

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ПОЗНЯКОВА Маргарита Євгенівна



УДК 620.179.16

**УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД ТА ЗАСІБ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ
ВНУТРІШНІХ ДЕФЕКТІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ ОСЕЙ**

Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Сучков Григорій Михайлович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», завідувач кафедри
комп'ютерних та радіоелектронних систем
контролю та діагностики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Стороженко Володимир Олександрович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри фізики;

кандидат технічних наук
Антонець Тарас Юрійович,
ПАО «ЗАВОД ЮЖКАБЕЛЬ, заступник начальника
управління головного технолога

Захист відбудеться «29» квітня 2021 р. о 12:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий «26» березня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради



Іван КОСТЮКОВ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна є однією з провідних країн світу з високою розгалуженістю залізничних шляхів. Серед обладнання, що використовується в господарстві Укрзалізниці, важливим елементом є залізничні осі. Значна кількість аварій на залізниці обумовлена пошкодженнями та зламами осей вагонів та локомотивів. Тому питання своєчасного виявлення дефектів залізничних осей в умовах виробництва та експлуатації є важливою науково-практичною задачею. Зазначена проблема є особливо важливою через збільшення навантаження вагонів і швидкості їх руху. Тому вимоги до якості залізничних осей постійно підвищуються.

Для проведення неруйнівного контролю залізничних осей використовують різні методи. Але для виявлення внутрішніх дефектів використовують виключно ультразвуковий метод діагностики, що пов'язано із значним розміром осі.

Традиційний контактний метод ультразвукового контролю має значні недоліки. При скануванні поверхні залізничної осі через складну форму поверхні порушується стабільність акустичного контакту. В результаті чутливість виявлення внутрішніх дефектів знижується. Окрім того, тертя приводить до зношення п'єзоелектричного перетворювача, що також знижує чутливість дефектоскопії. Для вирішення проблем контактного контролю використовують імерсійний ультразвуковий метод. Згідно з цим методом ось або її заготовку занурюють в рідину, як правило, у воду, а сканування об'єму виробу виконують п'єзоперетворювачем (ПЕП), розташованим в рідині на певній відстані від його поверхні. Проте, чутливість імерсійної дефектоскопії приблизно в 10 разів нижче ніж контактної.

Багато дослідників з різних країн виконують теоретичні, модельні та практичні дослідження, спрямовані на розробку методів та засобів для підвищення чутливості ультразвукового контролю. У їх числі Білокур І.П., Алешин Н.П., Данилов В.Н., Карпаш О.М., Карпаш М.О., Петрищев О.М., Сучков Г.М., Троїцький В.А., Лютак І.З., Середюк О.Є., Тимчик Г.С., Ермолов И. Н., Крауткреммер Й., Ключев В.В., Тараненко Ю.К., Протасов А.Г., Луценко Г.Г., Ланге Ю.В., Сухоруков В.В., Шрайбер Д.С., Гусев Е.А., Веревкин В.М., Круглов Б.А., Scalia A., Sumbatyan M.A. і багато інших. Однак рівень складності і різноманіття задач, що вирішуються при дослідженнях і створенні нових методів і засобів дефектоскопії залізничних осей, виявився настільки високим, а перспективи, що відкриваються при цьому, настільки значними, що результати, досягнуті в минулому в цій області, не можуть бути достатніми.

Тому науково-практична задача з розробки нових методів і засобів чутливого ультразвукового імерсійного контролю залізничних осей є актуальною.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до наукових напрямків досліджень кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики (приладів і

методів неруйнівного контролю) Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» в рамках нормативів, зазначених у Законі України № 3715-VI від 05.12.2012 «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», зокрема за напрямом «Приладобудування, як основа високотехнологічного оновлення всіх галузей виробництва» при безпосередній участі здобувача, як виконавця окремих етапів в рамках наступних науково-дослідних робіт МОН України: держдоговірної теми «Дослідження можливості створення прототипів приладів неруйнівного контролю нового покоління з використанням енерго- та ресурсозберігаючих технологій» (ДР № 0111U002280); держдоговірної теми «Розробка методів та макетів приладів для неруйнівного контролю якості виробів із зменшеними втратами енергії і матеріалів» (ДР № 0113U000444).

Робота виконана за науково-технічним співробітництвом із закордонною організацією: «Безконтактний ультразвуковий неруйнівний контроль товщини тормозного диску», установа-партнер «Darcrist Grup SRL» (Республіка Молдова) (здобувач – виконавець окремих етапів).

Мета та задачі досліджень. Метою досліджень є розробка методу і засобів для виявлення внутрішніх дефектів залізничних осей ультразвуковим імерсійним методом з підвищеною чутливістю. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз джерел інформації, в яких наведено дані з розробки методів і засобів ультразвукового контролю залізничних осей;
- провести теоретичні дослідження особливостей відбиття ультразвукових імпульсів від плоскодонних моделей дефектів в виробках зі складною поверхнею в імерсійному варіанті контролю;
- розробити методику виготовлення моделей дефектів малих розмірів в зразках залізничних осей;
- розглянути способи збудження ультразвукових зондуючих імпульсів живлення ПЕП;
- розробити метод виявлення внутрішніх дефектів залізничних осей або заготовок з підвищеною чутливістю;
- вдосконалити засоби для підвищення чутливості імерсійного ультразвукового контролю осей та заготовок колоподібного перетину.

Об'єкт досліджень – процес взаємодії ультразвукових імпульсів з внутрішніми дефектами осей в умовах їх занурення в рідину.

Предмет досліджень – методи та засоби для дефектоскопії залізничних осей ультразвуковим імерсійним методом.

Методи досліджень. При виконанні дисертаційної роботи були використані модельні дослідження розповсюдження акустичних полів у метали; математичне вирішення диференціальних рівнянь процесів взаємодії ультразвукових імпульсів з моделями дефектів; методи побудови імпульсних електронних схем; технології побудови генераторів пакетних імпульсів для живлення п'єзоелектричних перетворювачів; основи побудови чутливих посилювачів прийнятих ультразвукових сигналів. Для підтвердження отриманих результатів виконані експериментальні дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше розроблено метод ультразвукового іммерсійного контролю, який включає розміщення контрольного зразка з моделлю дефекту заданого розміру в іммерсійній рідині, опромінення одним п'єзоперетворювачем дефекту в зразку ультразвуковим імпульсом, що складається з кількох періодів високої частоти, прийом другим п'єзоперетворювачем імпульсу, відбитого дефектом, корегування частоти і тривалості ультразвукового опромінюючого імпульсу до отримання максимальної амплітуди імпульсу, відбитого дефектом заданого розміру, і проведення дефектоскопії з встановленими параметрами опромінюючого імпульсу, що дає можливість підвищити чутливість виявлення внутрішніх дефектів в залізничних осях.

2. Удосконалено метод іммерсійного ультразвукового контролю шляхом використання в якості додаткової бракувальної ознаки величини амплітуди акустичних завад, прийнятих з об'єму осі, що контролюється, в порівнянні з такими завадами, отриманими з об'єму стандартного зразка підприємства, що дозволяє підвищити надійність контролю.

3. Вдосконалено модель акустичного іммерсійного блока приладу, суть якої полягає в використанні двох прямих п'єзоперетворювачів, розташованих на відстані один від одного, яка визначається індикатрисою розсіювання дефекту, розмір якого заданий нормативно технічною документацією, в результаті чого підвищується чутливість контролю.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено методику калібрування приладу для ультразвукової іммерсійної дефектоскопії залізничних осей.

Розроблено методику виготовлення моделей дефектів малого розміру в заготовках для виготовлення залізничних осей.

Розроблено зразки для калібрування пристрою ультразвукової іммерсійної дефектоскопії залізничних осей.

Розроблено генератор для збудження початкових пакетних електричних імпульсів з параметрами що регулюються.

Розроблено генератор для живлення випромінюючого п'єзоперетворювача пристрою для ультразвукової іммерсійної дефектоскопії залізничних осей.

Розроблено посилювач прийнятих ультразвукових імпульсів, узгоджений з приймаючим п'єзоперетворювачем.

Розроблено стенд для досліджень параметрів ультразвукового іммерсійного контролю.

Розробки захищені 2 патентами на корисну модель.

Результати досліджень, що наведені в дисертаційній роботі (додаток Б), використані на АТ «ФЕД» (м. Харків), акт впровадження від 22.10.2020; ТОВ «ПРАКТИКА-М12», (м. Харків), акт впровадження від 17.09.2020 та в навчальному процесі кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», акт впровадження від 05.10.2020 р.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційних досліджень отримані і сформульовані здобувачем особисто. В

роботах, що опубліковані здобувачем з співавторами, йому належить: проведення моделювання відбиття поздовжніх ультразвукових імпульсів від моделей плоскодонних відбивачів в зразку залізничної осі при імерсійному контролі; визначення характеристик пакетного збуджуючого імпульсу, пов'язаного з розміром регламентованого виявляемого дефекту; розроблення генератора зондуючих імпульсів та підсилювача прийнятих ультразвукових імпульсів; розроблення формувача початкових сигналів; виконання та аналіз результатів експериментальних досліджень; доказ підвищеної чутливості імерсійного контролю за розробленою технологією.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Матеріали дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наступних конференціях і форумах: «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (м. Івано-Франківськ, 2011 р.); «Современные тенденции развития приборостроения» (м. Луганськ, 2012 р.); «Неруйнівний контроль та технічна діагностика» (м. Київ, 2012 р.); «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (м. Харків, 2013 р.); Приладобудування: стан і перспективи» (м. Київ, 2013 р.); «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (м. Вінниця, 2013 р.); «Актуальные проблемы автоматизации и приборостроения Украины» (м. Харків, 2013 р.); «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2014 р., 2016р.); «Актуальні проблеми автоматизації та приладобудування», (м. Харків, 2016 р.).

Публікації. Результати досліджень і розробок опубліковано у 20 наукових працях, з них 7 статей у фахових виданнях України, 1 стаття в спеціалізованому виданні іншої країни, що індексується НМБ SCOPUS, 10 тез доповідей науково-технічних конференцій, а також 2 патенти України на корисну модель.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел інформації і додатків. Повний об'єм дисертації складає 142 сторінки, з них: 65 рисунків та 3 таблиці за текстом; список з 156 найменувань використаних джерел на 17 сторінках; 3 додатки на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень і необхідність розробки нових ультразвукових методів та засобів з підвищеною чутливістю для ультразвукового контролю залізничних осей. Визначена наукова новизна, практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, вказано відомості щодо апробації результатів дисертації, їх публікації та впровадження.

У першому розділі розглянуто дефекти, що виникають в залізничних осях, методи контролю та існуючі установки для контролю осей. Встановлено перспективність застосування ультразвукового імерсійного контролю, описано принцип його роботи, проведено аналіз застосування на практиці імерсійного методу неруйнівного контролю у порівнянні з відомими методами контролю.

Другий розділ присвячений модельним та теоретичним дослідженням, які спрямовані на підвищення чутливості дефектоскопії залізничної осі. Обґрунтовано принцип виявлення плоскодонних відбивачів пакетом імпульсів, що живлять ПЕП. Розглянуто моделі розрахунку, коли дефект знаходиться на одній осі із перетворювачем.

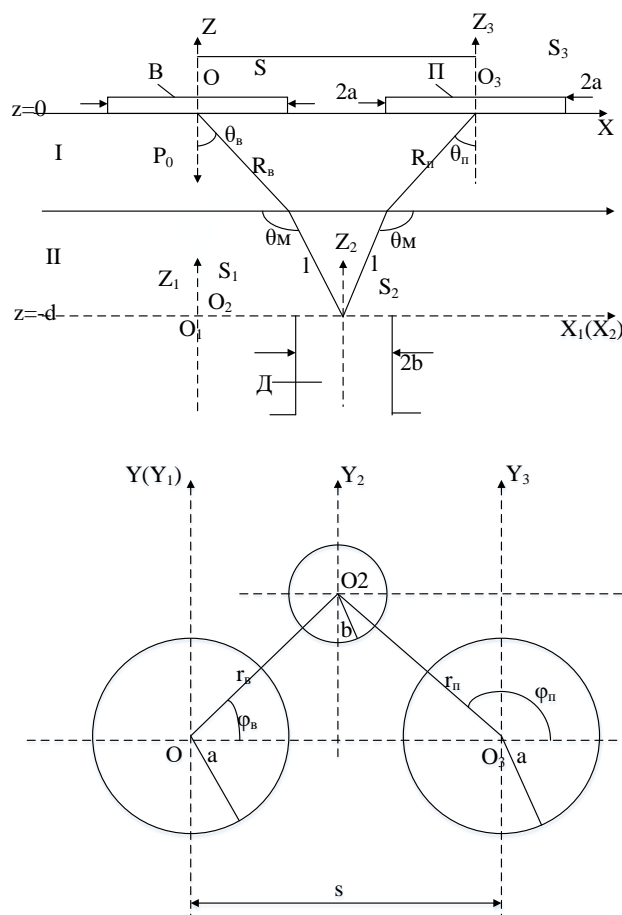


Рисунок 1 – Фізична модель для розрахунку сигналу відлуння від плоскодонного відбивача для прямих перетворювачів: I – перше середовище (імерсійна рідина); II – друге середовище (метал осі); B – випромінюючий перетворювач; П – приймаючий перетворювач; a – радіус перетворювачів; Д – дефект (плоскодонний відбивач); b – радіус дефекту; s – відстань між центрами перетворювачів

Проведено аналіз одержаних аналітичних виразів та встановлені діапазони частот та тривалість імпульсів, які б забезпечили раціональне виявлення дефектів за розміром, який заданий нормативно-технічною документацією на контроль.

Для побудови математичної моделі використано один з основних штучних дефектів – плоскодонне свердління на задану глибину. Така модель дефекту забезпечує максимальний сигнал відлуння від малорозмірних відбивачів. В роботі проведено розрахунок сигналу відлуння від дефектів, в результаті отримано придатні для інженерних оцінок співвідношення. На рис. 1 зображено фізичну модель для розрахунку сигналу відлуння.

Вихідні дані до математичної моделі: ультразвукове випромінення має безперервний характер; використовується роздільна схема контролю, що дає можливість більш якісного узгодження ПЕП в режимі збудження і в режимі прийому ультразвукових сигналів і збільшити чутливість контролю при інших однакових умовах; у всьому об'ємі імерсійна рідина та матеріал осі ізотропні за властивостями та характеристиками; при розрахунках вважається, що температура і тиск є незмінними; втрати інтенсивності ультразвукових хвиль у вигляді відповідних коефіцієнтів в імерсійній рідині, на границі розподілу рідина-метал та у матеріалі осі вважаються відомими для встановлених умов дефектоскопії; при відбитті від моделі дефекту використовується променевий варіант, пов'язаний з відношенням довжини поздовжньої хвилі до розміру моделі дефекту; в об'ємі

осі розповсюджуються поздовжні хвилі. Фізичну модель для розрахунку сигналу відлуння зображено на рис. 1. Для розрахунку сили тиску сигналу, який отримано ПЕП при відбитті від дефекту, враховується потенціал поздовжньої хвилі, що випромінюється в середовище дисковим перетворювачем радіусом a , потенціал відбитої поздовжньої хвилі від плоскостонного отвору, також внаслідок поглинання і розсіювання необхідно врахувати коефіцієнти загасання ультразвуку в рідині δ_p та в об'єкті контролю $\delta_{ок}$, тобто до формули необхідно ввести множник $\exp(-\delta_2 R)$ – загасання ультразвуку в рідині та $\exp(-\delta_2 l)$ – загасання ультразвуку в об'єкті контролю. При розрахунках отримано вираз (1), який є математичною моделлю імерсійного ультразвукового контролю у вигляді прийнятого тиску для прямих перетворювачів і відбивача – плоскостонної моделі дефекту

$$|\delta P_{відб}| = \frac{1}{4} \left(\frac{d_1^2}{R^2} \exp(-2\delta_1 R) \Phi(k_l a \sin \theta_{випр}) \Phi(k_l a \sin \theta_{прям}) + \frac{d_2^2 (k_l a)^2 b^2}{(R+l)^4} \exp(-2\delta_2 l) \times \right. \\ \left. \times \Phi(k_l a \sin \theta_{випр}) \Phi(k_l a \sin \theta_{прям}) \left| \frac{2J_1(k_l b q)}{k_l b q} \right| \right), \quad (1)$$

де k_l – хвильові числа поздовжніх хвиль; $d_{1,2}$ – відстань по вертикальній осі від центру дискового перетворювача до площини відбиття імпульсу в середовищі 1 (рідина) та 2 (об'єкт контролю); R, l – відстань від центру перетворювача до центру відбивача; $\delta_{1,2}$ – коефіцієнт загасання сигналу в середовищі 1 (рідина) та 2 (об'єкт контролю); a – розмір перетворювача; b – розмір плоскостонного відбивача; Φ – потенціал відбитої хвилі.

Слід враховувати, що на результат контролю впливає амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) ПЕП, оскільки чутливість (коефіцієнт перетворення) датчика залежить від частоти прийнятих і випромінюваних сигналів. ПЕП здатний ефективно перетворювати сигнали тільки в обмеженій смузі частот. Сигнали з іншими частотами перетворюються у сигнали з незначною амплітудою нижче порога чутливості дефектоскопа. В ультразвуковому контролі використовуються перетворювачі, які мають максимум чутливості на певній частоті. АЧХ ПЕП є дзвіноподібною. Причому АЧХ ПЕП може відрізнитися від вказаних в нормативній документації, тому її необхідно враховувати при моделюванні. При проведенні контролю можливо змінювати частоту випромінюваних і прийнятих сигналів. При підготовці до контролю необхідно встановити в настройках дефектоскопа частоту, відповідну заданому ПЕП.

З урахуванням вищесказаного для однакових умов вираз (1) можна представити

$$|\delta P_{відб}| = (\xi(f \cdot b)^2 + P_1) \cdot F(f_{ПЕП}), \quad (2)$$

де $F(f_{ПЕП})$ – АЧХ п'єзоперетворювача; f – частота імпульсів, що випромінює

п'єзоперетворювач; ξ – коефіцієнт, обумовлений постійними величинами; P_1 – тиск, прийнятий при відбитті у 1 середовищі (рідині).

На рис. 2 наведено розрахункову залежність приведенного тиску, що прийнятий ПЕП при відбитті від моделей дефектів різного розміру. Аналіз

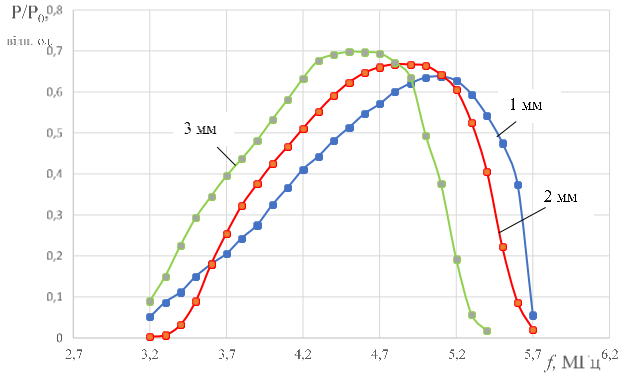


Рисунок 2 – Розрахункова залежність прийнятого приведенного тиску від частоти зондуючого сигналу для плоскодонних відбивачів діаметром 1, 2 і 3 мм

результатів, що наведено на рис.2 показує, що при калібровці приладу контролю на заданий розмір дефекту, необхідно встановлювати відповідну частоту зондування, що може забезпечити додаткове підвищення чутливості контролю.

Для виключення впливу когерентних завад необхідно визначити товщину шару імерсійної рідини між ПЕП і поверхнею ОК. Ця товщина повинна бути більше просторової тривалості ультразвукового імпульсу $C_p t$ (де C_p – швидкість звуку в рідині; t – тривалість імпульсу в часі), щоб не виникало інтерференції випромі-

нюваного імпульсу з імпульсом, який повернувся до перетворювача після відбиття від межі імерсійного шару з контрольованим виробом. Встановлено, що мінімальний шар рідини h_{\min} , необхідний для проведення контролю, визначається за формулою (3)

$$h_{\min} = d \frac{C_{pid}}{C_{OK}}, \quad (3)$$

де d – діаметр заготовки залізничної осі, C_{pid} та C_{OK} – швидкість звуку в рідині та об'єкті контролю відповідно.

Необхідно враховувати, що залізнична ось, згідно своєї конструкції, по всій довжині має різні діаметри (рис. 3), тому загальна товщина шару рідини повинна бути не менше $h = h_{\min} + \Delta h \square \lambda$, де λ – довжина хвилі; h_{\min} – мінімальний шар рідини, необхідний для проведення контролю; Δh – шар рідини, обумовлений різними діаметрами осі по довжині. Значно більшу товщину шару рідини встановлювати нерационально, оскільки ультразвукові хвилі додатково загасають в рідині, що може привести до зниження чутливості.

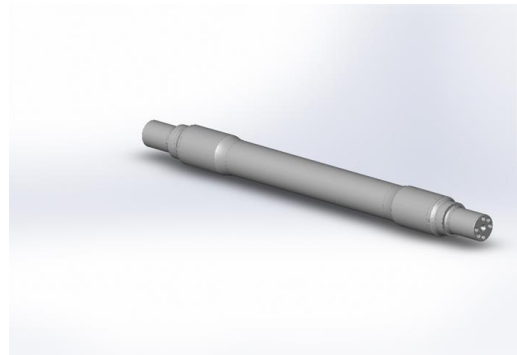


Рисунок 3 – 3D модель залізничної осі

Важливе значення при проведенні контролю відіграє раціональний вибір характеристик зондуючого імпульсу напруги для живлення ПЕП. З рис. 2 випливає необхідність встановлення певної величини частоти зондуючого імпульсу. При традиційному ударному живленні ПЕП спектр його сигналу надзвичайно широкий (рис. 4). Тому він не може забезпечити високу чутливість імерсійного контролю. Звужити спектр зондуючого ультразвукового сигналу можливо за рахунок формування пакетного імпульсу з декількох періодів частоти заповнення. При цьому, як видно з рис. 5, максимальна енергія сигналу зосереджена на основній частоті, яку необхідно встановлювати у відповідності з розміром дефекту, який визначається нормативно-технічною документацією. Таким чином чутливість контролю підвищується.

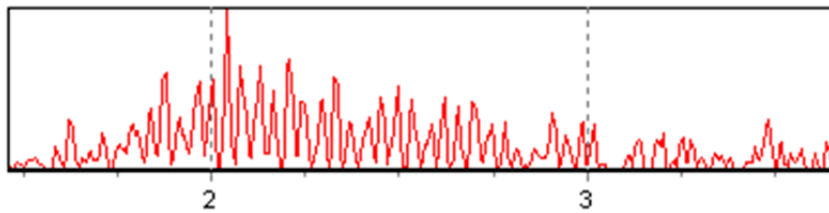


Рисунок 4 – Експериментальний спектр імпульсу напруги живлення ПЕП при ударному збудженні

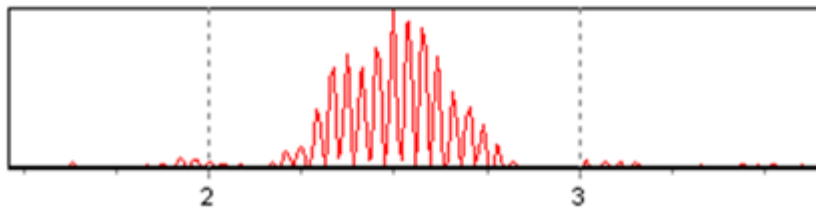


Рисунок 5 – Експериментальний спектр імпульсу живлення ПЕП з часовою тривалістю 6 періодів частоти заповнення

Отже, в другому розділі встановлено однозначний зв'язок між розміром дефекту і частотою ультразвукових коливань, що говорить про необхідність регулювання частоти при виявленні моделі дефекту, який задано нормативно-технічною документацією на контроль. Доведено, що суттєво можливо підвищити чутливість контролю за рахунок збільшення тривалості ультразвукових імпульсів.

У третьому розділі наведено експериментальні дані, отримані при дослідженнях нового методу.

Об'єктом досліджень є зразок, виготовлений зі сталі ОсВ, діаметром 170 мм та довжиною 270 мм (рис. 6). Поверхня зразка попередньо обточена. Хвилястість поверхні зразків не перевищувала 200 мкм. У зразках були виготовлені моделі дефектів у вигляді плоскодонних відбивачів діаметром 3, 2 і



Рисунок 6 – Зразок залізничної осі для проведення досліджень

1 мм. Моделі дефектів були виготовлені шляхом свердлення на глибину 20 ± 2 мм зі сторони, протилежної введенню ультразвукових імпульсів в імерсійну ванну.

На рис. 7 наведено схему перетину зразка залізничної осі з моделями дефектів. До виготовлення моделей дефектів метал зразка був перевірений ультразвуковим традиційним дефектоскопом УД2-12 з контактними перетворювачами на відсутність внутрішніх дефектів та ділянок з високим ослабленням ультразвукових імпульсів.

Для проведення експериментальних досліджень розроблено і виготовлено спеціальний стенд, блок-схема якого наведена на рис. 8.

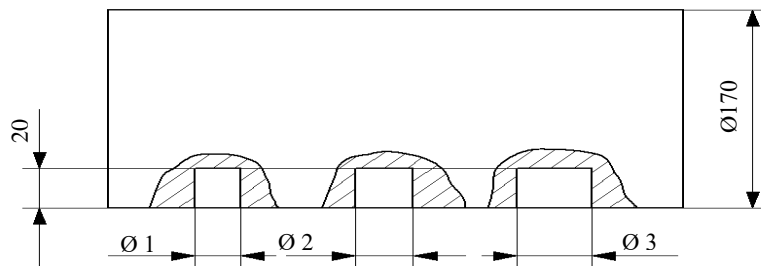


Рисунок 7 – Схема перетину зразка залізничної осі з моделями дефектів

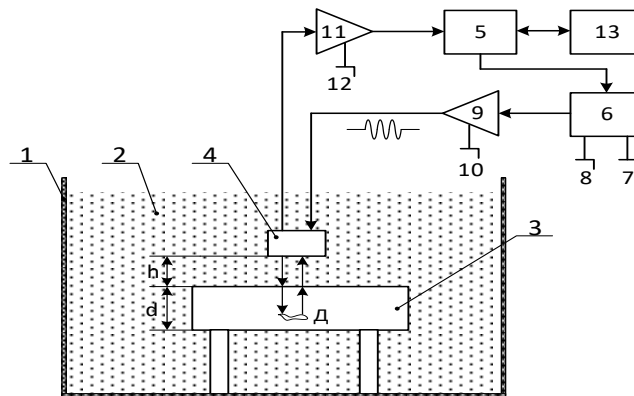


Рисунок 8 – Блок-схема стенду для досліджень зразків залізничних осей:

1 – сміть; 2 – імерсійна рідина; 3 – зразок осі; 4 – п'єзoeлектричний перетворювач; 5 – блок управління та обробки інформації; 6 – блок формування імпульсів напруги заданої частоти і часової тривалості; 7 і 8 – регулятори частоти і часової тривалості; 9 – посилювач імпульсів напруги; 10 – регулятор частотної смуги; 11 – попередній підсилювач прийнятих з осі імпульсів; 12 – регулятор частотної смуги; 13 – блок візуалізації

Стенд функціонує наступним чином. Під час роботи блок 5 виробляє керуючий сигнал, який запускає формувач 6 сигналу з регуляторами частоти заповнення та кількості імпульсів 7 та 8. Сигнал посилюється до заданої потужності блоком 9 з регулятором 10. Посилений сигнал надходить на ПЕП 4. Збуджений імпульс поздовжніх коливань через шар рідини 2 товщиною h надходить у вісь 3 діаметром d , відбивається від дефекту D і приймається

ПЕП 4. Прийнятий імпульс посилюється блоком 11 з регулятором смуги прийому 12, обробляється блоком 5 і візуалізується пристроєм 13.

Ємність для розміщення зразка з осі була виготовлена розміром $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ м}^3$. Імерсійна рідина – вода з водопроводу.

Для забезпечення технології імерсійного контролю залізничних осей розроблено генератор живлення ПЕП та підсилювач прийнятих ультразвукових імпульсів.

Смуговий попередній підсилювач розроблено на основі функціональної мікросхеми К174ПС1 (подвійний балансний модулятор), схема електрична принципова наведена на рис. 9, а зовнішній вигляд на рис. 10.

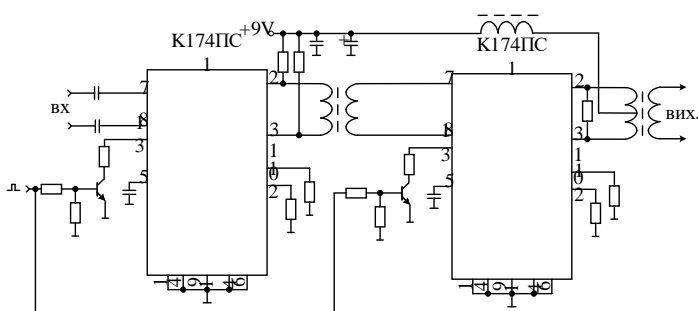


Рисунок 9 – Електрична принципова схема полосового попереднього підсилювача прийнятих ультразвукових імпульсів

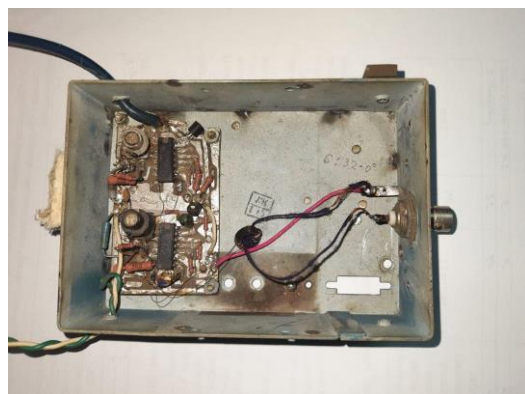


Рисунок 10 – Попередній підсилювач стенду

У другому розділі було визначено, що генератор зондуючих імпульсів, який входить до складу стенду для досліджень, повинен мати можливість регулювати частоту заповнення пакетних сигналів та їх часову тривалість.

На рис. 11 зображено блок формування імпульсів напруги для живлення генератора початкових імпульсів. Генератор зондуючих імпульсів розроблено і виготовлено на основі польових транзисторів. Його принципова електрична схема наведена на рис. 12, а зовнішній вигляд на рис. 13.



Рисунок 11 – Блок формування імпульсів напруги для живлення генератора зондуючих імпульсів

Методика експериментальних досліджень була наступною: встановлювалась тривалість зондуючого імпульсу рівною 2 періодам

ультра звукових коливань і вимірювалась амплітуда сигналу, відбитого від плоскодонних дефектів діаметром 1, 2 і 3 мм відповідно при зміні частоти зондуючих імпульсів генератора в діапазоні 3,2...5 МГц (для контролю використовувався, відповідно з вимогами нормативно-технічної документації

на контроль осей, ПЕП з центральною частотою 5 МГц). Далі збільшувалась кількість коливань на одну одиницю і контроль повторювали. Максимальне число коливань вибрано рівним 8, оскільки подальше збільшення кількості періодів заповнення зонduючого імпульсу не призводить до збільшення відношення амплітуд сигналу від дефекту до амплітуди завад.

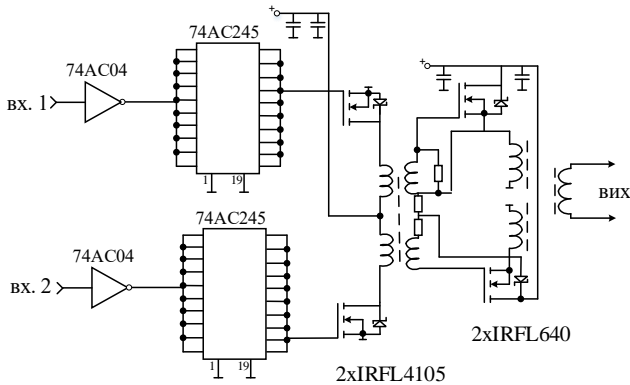


Рисунок 12 – Принципова електрична схема генератора зонduючих імпульсів

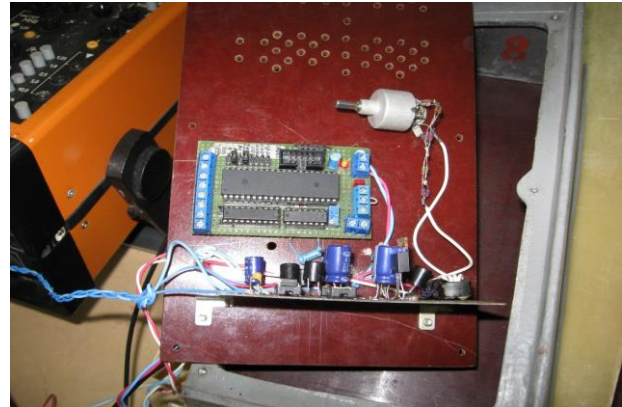


Рисунок 13 – Генератор зонduючих імпульсів дослідного стенду для живлення збуджуючого ПЕП

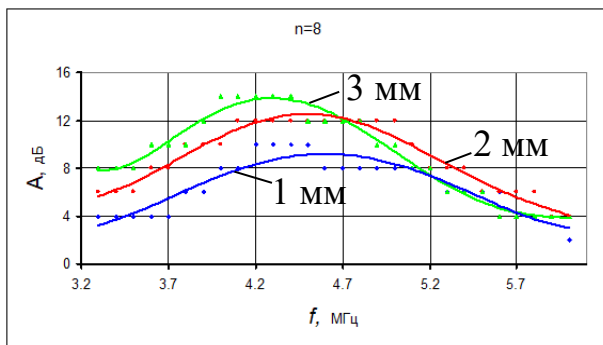


Рисунок 14 – Залежність амплітуди відбитого від моделей дефектів сигналу від частоти заповнення пакетних ультразвукових коливань. Кількість періодів коливань (часова тривалість імпульсу) – 8

амплітуди прийнятих сигналів для дефектів меншого діаметру зміщується в область більш високих частот УЗК (рис. 14). Експериментально встановлено, що частота максимальної чутливості виявлення дефектів становить близько 4,2...4,5 МГц, що не відповідає значенню частоти, вказаної в паспорті на ПЕП – 5 МГц. Визначено, що часову тривалість зонduючих імпульсів живлення ПЕП слід вибирати в діапазоні 6...8 періодів, а частоту заповнення встановлювати при настроюванні дефектоскопу для кожного п'єзоелектричного перетворювача перед початком проведення контролю з обов'язковим калібруванням приладу на моделі дефекту, розмір якого задано нормативно-технічною документацією на контроль.

Вимірювання величини амплітуд відбитих від дефектів імпульсів виконували з використанням каліброваного атенюатора серійного дефектоскопа УД2-12. Результати досліджень наведені на рис. 14. Якісно данні рис. 14 відповідають рис. 2.

Виконані дослідження впливу тривалості зонduючих імпульсів на амплітуду сигналів, відбитих від дефектів. Встановлено, що із зростанням кількості періодів заповнення пакетного імпульсу зростають амплітуди прийнятих імпульсів. Максимальне значення

Використання розроблених рекомендацій дозволило забезпечити виявлення дефектів, еквівалентних плоскодонному відбивачу діаметром 1 мм і більше (рис 15). Відношення амплітуд імпульсу відлуння від плоскодонного відбивача до амплітуди завад складає 6:1. Аналіз результатів теоретичних, модельних та експериментальних

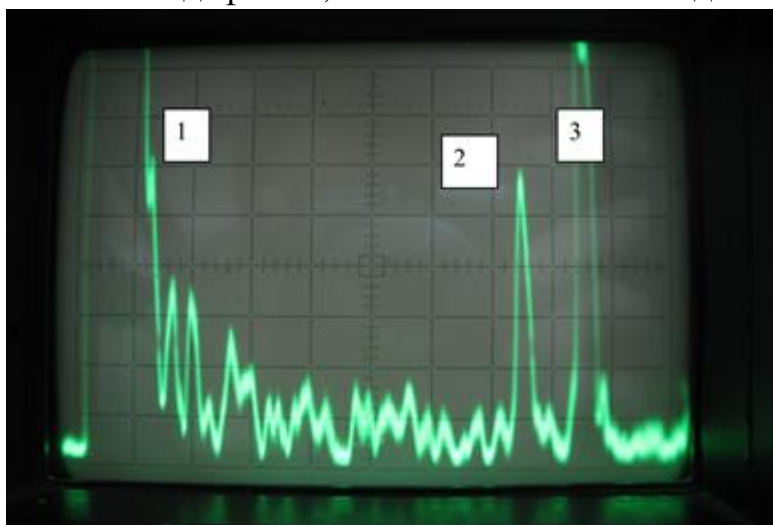


Рисунок 15 – Реалізація з імпульсом відбиття від моделі дефекту діаметром 1 мм, який виготовлено в залізничній осі на глибині 20 мм зі сторони, протилежної введенню УЗК: 1 – імпульс, відбитий від поверхні осі; 2 – імпульс, відбитий від дефекту; 3 – донний імпульс

досліджень дав можливість сформулювати новий метод ультразвукового імерсійного контролю залізничних осей з підвищеною чутливістю.

Проведено розрахунок вірогідності контролю нового методу. Встановлено, що новий метод дозволяє підвищити достовірність приблизно на 25% у порівнянні з традиційним ударним збудженням ПЕП.

У додатках наведено акти впровадження результатів, отриманих при виконанні дисертаційної роботи, та список публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертації поставлено та вирішено важливу науково-практичну задачу з розробки нових методів і засобів чутливого ультразвукового імерсійного контролю залізничних осей. При цьому отримано наступні наукові і практичні результати.

1. В результаті аналізу інформаційних джерел встановлено, що ультразвукові контактний та імерсійний методи мають свої переваги і недоліки при виявленні внутрішніх дефектів і оцінки структури сталі залізничних осей та заготовок для їх виготовлення. Показана необхідність підвищення чутливості ультразвукової дефектоскопії (в зв'язку з підвищенням вимог до якості залізничних осей) з використанням в якості порогових моделей дефектів плоскодонних відбивачів діаметром 1 мм і більше. Встановлена необхідність розробки нових методів і засобів ультразвукового контролю, які б забезпечили необхідне підвищення чутливості виявлення внутрішніх дефектів залізничних осей та заготовок з яких вони виготовляються.

2. Розроблено фізико-математичну модель контролю виробу в імерсійному варіанті за результатами аналізу якої визначено мінімальну товщину шару імерсійної рідини між суміщеним ПЕП і поверхнею. Ця товщина

повинна бути більше просторової тривалості ультразвукового імпульсу $C_p t$ (де C_p – швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль в рідині; t – тривалість імпульсу в часі). Виконано розрахунок мінімальної товщини шару імерсійної рідини між суміщеним ПЕП і поверхнею заготовки залізничної осі, яка повинна складати не менше 46 мм при діаметрі залізничної осі (заготовки) 170 мм. Виконано теоретичний розрахунок ультразвукового тракту при контролі залізничної осі прямим перетворювачем при відбитті ультразвукових імпульсів від моделей дефектів у вигляді плоскодонних відбивачів різного діаметру з врахуванням загасання сигналів в імерсійній рідині та в матеріалі залізничної осі, а також втрат енергії імпульсів на границі розподілу рідина/метал за рахунок заломлення на криволінійній поверхні та трансформації хвиль. Встановлено, що чутливість контролю визначається однозначним зв'язком між розміром дефекту і частотою ультразвукових коливань, що говорить про необхідність регулювання частоти при виявленні моделі дефекту, які задані нормативно-технічною документацією на контроль.

3. Розроблено методику виготовлення моделей дефектів малих розмірів в зразку залізничної осі, за якою свердлінням були виготовлені плоскодонні відбивачі діаметром 3, 2 і 1 мм на глибину $20 + 2$ мм, що дозволило якісно калібрувати прилад контролю.

4. Теоретично і експериментально доказано, що чутливість ультразвукового імерсійного контролю залізничних осей можливо підвищити за рахунок живлення п'єзоелектричних перетворювачів пакетними імпульсами струму з заданими частотою заповнення і часовою тривалістю. Встановлено, що для забезпечення достатньої чутливості ультразвукового імерсійного контролю залізничних осей частоту імпульсів збудження ПЕП необхідно встановлювати в інтервалі 4,2...4,5 МГц, а часову тривалість імпульсу – 6...8 періодів заповнення вказаної частоти. Проте, використовувати імпульси значної тривалості недоцільно, оскільки при цьому збільшується «мертва» (неконтрольована) приповерхнева зона металу.

5. Розроблено метод ультразвукового імерсійного контролю, який включає розміщення контрольного зразка з моделлю дефекту заданого розміру в імерсійній рідині, опромінення дефекту в зразку одним п'єзоперетворювачем ультразвуковим імпульсом, що складається з кількох періодів високої частоти, прийом другим п'єзоперетворювачем імпульсу відбитого дефектом, корегування частоти і тривалості ультразвукового опромінюючого імпульсу до отримання максимальної амплітуди імпульсу, відбитого дефектом, і проведення дефектоскопії з встановленими параметрами опромінюючого імпульсу. Експериментально показано, що для виявлення дефектів меншого розміру необхідно збільшувати частоту заповнення пакетних імпульсів струму, які живлять ПЕП.

6. Розроблено модель акустичного імерсійного блока приладу, суть якого заключається в використанні двох прямих п'єзоперетворювачів, розташованих на відстані один від одного, яка визначається індикатрисою розсіювання дефекту, розмір якої задано нормативно технічною документацією. Розроблено

генератор для живлення ПЕП з параметрами, що регулюються. Розроблено попередній смуговий підсилювач прийнятих ультразвукових імпульсів.

7. Результати дисертаційної роботи запроваджено: на АТ «ФЕД» (акт впровадження від 22.10.2020 р.); ТОВ «ПРАКТИКА-М12», (акт впровадження від 17.09.2020 р.) та в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (акт впровадження від 05.10.2020 р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1 Багмет О. Л., Познякова М. Е. Исследование метрологических характеристик электромагнитного диаметромера. *Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов*. Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. № 60. С. 124–130.

Здобувачем проведено розрахунок метрологічних характеристик перетворювача, який використовується для контролю циліндричного виробу.

2 Познякова М. Е., Сучков Г. М. Повышение чувствительности иммерсионного ультразвукового контроля заготовок для железнодорожных осей. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків: НТУ «ХПИ», 2012. № 46 (952). С. 223–228.

Здобувачем розглянуто процес взаємодії ультразвукового поля з металом залізничної осі, проведено дослідження з виявлення моделей дефектів у вигляді плоскодонних відбивачів у заготовці осі.

3 Сучков Г. М., Познякова М. Е. Раздельно-совмещенный ЭМА преобразователь для ультразвукового контроля железнодорожных осей. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків: НТУ «ХПИ», 2013. № 18 (991). С. 56–60.

Здобувачем розроблено акустичний блок з підвищеною чутливістю виявлення дефектів.

4 Сучков Г. М., Глоба С. Н., Десятниченко А. В., Хомяк Ю. В., Хащина С. В., Познякова М. Е., Петрищев О. Н., Ноздрачева Е. Л. Силовая электроника в устройствах неразрушающего контроля. Генераторы радиоимпульсов большой пиковой мощности. *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит: спец. випуск*. Харьков. 2013. Т 2. № 8 (114). С. 98–101.

Здобувачем запропоновано використання трансформаторів з паралельним включенням обмоток при створенні генераторів зондуючих імпульсів високої пікової потужності.

5 Сучков Г. М., Познякова М. Е. Методи та засоби для ультразвукового контролю заготовок та залізничних осей (огляд). *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка*. Харків: НТУ «ХПИ», 2013. № 34 (1007). С. 90–98.

Здобувачем проведено аналіз існуючих методів та засобів ультразвукового контролю залізничних осей та встановлено необхідність створення новітніх методів та засобів з підвищеною чутливістю.

6 Познякова М. Е., Сучков Г. М., Петрищев О. Н. Ультразвуковой контроль качества изделий с не плоской поверхностью волнами Релея. *Вісник*

НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків : НТУ «ХПІ», 2015. № 48 (1167). С. 40–47.

Здобувачем розроблено та виготовлено стенд для проведення ультразвукового контролю якості виробів з неплоскою поверхнею.

7 Петрищев О. Н., Сучков Г. М., Познякова М. Е., Юданова Н. Н. Моделирование электромагнитного возбуждения ультразвуковых крутильных волн в ферромагнитных стержнях. *Вісник НТУ «ХПІ»: Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. № 4 (1226). С. 25–34.*

Здобувачем отримано рішення неоднорідного диференційного рівняння для режиму бігучих крутильних хвиль за допомогою інтегрального перетворення Фур'є.

8 Poznyakova M. E., Suchkov G. M., Petrishchev O. N. Peculiarities of ultrasonic pulsed immersion testing of blanks of railway axles. *Russian Journal of Nondestructive Testing – USA. 2016. 7. PP. 383–385.*

Здобувачем проведено дослідження і розроблено методи виявлення малорозмірних дефектів в заготовках залізничних осей методом ультразвукового імерсійного контролю.

9 Спосіб імерсійного ультразвукового контролю: пат. 82092 Україна: МПК G 01 N 29/04 (2006.01). № у 201214317; заяв. 14.12.2012; надрук. 25.07.2013, Бюл. № 14. 3 с.

Здобувачем розроблено стенд для проведення ультразвукового імерсійного контролю та проведено експериментальні дослідження з використанням фіксованого значення частоти ультразвукових коливань.

10 Спосіб динамічного імерсійного ультразвукового контролю луна-методом: пат. 82154 Україна: МПК G 01 N 29/04 (2006.01). № у 2013 00446; заяв. 14.01.2013; надрук. 25.07.2013, Бюл. № 14. 4 с.

Здобувачем запропоновано спосіб динамічного імерсійного ультразвукового контролю луна-методом.

11 Познякова М. Е., Багмет О. Л. Исследование метрологических характеристик электромагнитного диаметромера. *Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання: збірник тез доп. 3-ї наук.-практ. конф. студентів і молодих учених (м. Івано-Франківськ, 29–30 листопада 2011 р.). Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2011. С. 129–130.*

Здобувачем проведено розрахунок метрологічних характеристик перетворювача, який використовують для контролю циліндричного виробу.

12 Сучков Г. М., Познякова М. Е. Совершенствование средств для ультразвукового иммерсионного контроля железнодорожных осей с повышенной чувствительностью. *Современные тенденции развития приборостроения: сб. тез. докл. I Всеукр. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Луганск, 19–20 ноября 2012 г.). Луганск: ВУНУ им. В. Даля, 2012. С. 224–225.*

Здобувачем запропоновані шляхи підвищення чутливості імерсійного контролю залізничних осей.

13 Сучков Г. М., Познякова М. Е., Десятниченко А. В., Ноздрачева Е. Л. Выбор питания преобразователей импульсных ультразвуковых средств контроля. *Неруйнівний контроль та технічна діагностика: матеріали VII націон. наук.-техн. конф. (м. Київ, 20–23 листопада 2012 р.)*. Київ: УТ НКТД, 2012. С. 123–128.

Здобувачем проведено експеримент з виявлення дефекту діаметром 1 мм в залізничній осі контактним та імерсійним способами з використанням пакетних імпульсів з заданим числом періодів заповнення.

14 Сучков Г. М., Познякова М. Е. Экспериментальные исследования высокочувствительного ультразвукового контроля эхо-методом. *Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: матер. 17-го междунар. молодежного форума (г. Харьков, 22–24 апреля 2013 г.)*. Харьков: ХНУРЭ, 2013. С. 186–187.

Здобувачем розроблено схему макета дефектоскопа для проведення високочутливого ультразвукового контролю та описано принцип його роботи. Проведено дослідження з виявлення дефектів різних розмірів.

15 Сучков Г. М., Глоба С. Н., Ноздрачева Е. Л., Хомяк Ю. В., Десятниченко А. С., Хащина С. В., Познякова М. Е. Новые разработки кафедры ПМНК НТУ «ХПИ» в области неразрушающего контроля. *Приладобудування: стан і перспективи: тези доп. IX міжнар. наук.-техн. гонф. (м. Київ, 23–24 квітня 2013 р.)*. Київ: НТУУ «КПІ», 2013. С. 202.

Здобувачем показана необхідність оптимізації частоти ультразвукових коливань, які живлять ПЕП, під заданий розмір дефекту, який необхідно визначити.

16 Сучков Г. М., Познякова М. Е. Способ возбуждения преобразователей ультразвуковых средств контроля. *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах: зб. тез доп. II-ї міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 29–30 жовтня 2013 р.)*. Вінниця: ВНТУ, 2013. С. 95.

Здобувачем проведено дослідження з застосування ударного та пакетного збудження ПЕП та ЕМАП. Показано, що відношення амплітуди донного сигналу до шуму при застосуванні пакету імпульсів збільшується у 10 разів.

17 Сучков Г. М., Познякова М. Е. Сучасні установки контролю заготовок для залізничних осей. *Актуальные проблемы автоматики и приборостроения Украины, мат. конф. (м. Харків, 12–13 грудня 2013 г.)*. Харків: НТУ «ХПІ», 2013. С. 59–62.

Здобувачем розглянуто сучасні установки контролю залізничних осей і показано необхідність автоматизації контролю при комбінуванні кількох методів неруйнівного контролю.

18 Сучков Г. М., Познякова М. Е. Необходимость разработки системы автоматического контроля залізничних коліс і осей. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD–2014): тези доп. XXII міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 15–17 жовтня 2014 р.)*. Харків: НТУ «ХПІ», 2014. Ч.2. С. 183.

Здобувачем розглянуто можливість створення нової системи діагностики, яка заснована на методі власних частот, з використанням

сучасних комп'ютерів для аналізу акустичних сигналів.

19 Познякова М. Є., Сучков Г. М. Оптимізація характеристик імпульсу струму для живлення п'єзоелектричного перетворювача. *Інформаційні технології: наука, техніка технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD-2016):* тези доп. XXIV міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 18–20 травня 2016 р.). Харків, НТУ «ХП», 2016. Ч.2. С. 117.

Здобувачем розглянуто параметри, які впливають на спектр корисного сигналу при проведенні ультразвукового контролю.

20 Мигущенко Р. П., Сучков Г. М., Петрищев О. Н., Познякова М. Е., Тосхопаран В. В. Контроль качества изделий с неплоской поверхностью электромагнито-акустическими преобразователями *Актуальні проблеми автоматизації та приладобудування:* тези доп. 3-ї Всеукр. наук.-техн. конф. (м. Харків, 8–9 грудня 2016 р.). Харків: НТУ «ХП», 2016. С. 108–109.

Здобувачем проведено експериментальні дослідження контролю виробів з неплоскою поверхнею хвилями Релея.

АНОТАЦІЇ

Познякова М.Є. Ультразвуковий метод та засіб для виявлення внутрішніх дефектів залізничних осей. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021.

В дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу – розробку нового методу та засобів для забезпечення ультразвукового іммерсійного контролю залізничних осей з підвищеною чутливістю щодо виявлення внутрішніх дефектів мінімального розміру за рахунок використання пакетів імпульсів заданої частоти та тривалості.

Виконано аналітичний огляд та аналіз сучасних засобів і методів неруйнівного контролю та діагностики залізничних осей та їх заготовок.

Розроблено фізико-математичну модель контролю та виконано теоретичний розрахунок ультразвукового тракту. Встановлено однозначний зв'язок між розміром дефекту і частотою ультразвукових коливань.

Теоретично і експериментально доказано, що чутливість ультразвукового іммерсійного контролю залізничних осей можливо підвищити за рахунок живлення ПЕП пакетними імпульсами струму з заданими частотою заповнення і часовою тривалістю.

Встановлено, що для забезпечення достатньої чутливості ультразвукового іммерсійного контролю залізничних осей (виявлення внутрішніх дефектів з ефективним розміром, що відповідає плоскодонному відбивачу діаметром 1 мм), частоту УЗК необхідно встановлювати в інтервалі 4,2...4,5 МГц, а часову тривалість імпульсу – 6...8 періодів заповнення вказаної частоти.

Розроблено метод ультразвукового іммерсійного контролю, який включає розміщення контрольного зразка з моделлю дефекту заданого розміру в

імерсійній рідині, опромінення одним ПЕП дефекту в зразку ультразвуковим імпульсом, що складається з кількох періодів високої частоти, прийом другим ПЕП імпульсу, відбитого дефектом, корегування частоти і тривалості ультразвукового опромінюючого імпульсу до отримання максимальної амплітуди імпульсу, відбитого дефектом, і проведення дефектоскопії з встановленими параметрами опромінюючого імпульсу.

Розроблені спеціальний генератор для живлення ПЕП, смуговий посилювач для прийнятих ультразвукових імпульсів.

Розроблено модель акустичного імерсійного блока приладу, суть якої полягає в використанні двох прямих ПЕП, що розташовані на відстані один від одного, яка визначається індикатрисою розсіювання дефекту, розмір якої заданий нормативно технічною документацією.

Ключові слова: ультразвуковий контроль, імерсійний метод, ультразвукові імпульси, дефект, плоскодонний відбивач, п'єзоелектричний, перетворювач, залізнична ось, генератор зондуючих імпульсів, посилювач сигналів, завади.

Познякова М.Е. Ультразвуковой метод и средство для выявления внутренних дефектов железнодорожных осей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Харьков, 2021.

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача – разработка нового метода и средств для обеспечения ультразвукового иммерсионного контроля железнодорожных осей с повышенной чувствительностью к выявлению внутренних дефектов минимального размера за счет использования пакетов импульсов заданной частоты и продолжительности.

Выполнен аналитический обзор и анализ современных средств и методов неразрушающего контроля и диагностики железнодорожных осей и их заготовок.

В результате анализа информационных источников установлено, что более перспективным при выявлении внутренних дефектов и оценки структуры стали железнодорожных осей и заготовок для их изготовления является иммерсионный метод контроля, который имеет как преимущества, так и недостатки. Технические противоречия диктуют необходимость проведения исследований иммерсионного метода с последующим их решением. В связи с повышением требований к качеству железнодорожных осей возникает необходимость повышения чувствительности ультразвуковой дефектоскопии за счет калибровки прибора контроля по моделям дефектов меньшего размера, например плоскодонного отражателя диаметром 1 мм и более вместо 3 мм и более. Для обеспечения высокой чувствительности выявления малоразмерных дефектов необходимо разработать новые методы и средства их реализации.

Разработана физико-математическая модель контроля и выполнен теоретический расчет ультразвукового тракта. Установлена однозначная связь между размером дефекта и частотой ультразвуковых колебаний.

Теоретически и экспериментально доказано, что чувствительность ультразвукового иммерсионного контроля железнодорожных осей можно повысить за счет питания ПЭП пакетными импульсами тока с заданными частотой заполнения и временной продолжительностью.

Установлено, что для обеспечения достаточной чувствительности ультразвукового иммерсионного контроля железнодорожных осей (выявление внутренних дефектов с эффективным размером, что соответствует плоскодонному отражателю диаметром 1 мм) частоту УЗК необходимо устанавливать в интервале 4,2 ... 4,5 МГц, а временную длительность импульса – 6 ... 8 периодов заполнения указанной частоты.

Разработан метод ультразвукового иммерсионного контроля, который включает размещение контрольного образца с моделью дефекта заданного размера в иммерсионной жидкости, облучение одним ПЭП дефекта в образце ультразвуковым импульсом, который состоит из нескольких периодов высокой частоты, прием вторым ПЭП импульса отраженного дефектом, корректировки частоты и продолжительности ультразвукового облучающего импульса к получению максимальной амплитуды импульса, отраженного дефектом, и проведение дефектоскопии с установленными параметрами облучающего импульса.

Разработаны специальные генераторы для питания ПЭП и полосовой усилитель для принятых ультразвуковых импульсов.

Разработана модель акустического иммерсионного блока прибора, суть которой заключается в использовании двух прямых ПЭП, расположенных на расстоянии друг от друга, которая определяется индикатрисой рассеяния дефекта, размер которой задан нормативно технической документацией.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, иммерсионный метод, ультразвуковые импульсы, дефект, плоскодонный отражатель, пьезоэлектрический преобразователь, железнодорожная ось, генератор зондирующих импульсов, усилитель сигналов, помехи.

Pozniakova Marharyta. Ultrasonic method and means for detecting internal defects of railway axles. – Manuscript.

Thesis on obtaining a scientific degree of Ph.D. in specialty 05.11.13 "Devices and methods of testing and determination of composition of substances" – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2021.

In the dissertational work, a relevant scientific and practical problem was solved – the development of a new method and means for providing ultrasonic immersion testing of railway axles with increased internal defects of a minimum size detection sensitivity through the use of pulse packets of given frequency and duration.

An analytical review and analysis of modern means and methods of non-destructive testing and diagnostics of railway axles and their blanks has been carried out.

A physical and mathematical model of testing has been developed and a theoretical calculation of the ultrasound path has been performed. An unambiguous relationship has been established between the size of the defect and the frequency of ultrasonic oscillations.

It has been theoretically and experimentally proven that the sensitivity of ultrasonic immersion control of railway axles can be increased by feeding the piezoelectric transducer (probe) with packet current pulses of a given filling frequency and temporal duration.

It was found that in order to ensure sufficient sensitivity of ultrasonic immersion testing of railway axles (detection of internal defects of effective size that corresponds to a 1 mm diameter flat-bottomed reflector), the ultrasonic testing frequency must be set in the interval 4.2 ... 4.5 MHz, and the pulse temporal duration to 6 ... 8 filling periods of the specified frequency.

A method of ultrasonic immersion testing has been developed, which includes immersing a control sample with a model of a defect of a given size into immersion liquid, irradiating a defect in the sample using a singular probe and a singular ultrasonic pulse, which consists of several high-frequency periods, receiving a pulse reflected by the defect with a second probe, adjusting the frequency and duration of the irradiating ultrasonic pulse until obtaining the maximum amplitude of the pulse reflected by the defect, and conducting defectoscopy with the specified parameters of the irradiating pulse.

Special generators for power supply of probes and a band-pass amplifier for received ultrasonic pulses have been developed.

A model of the acoustic immersion unit of the device has been developed, the essence of which is to use two longitudinal probes located at a distance from each other, which is determined by the scattering indicatrix of the defect, the size of which is specified by the normative technical documentation.

Key words: ultrasonic testing, immersion method, ultrasonic pulses, defect, flat-bottomed reflector, piezoelectric transducer, railway axle, probe pulse generator, signal amplifier, interference.



Видавництво та друк ФОП Єфименко С.А.
61166, Україна, м. Харків, вул. Коломенська, 27
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 6869 від 08.08.2019