

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПОЗНЯКОВА МАРГАРИТА ЄВГЕНІВНА

УДК 620.179.16

ДИСЕРТАЦІЯ
УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД ТА ЗАСІБ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ
ВНУТРІШНІХ ДЕФЕКТІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ ОСЕЙ

05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин
15 – автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


Маргарита ПОЗНЯКОВА

Науковий керівник
СУЧКОВ Григорій Михайлович,
доктор технічних наук, професор

*Григорій Михайловиче, дякую за змістовні
керівництво, критику та
додаткові заходи*

*Великий секретар
вченої ради*



02.02.2021р.
Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Познякова Маргарита Євгенівна. Ультразвуковий метод та засіб для виявлення внутрішніх дефектів залізничних осей. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 «Прилади і методи контролю та визначення складу речовин» – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Дисертація присвячена розробці нового методу та засобів для забезпечення ультразвукового іммерсійного контролю з підвищеною чутливістю щодо виявлення внутрішніх дефектів мінімального розміру.

Виконано аналітичний огляд та аналіз сучасних засобів і методів неруйнівного контролю та діагностики залізничних осей та заготовок до них. При цьому розглянуто вплив завад різного типу, технічний рівень приладів і установок для контролю залізничних осей, схемотехнічних рішень засобів їх живлення, прийому з виробів ультразвукових імпульсів, визначені відомі переваги, недоліки та можливості їх використання в дослідженнях і розробках.

В результаті аналізу інформаційних джерел встановлено, що ультразвукові контактний та іммерсійний методи мають свої переваги і недоліки при виявленні внутрішніх дефектів і оцінки структури сталі залізничних осей та заготовок для їх виготовлення. Технічні протиріччя для кожного з них диктують необхідність виконання досліджень вказаних методів з наступним їх вирішенням. У зв'язку з зростанням вимог до якості залізничних осей показана необхідність підвищення чутливості ультразвукової дефектоскопії за рахунок калібрування приладу контролю за моделями дефектів меншого розміру, наприклад плоскодонного відбивача діаметром 1 мм і більше замість 3 мм і більше. Для забезпечення високої чутливості щодо виявлення мінімальних дефектів необхідно розробити методи і засоби їх реалізації.

Визначені та обґрунтовані напрямки дисертаційного дослідження.

Визначено фізичну 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 170 мм.

Розроблено фізико-математичну модель контролю залізничної осі в імерсійному варіанті. 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 у матеріалі залізничної осі, а також втрат енергії імпульсів на границі розподілу рідина/метал за рахунок заломлення на криволінійній поверхні та трансформації. Встановлено однозначний зв'язок між розміром дефекту і частотою ультразвукових коливань, що говорить про необхідність встановлення раціонального значення частоти ультразвукових коливань при виявленні моделі дефекту заданого нормативно-технічною документацією на контроль.

Вирішено питання раціонального вибору тривалості ультразвукових імпульсів живлення ПЕП, направлено на підвищення чутливості контролю. Доказано, що можливо суттєво підвищити чутливість контролю за рахунок збільшення тривалості ультразвукових імпульсів. Такий підхід обумовлений концентрацією енергії сигналів у вузькому діапазоні спектру та широкими можливостями фільтрації корисного сигналу від завад. Доцільно вибирати тривалість імпульсів не менше 3...5 періодів частоти заповнення сигналу. Проте, використовувати імпульси значної тривалості не доцільно, оскільки при цьому збільшується «мертва» (не контрольована) при поверхнева зона металу.

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 (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 імерсійного контролю, який включає розміщення контрольного зразка з моделлю дефекту заданого розміру в імерсійній 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, і проведення дефектоскопії з встановленими параметрами опромінюючого імпульсу.

Розроблені спеціальний генератор для живлення п'єзоелектричних перетворювачів та смуговий посилювач для прийнятих ультразвукових імпульсів.

Розроблено модель акустичного імерсійного 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. Використання розробки дало можливість збільшити амплітуду імпульсу відлуння, відбитого від плоскодонного відбивача діаметром 1 мм, по відношенню до амплітуди завад до 15 дБ.

Оцінено ефективність результатів виконаних досліджень в порівнянні

з відомими розробками.

Результати розробок захищені 2 патентами на корисну модель.

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

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

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.

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.

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.

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. Харків. 2013. Т 2. № 8 (114). С. 98–101.

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.

6 Познякова М. Е., Сучков Г. М., Петрищев О. Н. Ультразвуковой контроль качества изделий с не плоской поверхностью волнами Релея. *Вісник НТУ «ХПИ»*. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків : НТУ «ХПИ», 2015. № 48 (1167). С. 40–47.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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. ІХ міжнар. наук.-техн. гонф.* (м. Київ, 23–24 квітня 2013 р.). Київ: НТУУ «КПІ», 2013. С. 202.

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

17 Сучков Г. М., Познякова М. Є. Сучасні установки контролю заготовок для залізничних осей. *Актуальні проблеми автоматики і приборостроєння України, мат. конф.* (м. Харків, 12–13 грудня 2013 г.). Харків: НТУ «ХПІ», 2013. С. 59–62.

18 Сучков Г. М., Познякова М. Є. Необхідність розробки системи автоматичного контролю залізничних коліс і осей. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD–2014): тези доп. ХХІІ міжнар. наук.-практ. конф.* (м. Харків, 15–17 жовтня 2014 р.). Харків: НТУ «ХПІ», 2014. Ч.2. С. 183.

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. ХХІV міжнар. наук.-практ. конф.* (м. Харків, 18–20 травня 2016 р.). Харків, НТУ «ХПІ», 2016. Ч.2. С. 117.

20 Мигущенко Р. П., Сучков Г. М., Петрищев О. Н., Познякова М. Е., Тосхопаран В. В. Контроль качества изделий с неплоской поверхностью

електроманито-акустическими преобразователями *Актуальні проблеми автоматики та приладобудування*: тези. доп. 3-ї Всеукр. наук.-техн. конф. (м. Харків, 8–9 грудня 2016 р.). Харків: НТУ «ХПІ», 2016. С. 108–109.

ABSTRACT

Pozniakova Marharyta Yevhenivna. Ultrasonic method and means for detecting internal defects of railway axles. On the rights of the manuscript.

The dissertation on obtaining a scientific degree of Ph.D. in specialty 05.11.13 "Devices and methods of control and definition of structure of substances" - National technical university "Kharkiv polytechnic institute".

The dissertation is devoted to the development of a new method and means for providing ultrasonic immersion testing with increased sensitivity to the detection of internal defects of minimal size.

An analytical review and analysis of modern tools and methods of non-destructive testing and diagnostics of railway axles and their blanks. The influence of various types of noise, technical level of devices and instruments for testing of railway axles, circuit solutions of their power supplies, reception of ultrasonic pulses from products are considered, known advantages, disadvantages and possibilities of their use in research and development are defined.

As a result of the information source analysis it is established that ultrasonic contact and immersion methods have their advantages and disadvantages in detecting internal defects and assessing the structure of steel of railway axles and blanks for their manufacture. Technical contradictions for each of them dictate the need to perform research of these methods, followed by their solution. Due to the increasing requirements for the quality of railway axles, the need to increase the sensitivity of ultrasonic flaw detection by calibrating the control device on models of smaller defects, such as flat-bottomed reflector with a diameter of 1 mm or more instead of 3 mm or more [10]. To ensure high sensitivity to the detection of minimal defects, it is necessary to develop methods and means of their implementation.

The directions of dissertation research are defined and substantiated.

The physical model of product testing in the immersion variant is determined by the results of the analysis of which the minimum thickness of the immersion liquid layer between the combined piezoelectric transducer (PET) and the surface is

determined. This thickness must be greater than the spatial duration of the ultrasonic pulse $C_p t$ (where C_p - the speed of propagation of longitudinal waves in the liquid; t - pulse duration in time). The calculation of the minimum thickness of the layer of immersion fluid between the combined PET and the surface of the workpiece of the railway axis, which must be at least 46 mm with a diameter of the railway axis of 170 mm.

A physical-mathematical model of railway axle testing in the immersion variant has been developed. Theoretical calculation of the ultrasonic path for railway axles testing by a longitudinal transducer in the reflection of ultrasonic pulses from models of defects in the form of flat-bottom reflectors of different diameters, taking into account the attenuation of signals in refraction on a curved surface and transformation. An unambiguous relationship between the size of the defect and the frequency of ultrasonic oscillations, which indicates the need to establish a rational value of the frequency of ultrasonic oscillations in identifying the model of the defect specified by regulatory and technical documentation for control.

The issue of rational choice of duration of ultrasonic pulses of PET power supply, aimed at increasing the sensitivity of testing, is solved. It is proven that it is possible to significantly raise the sensitivity of testing by increasing the duration of ultrasonic pulses. Such an approach is due to the concentration of signal energy in a narrow range of the spectrum and the wide possibilities of filtering the useful signal from interference. It is advisable to choose the pulse duration of at least 3... 5 periods of signal filling frequency. However, to use pulses of extra duration it is not expedient as at the same time the "dead" (not controlled) zone at a surface of metal increases.

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

It is established that to ensure sufficient sensitivity of ultrasonic immersion testing of railway axles (detection of internal defects of an effective size corresponding to a 1 mm diameter flat-bottom reflector), the ultrasonic frequency must be set in the range 4.2... 4.5 MHz with pulse temporal duration of 8 periods of filling 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.

A special generator for powering piezoelectric transducers and a band 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 PETs located at a certain 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. The use of development made it possible to increase the amplitude of the echo pulse reflected from a 1 mm diameter flat-bottomed reflector, relative to the amplitude of the noise to 15 dB.

The efficiency of the results of the performed researches in comparison with the known developments is estimated.

The development results are protected by 2 utility model patents.

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

REFERENCES

- 1 Bagmet O. L., Pozniakova M. E. Issledovanie metrologicheskikh harakteristik elektromagnitnogo diametromera. Vestnik NTU «HPI». Seriya: Problemy sovershenstvovaniya elektricheskikh mashin i apparatov. Harkov: NTU «HPI», 2011. № 60. P. 124–130.
- 2 Pozniakova M. E., Suchkov G. M. Povysenie chuvstvitelnosti immersionnogo ultrazvukovogo kontrolya zagotovok dlya zheleznodorozhnyh osey. Visnik NTU «HPI». Seriya: Novi rishennya v suchasniyeh tehnologiyah. Harkiv: NTU «HPI», 2012. № 46 (952). P. 223–228.
- 3 Suchkov G. M., Pozniakova M. E. Razdelno-sovmeshennyj EMA preobrazovatel dlya ultrazvukovogo kontrolya zheleznodorozhnyh osey. Visnik NTU «HPI». Seriya: Novi rishennya v suchasniyeh tehnologiyah. Harkiv: NTU «HPI», 2013. № 18 (991). P. 56–60.
- 4 Suchkov G. M., Globa S. N., Desyatnichenko A. V., Homyak Yu. V., Hashina S. V., Pozniakova M. E., Petrishev O. N., Nozdracheva E. L. Silovaya elektronika v ustrojstvah nerazrushayushogo kontrolya. Generatory radioimpulsov bolshoj pikovoj moshnosti. Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit: spec. vypusk. Harkov. 2013. T 2. № 8 (114). P. 98–101.
- 5 Suchkov G. M., Pozniakova M. Ye. Metodi ta zasobi dlya ultrazvukovogo kontrolya zagotovok ta zaliznichnih osey (oglyad). Visnik NTU «HPI». Seriya: Elektroenergetika ta peretvoryvalna tehnika. Harkiv: NTU «HPI», 2013. № 34 (1007). P. 90–98.
- 6 Pozniakova M. E., Suchkov G. M., Petrishev O. N. Ultrazvukovoj kontrol kachestva izdelij s ne ploskoj poverhnostyu volnami Releya. Visnik NTU «HPI». Seriya: Innovacijni tehnologiyi ta obladnannya obrobki materialiv u mashinobuduvanni ta metalurgiyi. Harkiv : NTU «HPI», 2015. № 48 (1167). P. 40–47.
- 7 Petrishev O. N., Suchkov G. M., Pozniakova M. E., Yudanova N. N. Modelirovanie elektromagnitnogo vzbuzhdeniya ultrazvukovykh krutilnykh voln v

ferromagnitnyh sterzhnyah. Visnik NTU «HPI»: Seriya: Elektroenergetika ta peretvoryvalna tehnika. Harkiv : NTU «HPI», 2017. № 4 (1226). P. 25–34.

8 Pozniakova 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.

9 Sposib imersijnogo ultrazvukovogo kontrolyu: pat. 82092 Ukrayina: MPK G 01 N 29/04 (2006.01). № u 201214317; zayav. 14.12.2012; nadruk. 25.07.2013, Byul. № 14. 3 p.

10 Sposib dinamichnogo imersijnogo ultrazvukovogo kontrolyu luna-metodom: pat. 82154 Ukrayina: MPK G 01 N 29/04 (2006.01). № u 2013 00446; zayav. 14.01.2013; nadruk. 25.07.2013, Byul. № 14. 4 p.

11 Pozniakova M. E., Bagmet O. L. Issledovanie metrologicheskikh karakteristik elektromagnitnogo diametromera. Metodi ta zasobi nerujnivnogo kontrolyu promislovogo obladnannya: zbirnik tez dop. 3-yi nauk.-prakt. konf. studentiv i molodih uchenih (m. Ivano-Frankivsk, 29–30 listopada 2011 r.). Ivano-Frankivsk : IFNTUNG, 2011. P. 129–130.

12 Suchkov G. M., Pozniakova M. E. Sovershenstvovanie sredstv dlya ultrazvukovogo immersionnogo kontrolya zheleznodorozhnyh osey s povyshennoj chuvstvitelnostyu. Sovremennye tendencii razvitiya priborostroeniya: sb. tez. dokl. I Vseukr. nauch.-tehn. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenykh (g. Lugansk, 19–20 noyabrya 2012 g.). Lugansk: VUNU im. V. Dalya, 2012. P. 224–225.

13 Suchkov G. M., Pozniakova M. E., Desyatnichenko A. V., Nozdracheva E. L. Vybor pitaniya preobrazovatelej impulsnyh ultrazvukovykh sredstv kontrolya. Nerujnivnij kontrol ta tehnicna diagnostika: materiali VII nacion. nauk.-tehn. konf. (m. Kiyiv, 20–23 listopada 2012 r.). Kiyiv: UT NKTD, 2012. P. 123–128.

14 Suchkov G. M., Pozniakova M. E. Eksperimentalnye issledovaniya vysokochuvstvitelnogo ultrazvukovogo kontrolya eho-metodom. Radioelektronika i molodezh v XXI veke: mater. 17-go mezhdunar. molodezhnogo foruma (g. Harkov, 22–24 aprelya 2013 g.). Harkov: HNURE, 2013. P. 186–187.

15 Suchkov G. M., Globa S. N., Nozdracheva E. L., Homyak Yu. V., Desyatnichenko A. S., Hashina S. V., Pozniakova M. E. Novye razrabotki kafedry PMNK NTU «HPI» v oblasti nerazrushayushego kontrolya. Priladobuduvannya: stan i perspektivi: tezi dop. IH mizhnar. nauk.-tehn. ronf. (m. Kiyiv. 23–24 kvitnya 2013 r.). Kiyiv: NTUU «KPI», 2013. P. 202.

16 Suchkov G. M., Pozniakova M. E. Sposob vzbuzhdeniya preobrazovatelej ultrazvukovyh sredstv kontrolya. Vimiryuvannya, kontrol ta diagnostika v tehnicnih sistemah: zb. tez dop. II-yi mizhnar. nauk. konf. (m. Vinnicya, 29–30 zhovtnya 2013 r.). Vinnicya: VNTU, 2013. P. 95.

17 Suchkov G. M., Pozniakova M. Ye. Suchasni ustanovki kontrolyu zagotovok dlya zaliznichnih osey. Aktualnye problemy avtomatiki i priborostroeniya Ukrainy, mat. konf. (m. Harkiv, 12–13 grudnya 2013 g.). Harkiv: NTU «HPI», 2013. P. 59–62.

18 Suchkov G. M., Pozniakova M. Ye. Neobhidnist rozrobki sistemi avtomatichnogo kontrolyu zaliznichnih kolis i osey. Informacijni tehnologiyi: nauka, tehnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya (MicroCAD–2014): tezi dop. XXII mizhnar. nauk.-prakt. konf. (m. Harkiv, 15–17 zhovtnya 2014 r.). Harkiv: NTU «HPI», 2014. Ch.2. P. 183.

19 Pozniakova M. Ye., Suchkov G. M. Optimizaciya harakteristik impulsu strumu dlya zhivlennya p'yezoelektrichnogo peretvoryuvacha. Informacijni tehnologiyi: nauka, tehnika tehnologiya, osvita, zdorov'ya (MicroCAD-2016): tezi dop. XHIV mizhnar. nauk.-prakt. konf. (m. Harkiv, 18–20 travnya 2016 r.). Harkiv, NTU «HPI», 2016. Ch.2. P. 117.

20 Migushenko R. P., Suchkov G. M., Petrishev O. N., Pozniakova M. E., Toshoparan V. V. Kontrol kachestva izdelij s neploskoj poverhnostyu elektromanito-akusticheskimi preobrazovatelyami Aktualni problemi avtomatiki ta priladobuduvannya: tezi. dop. 3-yi Vseukr. nauk.-tehn. konf. (m. Harkiv, 8–9 grudnya 2016 r.). Harkiv: NTU «HPI», 2016. P. 108–109.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЗАЛІЗНИЧНИХ ОСЕЙ.....	13
1.1 Дефекти залізничних осей.....	13
1.1.1 Зношення.....	15
1.1.2 Термохімічні пошкодження.....	18
1.1.3 Механічні пошкодження, що викликають деформацію і порушення збірки	18
1.1.4 Порушення цілісності металу експлуатаційного походження.	19
1.1.5 Порушення цілісності металу технологічного походження.....	20
1.1.6 Руйнування у вигляді викришування металу і відколи окремих частин.....	21
1.1.7 Руйнування у вигляді зламу.....	22
1.2 Магнітопорошковий метод контролю.....	22
1.3 Вихрострумний метод контролю.....	24
1.4 Акустичний метод контролю.....	25
1.5 Особливості контролю залізничних осей в наш час.....	28
1.6 Висновки до розділу.....	41
1.7 Завдання для виконання дисертаційної роботи.....	42
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИСОКОЧУТЛИВОГО ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ У ЗАЛІЗНИЧНИХ ОСЯХ ТА ЗАГОТОВКАХ.....	43
2.1 Розрахунок ультразвукового тракту при контролі залізничної осі прямим перетворювачем.....	43
2.2 Визначення параметрів прямих перетворювачів для підвищення	

чутливості контролю залізничних осей	54
2.3 Розрахунок шару імерсійної рідини між перетворювачем та поверхнею осі на основі фізичної моделі	58
2.4 Раціональний вибір характеристик імпульсу напруги для живлення п'єзоелектричного перетворювача при імерсійному контролі.....	62
2.5 Висновки до розділу.....	73
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ІМЕРСІЙНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗАЛІЗНИЧНИХ ОСЕЙ.....	75
3.1 Зразки для проведення досліджень, які направлені на підвищення чутливості при імерсійному методі контролю	75
3.2 Методика виготовлення плоскодонних моделей дефектів в заготовці залізничної осі.....	77
3.3 Стенд для проведення досліджень з виявляємості моделей дефектів в заготовці залізничної осі	79
3.4 Розробка блоків для забезпечення технології імерсійного контролю залізничних осей.....	82
3.4.1 Попередній підсилювач стенду.....	83
3.4.2 Генератор зондуючих імпульсів з регулюємими параметрами для живлення ПЕП, збуджуючого ультразвукові імпульси.....	86
3.5 Розробка методу імерсійного ультразвукового контролю залізничних осей з підвищеною чутливістю.....	90
3.5.1 Розробка методики проведення експериментальних досліджень з виявляємості дефектів залізничних осей.....	91
3.5.2 Результати експериментальних досліджень з виявляємості моделей дефектів незначного розміру.....	91
3.6 Розрахунок вірогідності контролю нового методу при дефектоскопії заготовок залізничних осей.....	97
3.7 Основні технологічні положення проведення ультразвукового	

контролю залізничних осей та заготовок до них імерсійним методом.....	100
3.7.1 Порядок проведення ультразвукового неруйнівного контролю.....	100
3.7.2 Проведення УЗК структури металу осей.....	100
3.7.3 Проведення УЗК осей на відсутність внутрішніх дефектів...	102
3.7.4 Вимоги до стану поверхні осей.....	103
3.7.5 Вимоги до засобів контролю.....	103
3.7.6 Вимоги до організації робіт, кваліфікації та відповідальності персоналу.....	104
3.7.7 Підготовка до УЗК.....	105
3.7.8 УЗК структури металу осей дзеркально-тіньовим методом в радіальному напрямку.....	106
3.7.9 УЗК осей або заготовок на виявлення внутрішніх дефектів дефектів поперечними хвилями в осьовому напрямку.....	108
3.8 Напрямки наступних розробок і досліджень.....	111
3.9 Висновки до розділу.....	111
ВИСНОВКИ.....	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	116
ДОДАТОК А.....	133
ДОДАТОК Б.....	136
ДОДАТОК В.....	138