

## **Автоматизація процесу вихрострумowego контролю об'єктів складної геометричної форми**

### **Process Automation of Eddy Current Non-Destructive Testing of Objects with Complex Geometric Form**

**1. Номер державної реєстрації теми № 0119U101409**

**2. Науковий керівник:** д.т.н., проф. Куц Юрій Васильович, Kuts Y.

### **3. Суть розробки, основні результати (укр.)**

Розглянуто можливості автоматизації процесів під час проведення вихрострумowego неруйнівного контролю виробів машинобудування складної геометрії. Виконано огляд можливостей застосування сучасних методик опрацювання сигналів та засобів передачі даних. Метою даної роботи є спроба покращення методики вихрострумowego неруйнівного контролю об'єктів складної геометричної форми, що ґрунтується на застосуванні перетворення Гільберта для отримання характеристик сигналів з часовим представленням та послідуєчому виділенню інформативних характеристик сигналів перетворювача. При цьому з'являється можливість використання таких параметрів сигналу, як декремент та частота власних коливань, що дозволяє використовувати сучасні методики цифрової обробки і передачі цифрової інформації та поданні її у зручному вигляді для користувача.

Створено і досліджено експериментальний зразок вихрострумовой системи контролю виробів машинобудування складної геометрії. В основі системи лежать розроблені методи та засоби опрацювання вимірювальних сигналів перетворювача, опрацювання результатів вимірювання та представлення їх у зручній для подальшої інтерпретації формі. Так, наприклад, використання розробленої системи під час контролю виробів складної геометрії дозволяє в деяких випадках отримати відносну похибка визначення розміру тріщини за частотою інформаційного сигналу перетворювача не більше 0,2 %, а по амплітуді – 1,5 %.

**(англ.)**

The possibilities of automation of processes during the eddy current non-destructive testing of machine-building products with complex geometry are considered. It performed an overview of the possibilities of applying modern signal processing and data transmission methods. The purpose of this work is an attempt to improve the technique of eddy current non-destructive testing of objects with complex geometric. The technique is based on the application of the Hilbert transformation to obtain the characteristics of the signals with representation in the time domain and the subsequent feature extraction and selection of informative characteristics from the signals. At the same time, it becomes possible to use such parameters of the signal as the decrement and the frequency of natural oscillations, which allows the use of modern methods of digital processing and transmission of information (data) and its presentation in a convenient form for the user.

An experimental sample of the eddy current testing system for machine-building products

with complex geometry is created and studied. The system is based on developed methods and tools for processing the measuring probe signals, processing the measurement results, and presenting them in a form convenient for further interpretation. So, for example, the use of the developed system during the testing of products with a complex geometry allows in some cases to obtain a relative error in determining the size of the crack based on the frequency of the information signal of the transducer no more than 0.2 %, and on the amplitude — 1.5 %.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності**

Немає.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами**

Результати роботи відповідають сучасному світовому рівню у колі питань автоматизації процесів вихрострумowego контролю об'єктів складної геометричної форми. Виготовлено діючий зразок, який за своїми технічними характеристиками кращий за відомі аналоги, та реалізує запропоновану методику опрацювання сигналів перетворювачів.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Результати розробки актуально запровадити для покращення стану сучасного вітчизняного приладобудування. Дослідження розробленого макету автоматизованої системи вихрострумowego контролю дозволяє говорити про покращення технічних характеристик, збільшення можливостей контролю в порівнянні з подібними системами з традиційними засобами опрацювання та представлення інформації.

Просування результатів роботи на ринок збуту пропонується обговоренням результатів розробки на вітчизняних та міжнародних конференціях, що є рекламними заходами розробки, впровадженням розроблених теоретичних та практичних положень у практиці.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації)**

Використання результатів роботи є доцільним в провідних приладобудівних установах м. Києва, України тощо, що працюють в сфері авіабудування, промисловості, машинобудування, робототехніки, військової та аерокосмічної техніки.

Користувачами отриманих результатів можуть бути виробничі промислові підприємства, розробники приладів неруйнівного контролю різного призначення як вітчизняні, так і закордонні. Наприклад, можливим замовником цієї розробки може бути ДП «Тест».

#### **8. Стан готовності розробки**

Теоретичні розробки НДР актуально запровадити для покращення стану сучасного вітчизняного приладобудування. Розроблено зразок системи вихрострумowego контролю з використанням запропонованої методики опрацювання вимірювальних сигналів

перетворювачів.

## **9. Існуючі результати впровадження**

Основні положення роботи впроваджені у навчальний процес при підготовці нових навчальних курсів, лабораторних практикумів для студентів вузів при підготовці фахівців спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньо-професійних програм «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю і діагностики» та «Роботизовані і автоматизовані системи неруйнівного контролю та діагностики».

## **10. Назва організації, телефон, E-mail**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", приладобудівний факультет, кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю, 044-204-95-47, [asnk@kpi.ua](mailto:asnk@kpi.ua).

## **11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень**

1. Kuts Y. Research Of Measurement Results Uncertainty Of The Signals Parameters For Pulsed Eddy Current Testing Method / Kuts Y., Lysenko I., Dugin O. // Зб. тез доп. XVIII Міжнар. наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 15 - 16 травня 2019 р., м. Київ, ПБФ, «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2019. – С. 145-146.

2. Kuts Y. Application Of Circular Statistics During Analysis Of The Eddy Current Testing Signals / Y. Kuts, I. Lysenko, R. Kanosa, M. Redka // Зб. тез доп. XVIII Міжнар. наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 15 - 16 травня 2019 р., м. Київ, ПБФ, «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2019. – С. 164-165.

3. Kuts Yu. Optimization of analysis time of pulsed eddy current non-destructive testing signals / Y. Kuts, A. Protasov, I. Lysenko, A. Alexiev, O. Dugin // International Journal “NDT Days”, BSNDT: Bulgaria, 2019. –Volume 2, Issue 1. – pp. 58-63. ISSN: 2603-4018, eISSN: 2603-4646.

4. Куц Ю.В. Вплив вибору часу аналізу сигналів перетворювача на результати імпульсного вихрострумового контролю стаття Зб. доповідей Зі н.-техн. конф. з міжнародною участю «НК в контексті асоційованого членства України в ЄС – NDT-UA 2019» / Ю.В. Куц, А.Г. Протасов, Ю.Ю. Лисенко, О.Л. Дугін // Київ, Україна: УТ НКТД, 2019 – С. 38-41.

5. Куц Ю.В. Спосіб ультразвукового вимірювання товщини виробів / Ю.В. Куц, Лисенко Ю.Ю., Редька М.О. // Патент України на корисну модель № 136624. G01B17/00 (2006.01). – u201902545; Заявлено 15.03.2019; Опубл.27.08.2019, Бюл. № 16. – 4с.

6. Kuts Y. Research of the signal analysis time impact on pulsed eddy current testing results / Kuts Y., Lysenko I., Dugin O. // Зб. тез доп. XIX Міжнар. наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 13 - 14 травня 2020 р., м. Київ, ПБФ, «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2020. – С. 114-116.

7. Lysenko I. Advanced Signal Processing Methods for Inspection of Aircraft Structural Materials/ I. Lysenko, V. Eremenko, Y. Kuts, A. Protasov, V. Uchanin //Transactions of the Institute of Aviation, Institute of Aviation: Poland, 2020. – Volume 2 (259). – pp. 27-35. eISSN: 2545-2835, DOI: 10.2478/tar-2020-0008.

8. Petryk V.F. Smartphone-Based Automated Non-Destructive Testing Devices / Petryk V.F., Protasov A.G., Galagan R.M., Muraviov A.V., Lysenko I.I. // Devices and Methods of Measurements. – 2020, – 11(4), pp. 272-278. <https://doi.org/10.21122/2220-9506-2020-11-4-272-278>

9. Kuts Y. Methodology for Measuring Phase Shifts of Signals Using Discrete Hilbert Transform / Y. Kuts, O. Kochan, I. Lysenko, R. Huminilovych // 2021 13th International Conference on Measurement. Conf. proc. - Smolenice, Slovakia. – 2021. – pp.18 – 21.

10. Протасов А. Г. Технології теплового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник / А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 133 с.

11. Куц Ю.В. Автоматизація процесів опрацювання сигналів вихрострімового контролю конструкційних матеріалів / Куц Ю.В., Лисенко Ю.Ю. // Зб. тез доп. XX Міжнар. наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 18 - 19 травня 2021 р., м. Київ, ПБФ, “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – 2021. – С. 169-171.

12. Куц Ю. В. Технології електромагнітного неруйнівного контролю: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 63 с.

13. Lysenko I. Enhanced Feature Extraction Algorithms Using Oscillatory-Mode Pulsed Eddy Current Techniques for Aircraft Structure Inspection / I. Lysenko, Y. Kuts, A. Protasov, V. Uchanin, M. Redka // Transactions on Aerospace Research, Institute of Aviation: Poland, 2021. – Volume 3 (264). – pp.1-16. eISSN: 2545-2835, DOI:10.2478/tar-2021-0013.

14. Куц Ю.В. Застосування перетворення Гільберта для опрацювання сигналів у вимірювальному експерименті / Куц Ю.В., Щербак Л.М., Лисенко Ю.Ю. // Матеріали XII Міжнар. онлайн-конф.: Проблеми теплофізики та теплоенергетики (26-27 жовтня 2021 р.). – Київ : Симоненко О. І., 2021. – С. 98-99.

15. Куц Ю.В. Застосування перетворення Гільберта для аналізу сигналів автоматизованого вихрострумового контролю. Частина 1. Теоретичні аспекти використання перетворення Гільберта у вихрострумовому контролі / Ю.В. Куц, В.М. Учанін, Ю.Ю. Лисенко, О.Е. Левченко // Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2021, №3, стор. 7-13.

16. Куц Ю.В. Застосування перетворення Гільберта для аналізу сигналів автоматизованого вихрострумового контролю. Частина 2. Отримання вторинних діагностичних ознак та приклади реалізації / Куц, Ю.В., Учанін, В.М., Лисенко, Ю.Ю. Петрик, В.Ф., Левченко, О.Е. та Богдан, Г.А. // Технічна діагностика та неруйнівний контроль, 2021, №4, стор. 11-18.

17. Куц Ю.В. Дослідження коливального режиму в системах автоматизованого

імпульсного вихрострумowego контролю / Куц, Ю.В., Учанін, В.М., Лисенко, Ю.Ю. та Петрик, В.Ф. // Відбір і обробка інформації, 2021, №49 (125), стор. 9-18.

18. Lysenko I. Using Signal Phase in Computerized Systems of Non-destructive Testing / Zhong Mei, Yurii Kuts, Orest Kochan, Iuliia Lysenko, Levchenko Oleksandr, Halyna Vlahk-Vyhrynovska // Measurement Science Review, 22 (1), 2022, pp. 32-43.

19. Муравйов О.В. Автоматизація методу термографічної діагностики патологій організму людини / Муравйов О.В., Петрик В.Ф., Богдан Г.А., Наконечна А.В. // Таврійський науковий вісник № 1, 2022, С. 47-53.

20. Куц Ю.В. Застосування фазових характеристик сигналу в автоматизованій вихрострумовій дефектокопії / М.О. Редька, Ю.В. Куц, Є.В. Шаповалов, В.М. Учанін, Ю.Ю. Лисенко, О.Д. Близнюк // Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2022, №1, стор. 45-53.

21. Лисенко Ю. Ю. Імпульсний вихрострумовий контроль із застосуванням багатоелементних перетворювачів / Лисенко Ю. Ю., Куц Ю. В., Левченко О. Е. // Зб. тез доп. XXI Міжнар. наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 17 - 18 травня 2022 р., м. Київ, ПБФ, “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – 2022. – С. 207-209.

22. Лисенко Ю.Ю. Використання вейвлет перетворення в аналізі сигналів автоматизованого вихрострумowego неруйнівного контролю / Лисенко Ю.Ю., Куц Ю.В., Учанін В.М. // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2022). 15-та міжнар. наук.-практ. конф. 17-18 травня 2022 р., Київ, Україна. – К.: НАУ, 2022. – С. 101-102.