



офіційного опонента на дисертацію Герасимова Володимира Володимировича "Інформаційна технологія вихорострумової дефектоскопії в умовах дії високоінтенсивних завад складної структури", представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 — інформаційні технології

### Актуальність теми

Актуальність теми обумовлена важливістю підвищення ефективності неруйнівного контролю виробів і конструкцій машинобудування, авіакосмічного комплексу, транспортного господарства. Для дефектоскопії тріщин в металевих та електропровідних композитних матеріалах найбільш оптимальним є вихорострумовий метод контролю. Дефектоскопія композитних матеріалів значно ускладнюється внаслідок неоднорідності їх структури, наявності складного, з різним ступенем стохастичності, рельєфу поверхні виробів. Сканування такої поверхні вихорострумовими перетворювачами в ручному режимі супроводжується неконтрольованими змінами ефективного зазору, перекосами перетворювача. Безконтактне сканування поверхні виробів в автоматичному режимі у ряді випадків обмежується складною формою виробів, неідеальністю форми, биттями у вузлах обладнання для сканування. Тому, для автоматичної корекції впливу факторів і завад, які заважають підвищити чутливість дефектоскопії, актуальною є розробка інформаційної технології дефектоскопії, яка на основі проведених автором досліджень створена в дисертаційній роботі.

Тема дисертаційної роботи Герасимова В. В. є актуальною.

Дисертація виконана в Дніпропетровському національному університеті імені Олеся Гончара відповідно до плану його науково-дослідних робіт. Автор приймав активну участь у виконанні п'яти держбюджетних тем, присвячених дослідженню і розробці інформаційних аспектів дефектоскопії, що виконувалися

лись з 2000 до 2017 року.

### **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій**

Основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, є обґрунтованими. Їх обґрунтованість та достовірність підтверджуються коректністю постановки задач; коректним застосуванням чисельного моделювання з використанням комп'ютерних технологій, проведеного в часовій та спектральній області з використанням різних базисів; зіставленням одержаних результатів з проведених експериментів та літературними даними; впровадженням програмно-інформативних засобів та методики статистичної обробки даних.

### **Структура та основний зміст**

Дисертаційна робота містить вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел з 161 найменування, 3 додатки. Загальний обсяг дисертаційної роботи 198 сторінок, обсяг основного тексту 160 сторінок, рисунків 77, таблиць 20.

**У вступі** міститься обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, наукова новизна, практичне значення отриманих результатів й інші дані, що регламентовані вимогами МОН України до структури дисертаційної роботи.

**У першому розділі** проведено аналіз та оцінку сучасного стану інформаційних технологій неруйнівного контролю виробів та матеріалів, зокрема вихорострумової дефектоскопії металевих та електропровідних композитних матеріалів. Розглянуто проблеми та труднощі, обумовлені особливостями технологічного процесу виготовлення таких матеріалів та складним рельєфом їх поверхні. Виконано огляд сучасних методів і засобів обробки сигналів дефектів. На основі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність розробки спеціалізованої інформаційної технології. Сформульовані висновки до першого розділу.

**У другому розділі** наведені результати експериментального дослідження впливу змін просторового розташування вихорострумового перетворювача від-

носно поверхні досліджуваного матеріалу на складові імпедансу датчика. Отримані сигнали імпульсного типу "відхилення — повернення перетворювача у початкове положення" апроксимовані квадратичним поліномом і для подальших досліджень запропоновано ці сигнали моделювати параболою. Шляхом проведення обчислювальних експериментів вивчено вплив змін просторового розташування датчика на розподіл щільності наведеного в матеріалі вихорового струму, вплив на параметри і форму модуляційного імпульсу поверхневої тріщини геометричних розмірів, частоти зондуючого поля датчика і електричної провідності матеріалу. В результаті уточнено модель модуляційного імпульсу дефекту. Проведено оцінку шуму, що виникає при скануванні шорсткої поверхні виробів з композитних матеріалів, та форму завад, що виникають при динамічному безконтактному контролі металевих виробів. Підтверджено правомірність застосування у якості моделі шуму, обумовленого шорсткістю поверхні матеріалу, білий гаусовий шум. Сформульовані висновки до другого розділу.

**У третьому розділі** викладено результати розробки методів і алгоритмів цифрової фільтрації на основі статистичної і кореляційної обробки сигналів при скануванні в режимі реального часу.

Проведено моделювання процесу цифрової фільтрації при вихорострумовій дефектоскопії поверхневих тріщин у композитних матеріалах в умовах високоінтенсивного шуму, обумовленого шорсткістю поверхні матеріалу. Згладжування даних виконувалось поліномами першого або другого ступеня. Після такої обробки відношення сигнал/шум збільшувалось приблизно в три рази. Після наступного обчислення кореляційних функцій відношення сигнал/шум збільшувалось ще приблизно в три рази. Проведено дослідження різних варіантів чергування згладжування і кореляційної обробки даних. В результаті запропоновано комбінаційні швидкодіючі алгоритми обробки сигналів перетворювачів, при використанні яких при фіксуванні порядку 70 % дефектів відношення кількості вірних сигналів дефектів до кількості помилкових становить кілька десятків і більше.

Проведено статистичні і кореляційні дослідження коротких вибірок, що представляють собою суміш модуляційного імпульсу і шуму, обумовленого шорсткістю поверхні. Підтверджено гіпотезу про однорідність вибірових коефіцієнтів кореляції по схилах модуляційного імпульсу, що особливо істотно для використовуваних вибірок малої довжини. Сформульовані висновки до третього розділу.

**У четвертому розділі** детально викладено результати розробки методів ідентифікації сигналів дефектів в умовах дії високоінтенсивних завад з використанням спектральних перетворень в різних базисах.

В результаті аналізу спектрів модуляційного імпульсу поверхневої тріщини (дефекту) і сигналу перекосу вихорострумowego перетворювача (завади) запропоновано для їх ідентифікації використовувати критерій, що характеризує розподіл потужності сигналу в діапазоні нормованих частот до 0.1, а саме для визначення типу сигналу за його спектром було запропоновано використання спектрального критерію ідентифікації у вигляді відношення суми гармонік з 6-ї до 14-ї до суми перших 14 гармонік. З використанням теорії статистичних гіпотез і критерію Неймана-Пірсона були отримані залежності імовірності виявлення дефекту від імовірності помилкової тривоги при різних рівнях шуму і різній формі модуляційного імпульсу.

В результаті аналізу вейвлет-спектрів сигналів дефектів і завад запропоновано для їх ідентифікації використовувати у якості спектрального критерію ідентифікації інтегральне значення коефіцієнтів вейвлет-розкладання при середніх значеннях зсуву і невеликих значеннях масштабу. Для цього спектрального критерію ідентифікації також були отримані з допомогою теорії статистичних гіпотез і критерію Неймана-Пірсона залежності імовірності виявлення дефекту від імовірності помилкової тривоги при різних рівнях шуму і різній формі модуляційного імпульсу.

Проведено порівняння ефективності розпізнавання сигналу поверхневої тріщини при фіксованій імовірності помилкової тривоги з використанням спек-

тральних критеріїв ідентифікації в обох базисах Фур'є і вейвлетів. Метод неперервного вейвлет-перетворення показав в цілому кращі результати. Але слід враховувати його більшу ресурсоемність і зону нечутливості — нездатність відрізнити від сигналу завади сигнал поверхневої тріщини певних геометричних розмірів.

Сформульовані висновки до четвертого розділу.

**У п'ятому розділі** запропоновано удосконалення спектрального, в базисі Фур'є, методу ідентифікації і на основі проведених досліджень розроблено інформаційну технологію вихорострумової дефектоскопії.

Для покращення характеристик спектрального, в базисі Фур'є, методу ідентифікації сигналів дефектів на фоні дії квазідетермінованих завад та високоінтенсивного шуму було запропоновано використання вікна Гауса, що привело до суттєвого покращення розпізнавання сигналів дефектів і завад, особливо у випадку коротких тріщин. З урахуванням ефективності відокремлення сигналів дефектів і завад визначено оптимальну ширину вікна даних, які використовуються для обчислення спектрального критерію ідентифікації.

З метою збільшення ефективності розпізнавання сигналів дефектів певних розмірів запропоновано ще один спектральний критерій ідентифікації, який в цілому забезпечує кращі характеристики розпізнавання. Тільки в області малих амплітуд двомодових модуляційних імпульсів, що відповідають поверхневим тріщинам з малими довжиною і розкриттям, кращі результати залишаються за попереднім варіантом спектрального критерію ідентифікації.

В результаті проведених досліджень було розроблено інформаційну технологію, яка об'єднує досліджені моделі сигналів, алгоритми та методи їх обробки. До її складу входять комбінаційні швидкодіючі алгоритми обробки сигналів вихорострумових перетворювачів (згладжування і кореляційна обробка), які виконують попередню обробку. Якщо є підозра на наявність дефекту — обчислюються спектральні критерії ідентифікації в обох базисах (Фур'є і вейвлетів), за допомогою яких приймається остаточне рішення про наявність або відсут-

ність дефекту, оцінюються його розміри та імовірнісні характеристики.

Сформульовані висновки до п'ятого розділу.

Представлена дисертація є завершеною науково-дослідною роботою. Автореферат дисертації ідентичний роботі, містить основні положення, висновки і рекомендації, наведені в дисертації.

### **Наукова новизна результатів, отриманих у дисертаційній роботі**

У дисертаційній роботі розв'язане важливе наукове завдання підвищення ефективності неруйнівного контролю та технічної діагностики за рахунок створення інформаційної технології вихорострумової дефектоскопії в умовах дії високоінтенсивних завад складної структури. При цьому:

— вперше запропоновані спектральні, в базисах Фур'є і вейвлетів, методи ідентифікації сигналів дефектів;

— вперше з використанням запропонованих спектральних методів ідентифікації і теорії статистичних випробувань проведено імовірнісний аналіз процесу ідентифікації сигналів дефектів при різних значеннях імовірності помилкової тривоги і різних інтенсивностях шуму;

— шляхом моделювання процесу сканування поверхні моношару з джгутів волокон армування визначено модель шуму, обумовленого шорсткістю поверхні композитних матеріалів;

— на базі статистичної і кореляційної обробки інформації, одержаної при моделюванні процесу сканування дефектної поверхні матеріалу, удосконалено швидкодіючі комбіновані методи обробки, що є оптимальними за критерієм сигнал/шум для різних варіантів режимів сканування;

— вперше запропоновано інформаційну технологію, що поєднує розроблені методи обробки дефектоскопічної інформації як в часовій, так і в спектральній області і забезпечує імовірнісну оптимізацію процесу ідентифікації дефектів в умовах дії квазідетермінованих завад та високоінтенсивного шуму.

Новизна отриманих результатів підтверджується достатньою кількістю публікацій в наукових виданнях та тезах конференцій.

## **Практична цінність та ступінь впровадження результатів**

Одержані теоретичні і експериментальні результати можуть бути використані при розробці апаратури, відповідного програмного забезпечення, методик дефектоскопії та дефектометрії поверхневих тріщин у виробках машинобудування, авіакосмічного комплексу, транспортної промисловості. Використання розробленої автором дисертації інформаційної технології в процесі дефектоскопії в реальному режимі часу дозволяє без зменшення продуктивності контролю підвищити імовірність виявлення поверхневих дефектів у виробках зі значною шорсткістю поверхні, неідеальністю форми, в умовах неконтрольованих відхилень від заданої траєкторії сканування.

В додатках дисертації наведені акти та довідки впровадження і свідоцтва про реєстрацію авторського права на розроблені комп'ютерні програми.

**Загальна оцінка дисертаційної роботи.** Дисертація являє собою завершену наукову працю, в якій отримані нові, науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують наукову задачу створення інформаційної технології імовірнісної ідентифікації сигналів вихорострумової дефектоскопії в умовах дії високоінтенсивних завад складної структури, яка має суттєве значення для галузі інформаційних технологій.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 — "Інформаційні технології", зокрема за пунктом: "Розроблення інформаційних технологій для побудови та впровадження: автоматизованих систем технічного діагностування, геоінформаційних систем різного призначення та комп'ютерних систем електронного бізнесу".

Основні результати дисертаційної роботи викладено у 27 наукових працях, у тому числі: 21 стаття у наукових та фахових виданнях, 11 з яких цитуються у міжнародних наукометричних базах (Scopus, IndexCopernicus, GoogleScholar та ін.); 6 тез доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій.

## **Зауваження**

1. Автор обрав для досліджень класичний тип датчика. Є ряд інших, більш складних за конструкцією. Було б цікаво і корисно отримати дані і з їх допомогою.
2. Створення комплексної інформаційної технології готує базу для її модифікації у вигляді конкретних застосувань в залежності від умов експлуатації і типів (параметрів) композитних матеріалів. Однак автор залишив це питання без уваги.
3. У другому розділі дисертації вказано, що при моделюванні процесу сканування ділянок поверхні композитного матеріалу, діаметри джгутів волокон, як випадкові величини, змінювались за гаусовим і рівномірним законами. Було б доцільно провести дослідження з іншими законами розподілу.
4. У третьому розділі при розробці алгоритмів цифрової фільтрації автор досліджує процедури лінійного та параболічного згладжування відліків, одержаних вздовж траєкторії сканування. Представляє інтерес використання більш складних механізмів згладжування.
5. Незрозуміло, як автор визначав ресурсоємність спектральних алгоритмів ідентифікації сигналів дефектів, основаних на Фур'є та вейвлет-перетвореннях (розділ 4 дисертації).
6. Потрібно більш докладне обґрунтування вибору віконних функцій Гауса та Хемінга (розділ 5 дисертації).

Однак, наведені зауваження мають окремий характер, не знижують високий науковий рівень дисертаційної роботи і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

### **Висновок**

Вважаю, що дисертаційна робота Герасимова Володимира Володимировича "Інформаційна технологія вихорострумової дефектоскопії в умовах дії високоінтенсивних завад складної структури" відповідає існуючим в Україні вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою



вою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р. та № 1159 від 20 грудня 2015 р. Автордисертації Герасимов Володимир Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 — інформаційні технології.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник,  
завідувач кафедри інформаційних  
систем та технологій  
Університету митної справи та  
фінансів (м. Дніпро),

А. О. Якунін

Підпис доктора технічних наук, старшого наукового співробітника А. О. Якуніна засвідчую.

*Учений секретар*



*Л.М. Торує*