

УДК 621.317 (043.2)

МЕТОДИКА СТАТИСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДЕФЕКТНОСТІ ВИРОБІВ З КОМПОЗИТІВ

В. С. Єременко, канд. техн. наук, проф., *С. Р. Сунетчієва*

Національний авіаційний університет
sevilya_sunetchi@ukr.net

У статті описано методику опрацювання результатів імпедансного неруйнівного контролю виробів з композиційних матеріалів авіаційного призначення, яка ґрунтується на ідентифікації дефектності виробів за допомогою критерію згоди законів розподілу значень інформативних параметрів контролю у випадках, коли закон розподілу вихідних даних відрізняється від нормального. Наведено результати експериментальних досліджень розробленої методики.

Ключові слова: неруйнівний контроль; композиційні матеріали; апроксимація законів розподілу.

This article describes the method of result processing of non-destructive impedance control Composite products aviation destination, based on the identification of defects in products using the criterion of consent laws informative value distribution control parameters in cases where the law of distribution of the source data is different from normal. The results of experimental studies of the developed technique.

Keywords: nondestructive testing; approximation of the laws of distribution; composite materials.

Вступ

Вироби з композиційних матеріалів, які широко використовуються в авіабудуванні, на відміну від виробів з металів, формуються з первинної сировини одночасно з формуванням самих матеріалів. Через складність технології та значні фізико-механічні відмінності окремих складових такі елементи конструкції характеризуються широкою номенклатурою можливих дефектів.

Одним з найпоширених методів контролю виробів з композиційних матеріалів є акустичний імпедансний метод. Він ґрунтується на оцінці відмінностей значень механічного імпедансу в дефектних та бездефектних зонах контрольованих багат шарових конструкцій, що визначаються з поверхні виробу за допомогою збудження в композиті згинних коливань низьких частот [1]. На сьогодні в авіабудівній галузі імпульсний імпедансний метод займає частку в 90 % при контролі стільникових конструкцій та елементів, виконаних із шаруватих пластиків.

Найбільш поширеними інформаційними параметрами цього методу контролю є амплітуда, кумулятивна фаза та частота інформативного сигналу.

При імпульсному імпедансному контролі рішення про наявність пошкодженої ділянки у контрольованій області приймається у випадку перевищення граничного значення для одного

або декількох інформативних параметрів [1], яке, у свою чергу, встановлюється після налаштування дефектоскопа на стандартних зразках з нанесеними моделями дефектів. Стандартні зразки виробляються із матеріалів, аналогічних до тих, що використовуються у контрольованих виробках, вони мають ту саму товщину і шорсткість поверхні.

Інформаційний сигнал первинного перетворювача, що являє собою експоненційно затухаючий радіоімпульс, за допомогою аналогоцифрового перетворювача конвертується у послідовність дискретних відліків S_k . Дискретні реалізації інформаційного сигналу можуть піддаватися впливу завад, що мають мультиплікативні m_k та адитивні n_k складові. Таким чином, результат перетворення можна записати у вигляді:

$$x_k = m_k \hat{S}_k + n_k.$$

Водночас відліки сигналу мають у своєму складі як детерміновану S_k , так і випадкову ΔS_k компоненти, кожна з яких несе в собі інформацію щодо фізико-механічних характеристик контрольованої зони.

Наявність випадкової складової сигналу ΔS_k може бути зумовлена великою кількістю факторів. Насамперед на неї впливають неконтрольовані відхилення фізико-механічних характеристик сканованої зони від деяких середніх значень.

Композиційні матеріали характеризуються значною неоднорідністю структури, що може залежати як від складових матеріалу, так і від конструкції самого виробу. Наприклад, при контролі стільникових панелей можлива періодична зміна жорсткості: вона може набувати максимального значення в зонах, що відповідають стінкам стільника та мінімального в області її середини. Крім того, значний вплив на випадкову складову мають так звані фрикційні шуми.

Хоча фрикційні шуми мають широкий спектр, що залежить від характеристик перетворювача та характеру шорсткості поверхні контрольованого виробу, їх вплив на результати може бути зменшено як конструктивними методами — зміною радіуса кривизни контактної поверхні перетворювача, так і на етапі обробки інформації — шляхом застосування цифрових чи аналогових фільтрів для пригнічення відповідних ділянок у спектрі сигналу перетворювача.

Вплив випадкових складових на інформативний параметр у випадку, коли вирішальне правило базується виключно на порівнянні із деяким пороговим значенням, може призвести до ситуацій, коли бездефектна область контролю буде помилково прийнята за дефектну, або навпаки, дефект буде пропущено.

У випадку, коли на інформативний параметр (ІП), за змінами якого приймається рішення про наявність дефекту, впливає випадкова величина, рішення про наявність дефекту може бути прийняте на основі статистичних критеріїв, що ґрунтуються на аналізі інформації про закони розподілу вибірок ІП, отриманих у апріорно дефектних та бездефектних областях виробу, а також попередньо встановлені значення похибок першого та другого роду. До таких статистичних критеріїв відносяться метод Неймана–Пірсона, метод максимальної правдоподібності, метод мінімаксу та ін. [2].

Постановка проблеми

Основною проблемою під час застосування статистичних критеріїв для прийняття рішення є припущення, що закон розподілу інформативного параметра відомий та описаний аналітично. Зазвичай приймається, що вхідні дані мають нормальний розподіл, однак це не завжди виконується при контролі виробів з композиційних матеріалів. Зазначена ситуація, в першу чергу, пов'язана з високим ступенем неоднорідності структури композиту, у випадку, якщо об'єкт контролю являє собою панель зі стільниковим заповнювачем: ребро стільника матиме порівняно більшу жорсткість ніж її центр, а при використанні пінопластового заповнювача можливе

непрогнозоване виникнення зон із неоднаковими щільностями, що також впливає на жорсткість контрольованої зони та на вихідні значення інформативних параметрів.

Наявність або відсутність дефекту в контрольованій області також призводить до зміни закону розподілу інформативного параметра, що дає можливість використовувати його характеристики як інформативні параметри за якими приймаються діагностичні рішення [3; 4].

Розв'язання поставленої задачі

Для побудови вирішальних правил дефектоскопії можна застосувати гістограмний метод під час перевірки гіпотези про згоду досліджуваних розподілів. Він є найефективнішим у випадку, коли значення діагностичних параметрів, які відповідають різним станам об'єкта контролю, суттєво не відрізняються, не змінюються також математичне сподівання і дисперсія, а змінюється тільки форма закону розподілу. Це унеможливає побудову порогових вирішальних правил, основаних на порівнянні значень вибірових статистик інформативних параметрів, тому що при достатньо великій дисперсії цих значень виникатимуть суттєві похибки першого та другого роду. Вимога до застосування цього методу для розпізнавання станів контрольованого виробу — це досить великий об'єм досліджуваних вибірок ($n > 100$), необхідний для побудови гістограм емпіричних даних.

Гістограмний метод також можна застосувати для побудови безеталонного вирішального правила для порівняння між собою вибірок з дефектної і бездефектної зон.

Відмінність характеристик інформативних параметрів можна оцінити за допомогою аналізу статистик критеріїв згоди законів розподілу. Найпоширенішим критерієм порівняння є критерій χ^2 Пірсона. Сутність критерію полягає в тому, що перевіряються дві гіпотези: H_0 — про згоду законів розподілу, тоді проконтрольована зона є бездефектною, та альтернативна гіпотеза: H_1 — про суттєві відмінності законів, тоді зона має дефект.

Для перевірки можливості використання запропонованого методу порівняння законів розподілів інформативних сигналів на контрольованих ділянках дослідження композиційних панелей зі штучно нанесеними дефектами за допомогою стандартного датчика імпедансного дефектоскопа. Зразок №1 (рис. 1, а) являв собою стільникову панель завтовшки 20 мм із заповнювачем типу ПСП-1-2,5 з обшивкою на основі вуглепластику ЕЛУР-П-0,1 та клею ВК 41.

Дефект моделювався зоною порушення зв'язку між обшивкою та стільниковим заповнювачем. Обшивка з боку дефектної області не мала візуальних ознак пошкодження, з протилежного — була відновлена шляхом наклеювання фрагменту вуглепластику аналогічного типу. За допомогою програмного забезпечення LabVIEW та Mathcad було проведено обробку отриманих сигналів з метою виділення інформативних параметрів: амплітуди, кумулятивної фази та частоти сигналу.

Також за отриманими даними було побудовано апроксимації законів розподілу та розраховано ста-

тистику χ^2 . У табл. 1 можна візуально прослідкувати різницю між законами розподілу інформативного параметра амплітуди сигналів, отриманих на зазначених лініях сканування, вибраних з різних зон композиту. Також в експерименті було проведено порівняння за критерієм χ^2 законів розподілів інформативного параметра, отриманих на лініях сканування. За отриманими оцінками степеня відмінності щільності розподілів, які наведено у табл. 2, можна ідентифікувати зони дефекту експериментального зразка композиційного матеріалу.

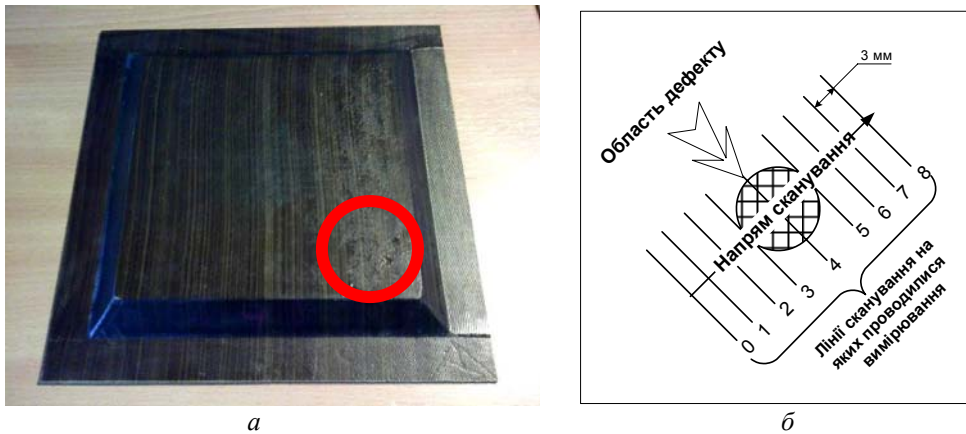
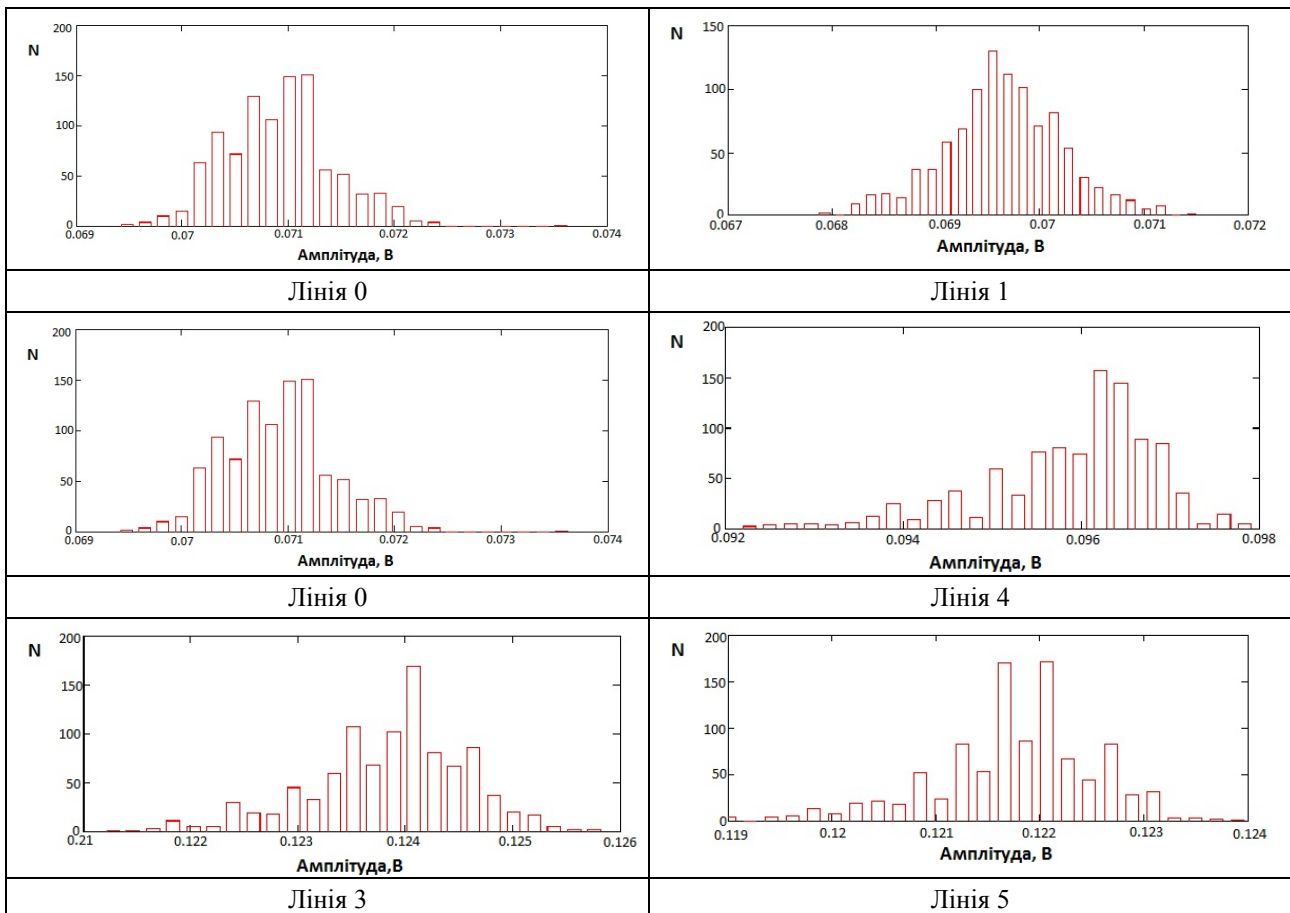


Рис. 1. Зовнішній вигляд зразка (а) та схема сканування (б)

Таблиця 1

Порівняльна таблиця отриманих законів розподілу на різних лініях сканування



Таблиця 2

Порівняльна таблиця ліній сканування інформативного параметра – амплітуда за критерієм χ^2

Лінії сканування	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	1,219	2,774	546,478	145,686	512,703	15,907	0,21	53,911
1	1,219	0	0,34	585,819	169,343	551,162	8,108	2,367	38,163
2	2,774	0,34	0	606,039	181,815	570,939	5,239	4,334	30,94
3	546,478	585,819	606,039	0	212,502	0,87	1309	905,637	1666
4	145,686	169,343	181,815	212,502	0	143,162	344,984	179,116	505,474
5	512,703	551,162	570,939	0,87	143,162	0	1219	834,484	1559
6	15,907	8,108	5,239	1309	344,984	1219	0	17,977	10,741
7	0,21	2,367	4,334	905,637	179,116	834,484	17,977	0	61,537
8	53,911	38,163	30,94	1666	505,474	1559	10,741	61,537	0

З отриманих даних видно, що залежно від дефекту змінюється його закон розподілу. Тобто, для ідентифікації дефекту можна використовувати критерій згоди законів розподілу, який базується на оцінці χ^2 .

Висновки

Запропонована методика, що ґрунтується на аналізі законів розподілу інформаційних ознак на контрольованих ділянках, дає можливість більш точно провести контроль дефектності виробів з композиційних матеріалів, особливо у тих випадках, коли самі інформаційні ознаки не зазнають істотних змін при переході від бездефектної зони до дефектної.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ланге Ю. В. Акустические низкочастотные методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций / Ю. В. Ланге. — М. : Машиностроение, 1991 — 272 с.

2. Кендалл М. Теория распределений / М. Кендалл, А. Стюарт; пер. с англ. В. В. Сазонова, А. Н. Ширяева; под ред. А. Н. Колмогорова. — М. : Наука, 1966. — 588 с.

3. Сунетчієва С. Р. Апроксимація законів розподілу інформативних параметрів при неруйнівному контролі композиційних матеріалів / С. Р. Сунетчієва, Є. Ф. Суслів // Східно-Європейський журнал передових технологій «Радіотехнічні інформаційні засоби». 6/11 (60) 2012. — Х. : Технологический центр, 2012. — С. 45–47.

4. Сунетчієва С. Р. Дослідження розподілів амплітуд інформаційних сигналів імпульсних імпульсних дефектоскопів при контролі стільникових панелей / С. Р. Сунетчієва, В. С. Єременко, Є. Ф. Суслів, О. В. Самойліченко // Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Електромагнітні та акустичні методи напруженого контролю матеріалів та виробів Леотест-2012». — Л. : Центр «ЛЕОТЕСТ-МЕДІУМ», 2012. — С. 50–55.

Стаття надійшла до редакції 27.02.2014