де A – амплітуда прийнятого сигналу;

A_0 – амплітуда випромінюваного сигналу;

S_a – площа перетворювача;

S_b – площа відбивача.

Амплітуда луна-сигналу від еталонного відбивача в дальній зоні перетворювача описується залежністю

$$\left| \frac{A}{A_0} \right| = \frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2}, \quad (2)$$

де λ – довжина поздовжньої ультразвукової хвилі, мм;

x – глибина розташування відбивача, мм.

Для обліку загасання вираження множиться на $e^{-2\delta x}$,

де δ – коефіцієнт загасання.

Амплітуда луна-сигналу в дБ

$$A_{\partial B} \left(A / A_0, \partial B \right) = 20 \lg \left| \frac{A}{A_0} \right|. \quad (3)$$

Як коефіцієнт загасання, береться відносний коефіцієнт загасання, що описує втрати енергії ультразвукової хвилі за рахунок загасання (розсіювання й поглинання) в об'єкті контролю щодо втрат енергії ультразвукової хвилі в стандартному зразку СО-2 (59 мм, 20 мкс).

Відносний коефіцієнт загасання визначається з вираження

$$\delta_{\text{отн}} = - \frac{\ln \left(\frac{A_{\partial B(\partial n)}}{10 \cdot 20 \cdot 2\lambda x_{\partial}} \right)}{2x_{\partial}}, \quad (4)$$

де $A_{\partial B(\partial n)}$ – донний луна-сигнал, дБ;

x_{∂} – відстань до донної поверхні, мм.

Також було введено поняття диференціального коефіцієнта ослаблення поздовжньої ультразвукової хвилі

$$N_{\partial B} = \frac{A_{\partial B(\partial n)}}{x_{\partial}}. \quad (5)$$

Диференціальний коефіцієнт ослаблення ультразвукової хвилі відображає ослаблення ультразвукової хвилі за рахунок загасання й розбіжності в дБ на мм пройденій ультразвуковою хвилею відстані.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням робочого процесу ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць.

Експериментальні дослідження проводилися у три етапи.

Перший етап експерименту присвячений визначенню параметрів луна-методу при контролі катаних колісних центрів. Перший етап експериментальних досліджень складався з двох підетапів: на підетапі 1.1. проводилася експериментальна перевірка відповідності катаних колісних центрів другому критерію контролепридатності; на підетапі 1.2. проводилися дослідження характеристик різних контактних рідин для ультразвукового контролю колісних центрів луна-методом.

Другий етап експерименту присвячений дослідженню механізму поширення та відбиття поздовжньої ультразвукової хвилі в катаних колісних центрах. Другий етап експериментальних досліджень складався з двох підетапів: на підетапі 2.1. проводилися дослідження впливу загасання поздовжньої ультразвукової хвилі на амплітуду луна-сигналів від плоскодонних циліндрових відбивачів розташованих на різній глибині в ободі й маточині зразків з катаних колісних центрів; на підетапі 2.2. проводилися дослідження характеристик проходження та відбиття поздовжньої ультразвукової хвилі в осьовому та радіальному напрямках у зразків з обода катаного колісного центру.

Третій етап експерименту присвячений дослідженню мікроструктури сталі катаних колісних центрів.

Із проведених експериментальних досліджень (підетап 1.1) виходить, що катані колісні центри відповідають другому критерію контролепридатності, тобто, підлягаюча фіксації мінімальна несучільність незалежно від її координат в виробі виявляється на фоні шумів з запасом чутливості не менше 6 дБ і дозволом в часі не менше 1 мкс.

З проведених експериментальних досліджень (підетап 1.2) виходить, що як найприйнятніша контактна рідина при ультразвуковому контролі в радіальному напрямку обода та зони переходу від обода до диска катаних колісних центрів слід застосовувати мінеральні масла з кінематичною в'язкістю 65 - 80 сСт. Цю ж контактну рідину рекомендується застосовувати і при контролі в осьовому напрямку обода й маточини.

З експериментальної залежності, отриманої на підетапі 2.1 експериментальних досліджень, витікає, що амплітуда луна-сигналу від рівнозначних відбивачів в ободі й маточині колісного центру, убуває із збільшенням нагріву зразків при нормалізації.

З проведених експериментальних досліджень (підетап 2.2) виходить, що амплітуда донного луна-сигналу в осьовому напрямку зменшується із збільшенням температура нагріву при нормалізації. В радіальному напрямку максимальна амплітуда донного луна-сигналу спостерігається по краях зразка (координати 10 мм і 100 мм), мінімальна амплітуда донного луна-

сигналу спостерігається в центрі зразків (координата 55 мм), амплітуда донного луна-сигналу зменшується від краю обода до центру. Із збільшенням температури нагріву при нормалізації зменшується амплітуда донного луна-сигналу по всім координатам.

Мікроструктурний аналіз (третій етап експерименту) показав зміну величини зерна по перетину обода й маточини.

Четвертий розділ присвячений практичній реалізації методу ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць.

Досліджувалися питання практичної реалізації ультразвукового контролю обода й маточини колісного центру в осьовому напрямку.

Скориставшись формулою (4) і результатами експериментальних досліджень, був розрахований відносний коефіцієнт загасання поздовжньої ультразвукової хвилі в ободі й маточині зразків з катаного колісного центру в осьовому напрямку. Скориставшись формулами (2, 3) і результатами розрахунку відносного коефіцієнта загасання, були розраховані амплітуди луна-сигналів від плоскодонних циліндричних відбивачів діаметром 3 мм, розташованих на різній глибині в ободі й маточині зразків з катаного колісного центру в контрольованому діапазоні з урахуванням дисипації енергії поздовжньої ультразвукової хвилі.

Далі було зроблене порівняння розрахункових даних з експериментальними, котре показало їх розбіжність.

Експериментальні дослідження мікроструктури обода й маточини колісного центру (третій етап експерименту) показали зміну величини зерна по перетину обода та маточини. Розмір зерна від краю обода до центру збільшується, це говорить про зміну коефіцієнта загасання поздовжньої ультразвукової хвилі при її поширенні. Розмір зерна від краю маточини до центру збільшується, це говорить про зміну коефіцієнта загасання поздовжньої ультразвукової хвилі при її поширенні. Різниця величини зерна від краю маточини до центру менше ніж від краю обода до центру, це пов'язано з меншим ступенем пластичної деформації маточини в порівнянні з ободом, внаслідок чого коефіцієнт загасання менше змінюється по перетину маточини. Розбіжність розрахункових і експериментальних даних викликана ефектом зміни коефіцієнта загасання поздовжньої ультразвукової хвилі по перетину обода й маточини катаного колісного центру.

На рис. 1 і 2 у вигляді графіка представлені залежності усередненого й округленого значення абсолютної похибки Δ визначення амплітуди луна-сигналу від відбивача без обліку зміни коефіцієнта загасання по перетину елементів колісного центру від глибини розташування відбивача в ободі й маточини.

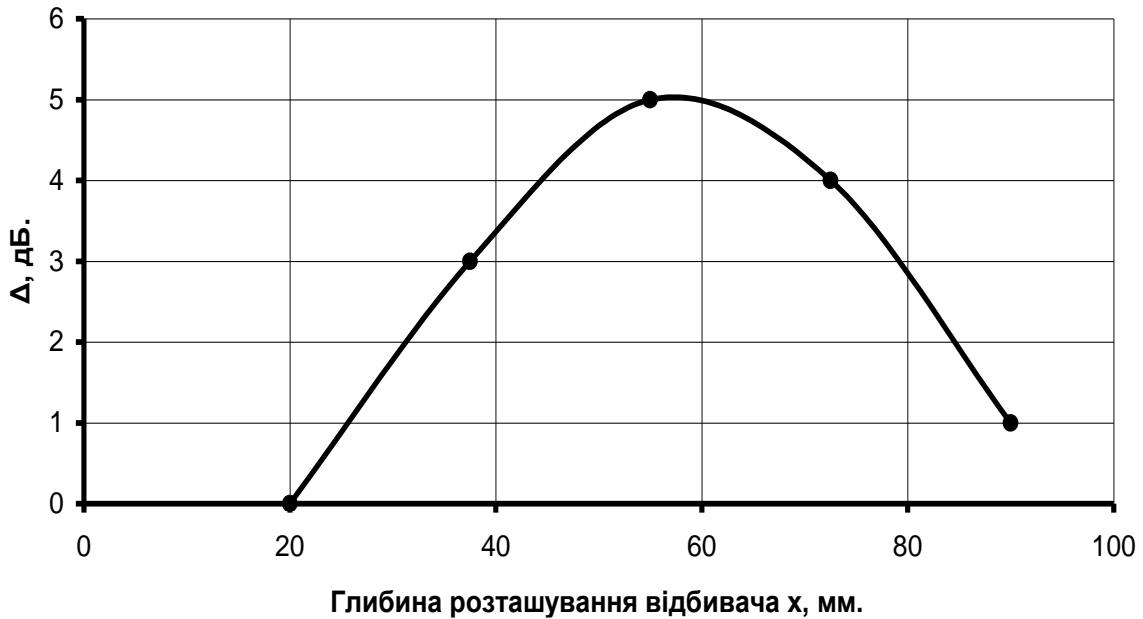


Рис. 1. Залежність похибки Δ від глибини розташування відбивача в ободі колісного центру

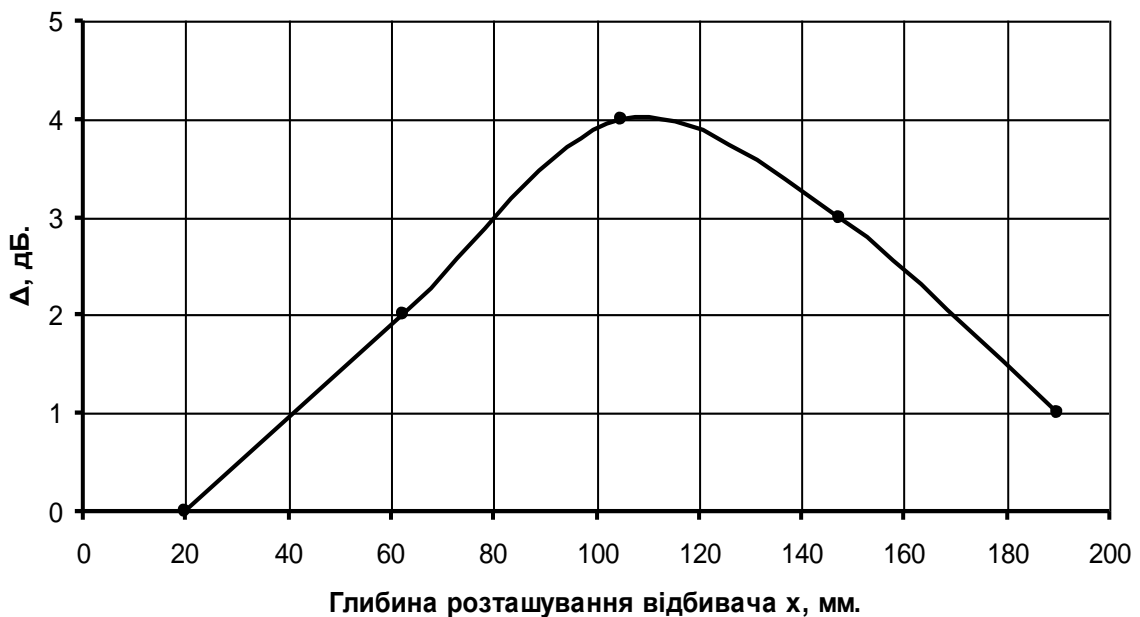


Рис. 2. Залежність похибки Δ від глибини розташування відбивача в маточині колісного центру

Вперше була отримана аналітична залежність амплітудної характеристики луна-сигналу від площі та глибини залягання несучільності в ободі й маточині колісного центру в осьовому напрямку, що враховує дисипацію енергії ультразвукової хвилі і зміну коефіцієнта загасання по перетину обода й маточини, що дозволяє детермінувати порогове значення несучільності, що класифікується як дефект (б).

$$A/A_0(\text{дБ}) = \begin{cases} x = x_1 : A/A_0(\text{дБ}) = 20\lg\left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{-2\delta \cdot x}\right) + k_1 \\ x = x_2 : A/A_0(\text{дБ}) = 20\lg\left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{-2\delta \cdot x}\right) + k_2 \\ x = x_3 : A/A_0(\text{дБ}) = 20\lg\left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{-2\delta \cdot x}\right) + k_3, \quad (6) \\ x = x_4 : A/A_0(\text{дБ}) = 20\lg\left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{-2\delta \cdot x}\right) + k_4 \\ x = x_5 : A/A_0(\text{дБ}) = 20\lg\left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{-2\delta \cdot x}\right) + k_5 \end{cases}$$

де $A/A_0(\text{дБ})$ – амплітуда луна-сигналу від відбивача, дБ;

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – глибини розташування відбивачів по яким виконується коректування раніше відомої залежності, мм (табл. 1, 2);

k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 – коефіцієнти коректування залежності (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Глибина розташування відбивачів в ободі катаного колісного центру, по яким відбувається коректування раніше відомої залежності й коефіцієнти коректування

Глибина розташування відбивача	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	20	37,5	55	72,5	90
Коефіцієнт коректування	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
	0	-3	-5	-4	-1

Таблиця 2

Глибина розташування відбивачів в маточині катаного колісного центру, по яким відбувається коректування раніше відомої залежності й коефіцієнти коректування

Глибина розташування відбивача	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	20	62,5	105	147,5	190
Коефіцієнт коректування	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
	0	-2	-4	-3	-1

Досліджувалися питання практичної реалізації ультразвукового контролю ободу та зони переходу від ободу до диска колісного центру в радіальному напрямку.

Для розрахунку амплітуди луна-сигналів від плоскодонних циліндричних відбивачів необхідно знати величину коефіцієнта загасання ультразвукової хвилі в виробі. У катаних колісних центрах в осьовому напрямку для розрахунку коефіцієнта загасання використовується донний луна-сигнал, розрахунок виробляється по формулі (4). У радіальному напрямку, у відмінності від осьового, відсутня донна поверхня. Крім ослаблення луна-сигналу від несучільності в радіальному напрямку внаслідок загасання відбувається ослаблення за рахунок введення ультразвукової хвилі через опуклу циліндричну поверхню. Товщина контактного шару між ультразвуковим перетворювачем і криволінійною поверхнею буде менше для центральної й більше для крайових крапок перетворювача, крім цього опукла циліндрична поверхня буде відігравати роль лінзи з розбіжним фокусом для ультразвукової хвилі. Радіус катаних колісних центрів після попередньої механічної обробки становить 455 мм. Зневажаючи кривизною поверхні введення ультразвукової хвилі й користуватися формулами акустичного тракту для плоскої поверхні введення можна при радіусах кривизни більше 500 мм.

Скориставшись даними, отриманими в результаті експериментальних досліджень механізму поширення та відбиття поздовжньої ультразвукової хвилі в зразках з катаного колісного центру в радіальному напрямку, по формулі (5) був зроблений розрахунок величини диференціального коефіцієнта ослаблення ультразвукової хвилі $N_{дб}$ для зразків з різним загасанням поздовжньої ультразвукової хвилі в осьовому й радіальному напрямках. Далі був зроблений розрахунок коефіцієнта R (рис. 3), що характеризує відношення диференціального коефіцієнта ослаблення в радіальному напрямку до диференціального коефіцієнта ослаблення в осьовому напрямку.

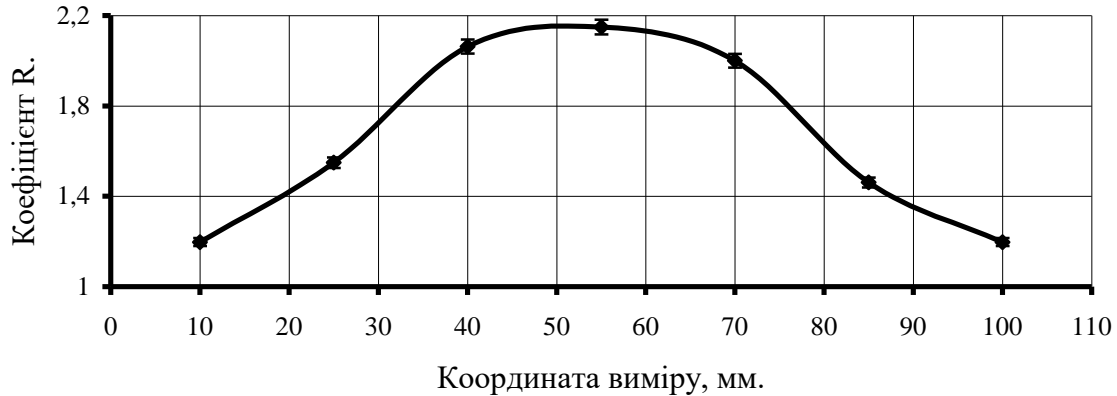


Рис. 3. Залежність коефіцієнта R від координати виміру.

З виражень (4, 5) одержуємо функцію, що описує зв'язок між диференціальним і відносним коефіцієнтом ослаблення поздовжньої ультразвукової хвилі (7).

$$\delta = - \frac{\ln \left(\frac{N_{\partial B} \cdot x}{10 \frac{20}{2\lambda x} S_a} \right)}{2x}. \quad (7)$$

Скориставшись формулами (2 – 5, 7) та результатами експериментальних і теоретичних досліджень вперше була отримана аналітична залежність амплітудної характеристики луна-сигналу від площі та глибини залягання несутцільності в ободі та зоні переходу від обода до диска в радіальному напрямку, що враховує дисипацію енергії ультразвукової хвилі в радіальному напрямку по амплітудній характеристиці донного луна-сигналу в осьовому напрямку, дозволяючи детермінувати порогове значення несутцільності, що класифікується як дефект (8).

$$A/A_0 (\partial B) = 20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} \cdot e^{x\delta_r} \right), \quad (8)$$

де

$$\delta_r = \left(\ln \left(\left(10^{\left(\frac{ZRA_{\partial H-oc}}{(20x_\partial)} \right) / (2\lambda Z)} / S_a \right) \right) / Z; \right)$$

Z, R – коефіцієнти (табл. 3, 4);

$A_{дн_ос}$ – донний луна-сигнал в осьовому напрямку, дБ;

x_0 – відстань до донної поверхні в осьовому напрямку, мм.

Таблиця 3

Коефіцієнт Z для різних координат розташування перетворювача

Коорд.	10	25	40	55	70	85	100
Z	40	40	55	80	55	40	40

Таблиця 4

Коефіцієнт R для різних координат розташування перетворювача

Коорд.	10	25	40	55	70	85	100
R	1,197296	1,548827	2,062755	2,149413	2	1,461288	1,197296

Для забезпечення автоматизації детермінації несучільностей, що класифікуються як дефект при ультразвуковому контролі колісних центрів рухомого складу залізниць, на базі програмного забезпечення Microsoft Excel та по отриманим аналітичним залежностям, був розроблений програмний продукт „Комплекс-ультра”.

Також була проведена оцінка вірогідності пропонованого методу ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць, яка показала більшу його вірогідність ніж методу існуючого раніше.

Оцінка економічної доцільності запропонованого методу ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць показала, що його впровадження дозволяє отримати загальний економічний ефект 136578.40 грн.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача удосконалення ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць.

За наслідками проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Проведений аналіз використання ультразвукового імпульсного луна-методу неруйнівного контролю колісних центрів рухомого складу залізниць показав недостатню вірогідність результатів контролю,

внаслідок різниці в дисипації енергії ультразвукової хвилі в контрольованому колісному центрі та в стандартному зразку підприємства з еталонними відбивачами, по яким визначається порогове значення несущільності, що класифікується як дефект.

2. Теоретичні дослідження закономірностей поширення ультразвукової хвилі в елементах колісного центру, показали доцільність вживання функціональної залежності амплітудної характеристики луна-сигналу від розмірів і глибини розташування відбивача для детерміації порогового значення несущільності, що класифікується як дефект.
3. В результаті експериментальних досліджень робочого процесу ультразвукового контролю колісних центрів виявлені особливості дисипації енергії ультразвукової хвилі при її поширенні в елементах колісного центру, обумовлені неоднорідністю структури матеріалу, облік яких дозволяє підвищити вірогідність результатів ультразвукового контролю, зокрема зменшити абсолютну похибку детерміації амплітудної характеристики порогового значення луна-сигналу від несущільності в ободі від 0 до 5 дБ, в маточині від 0 до 4 дБ.
4. Дослідження механізму поширення та відбиття ультразвукової хвилі в елементах колісного центру показали зв'язок між коефіцієнтами загасання ультразвукової хвилі в ободі колісного центру в осьовому та радіальному напрямках, на підставі якої доведена можливість використання амплітудної характеристики донного луна-сигналу в осьовому напрямку для визначення дисипації енергії ультразвукової хвилі в радіальному напрямку, шляхом корекції функціональної залежності.
5. Отримані аналітичні залежності амплітудної характеристики ультразвукового луна-сигналу від площі і глибини залягання несущільності, що враховує дисипацію енергії ультразвукової хвилі і зміну коефіцієнта загасання по перетину елементів колісного центру, які дозволяють детермінувати порогове значення несущільності, що класифікується як дефект.
6. Оцінка вірогідності запропонованого методу ультразвукового контролю колісних центрів показала більш високу його ефективність, ніж методу існуючого раніше, зокрема метод дозволяє виключити погрішність детерміації порогового значення несущільності, що класифікується як дефект, яка може досягати в маточині 30% від номінального порогового значення, в ободі в осьовому і радіальному напрямках 25% від номінального порогового значення.

7. Оцінка економічної доцільності запропонованого методу ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць показала, що його впровадження дозволяє отримати загальний економічний ефект 136578.40 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Особенности ультразвукового контроля колесных центров локомотивов. / Г.Г Басов, В.Л. Марков, А.Н. Киреев, С.А. Волкова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. – № 8(78). – ч. 2 – С. 8-11.
2. Особенности ультразвукового контроля в радиальном направлении осей колесных пар подвижного состава железных дорог. / Г.Г Басов, В.Л. Марков, А.Н. Киреев, С.А. Волкова // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – К.: ИЭС им. Е.О.Патона, 2004. – № 3. – С. 49-50.
3. Киреев А.Н. Улучшение показателей качества и надежности катаных колесных центров тепловозов путем повышения достоверности ультразвукового контроля. // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 110-117.
4. Киреев А.Н. Применение ультразвукового метода для определения оптимальной температуры нагрева под закалку при термическом улучшении стали катаных колесных центров локомотивов. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2005. – № 8(90). – ч. 2. – С. 162-166.
5. Басов Г.Г., Марков В.Л., Киреев А.Н. Выбор оптимальной контактной жидкости для ультразвукового контроля катаных колесных центров на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей. // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 72. – С. 164-169.
6. Басов Г.Г., Марков В.Л., Киреев А.Н. Применение АРД-диаграмм при ультразвуковом контроле в радиальном направлении катаных колесных центров локомотивов. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – К.: ИЭС им. Е.О.Патона, 2006. – № 2. – С. 53-55.
7. Киреев А.Н. Особенности ультразвукового контроля катаных колесных центров локомотивов в радиальном направлении. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира

Даля. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. – № 8(102). – ч. 2. – С. 153-157.

8. Киреев А.Н. Повышение достоверности результатов ультразвукового контроля катаных колесных центров тягового подвижного состава. // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 76. – С. 92-99.

АНОТАЦІЯ

Кіреєв А.М. Удосконалення виготовлення та контролю колісних центрів рухомого складу залізниць – 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; Харків, 2007 р.

Дисертація присвячена рішенню актуальної науково-прикладної задачі вдосконалення ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць, рішення якої дозволяє забезпечити якість колісного центру та безпеку руху на залізницях.

Об'єктом дослідження в дисертаційній роботі є робочий процес ультразвукового контролю колісних центрів рухомого складу залізниць. Предметом дослідження в дисертаційній роботі є закономірності поширення ультразвукової хвилі та ідентифікації несучільностей в елементах колісного центру рухомого складу залізниць.

Метод ультразвукового контролю та програмний продукт „Комплексу-ультра” впроваджені у ВАТ „ХК „Луганськтепловоз” в технологічний процес ультразвукового контролю катаних колісних центрів тепловозів, дизель- та електропоїздів.

Ключові слова: колісний центр, тяговий рухомий склад, ультразвуковий контроль, ультразвукова хвиля, ультразвуковий імпульсний луна-метод.

АННОТАЦИЯ

Киреев А.Н. Усовершенствование изготовления и контроля колесных центров подвижного состава железных дорог.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов; – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2007 г.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи совершенствования ультразвукового контроля колесных центров

подвижного состава железных дорог, решение которой позволяет обеспечить качество колесного центра и безопасность движения на железных дорогах.

Объектом исследования в диссертационной работе является рабочий процесс ультразвукового контроля колесных центров подвижного состава железных дорог. Предметом исследования в диссертационной работе являются закономерности распространения ультразвуковой волны и идентификации несплошностей в элементах колесного центра подвижного состава железных дорог.

Основной причиной возможного разрушения катаных колесных центров в эксплуатации, исходя из теории механики разрушения, является наличие в них дефектов типа нарушения сплошности, которые появляются в процессе их изготовления. Качество и надежность колесных центров подвижного состава обеспечивается контрольными операциями в технологическом процессе их изготовления. Одной из наиболее важных операций по обеспечению качества, безотказной работы в эксплуатации, является ультразвуковой контроль колесных центров на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей.

Существующая технология ультразвукового контроля колесных центров подвижного состава несовершенна, вследствие низкой достоверности результатов контроля. Для совершенствования ультразвукового контроля колесных центров подвижного состава железных дорог в диссертационной работе были проведены теоретические и экспериментальные исследования, в результате которых был разработан метод ультразвукового контроля, обладающий большей достоверностью чем методы существующие раньше и уменьшающий экономические затраты на проведение контроля.

В диссертационной работе разработаны научные основы совершенствования ультразвукового контроля колесных центров подвижного состава железных дорог.

Впервые выявлены особенности диссипации энергии ультразвуковой волны при ее распространении в элементах колесного центра, обусловленные неоднородностью структуры материала, учет которых позволяет повысить достоверность результатов ультразвукового контроля.

Впервые показана связь между коэффициентами затухания ультразвуковой волны в ободу колесного центра в осевом и радиальном направлениях, на основании которой доказана возможность использования амплитудной характеристики донного эхо-сигнала в осевом направлении для определения диссипации энергии ультразвуковой волны в радиальном направлении, путем коррекции функциональной зависимости.

Впервые получены аналитические зависимости амплитудной характеристики ультразвукового эхо-сигнала от площади и глубины залегания несплошности, учитывающие диссипацию энергии ультразвуковой волны и изменение коэффициента затухания по сечению элементов колесного центра, позволяющие детерминировать пороговое значение несплошности, классифицируемой как дефект.

Для обеспечения автоматизации детерминации несплошностей, классифицируемых как дефект при ультразвуковом контроле колесных центров подвижного состава железных дорог, на базе программного обеспечения Microsoft Excel и по полученным аналитическим зависимостям, было разработано программное средство «Комплекс-ультра».

Метод ультразвукового контроля и программный продукт «Комплекс-ультра» внедрены в ОАО «ХК «Лугансктепловоз» в технологический процесс ультразвукового контроля катаных колесных центров тепловозов, дизель- и электропоездов. Общий экономический эффект внедрения разработанного метода ультразвукового контроля колесных центров подвижного состава железных дорог составил 136578.40 грн.

Ключевые слова: колесный центр, тяговый подвижной состав, ультразвуковой контроль, ультразвуковая волна, ультразвуковой импульсный эхо-метод.

THE SUMMARY

Kireev A.N. Improvement of making and control of the wheeled centers of rolling stock of railways – manuscript.

The dissertation on a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialization 05.22.07 – rolling-stock of railway and traction of trans; – the Ukrainian State Academy of Railway Transport; Kharkov, 2007.

Dissertation is devoted to the decision of the actual scientific-applied task of perfection of ultrasonic control of the wheeled centers of mobile composition of railways, the decision of which allows to provide quality of the wheeled center and safety of motion on the ferrous road.

Object of research in dissertational work is working process of the ultrasonic control of the wheel centers of a rolling stock of railways. An object of research in dissertational work are laws of distribution of a ultrasonic wave and identification defects in elements of the wheel center of a rolling stock of railways.

Key words: wheeled center, the traction rolling stock, the ultrasonic control, ultrasonic wave, ultrasonic pulse echo – method.

Кіреєв Андрій Миколайович

**Удосконалення виготовлення та контролю колісних центрів рухомого складу
залізниць**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск

к.т.н., доцент А.Ф. Агулов

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку “___” _____ 2007 р.

Формат паперу 60x90/16. Папір офсетний.

Авторських арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1.

Замовлення №____. Тираж 100 примірників.

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК №112 від 06.07.2000 р.

Друкарня УкрДАЗТу: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.