

*У статті описано методику опрацювання результатів імпедансного контролю виробів з композиційних матеріалів авіаційного призначення. Розглянуто спосіб апроксимації функцій 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*

*В статье описана методика обработки результатов импедансного контроля изделий из композиционных материалов авиационного назначения. Рассмотрен способ аппроксимации функций распределения значений информативных параметров контроля, в случаях когда закон распределения исходных данных отличается от нормального. Приведены результаты экспериментальных исследований и разработанной методики*

*Ключевые слова: неразрушающий контроль, композиционные материалы, аппроксимация законов распределения*

# АПРОКСИМАЦІЯ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

**С.Р. Сунетчієва\***

Контактний тел.: 095-102-29-67

E-mail: sevilya\_sunetchi@ukr.net

**Є.Ф. Сулов**

Асистент, аспірант\*

Контактний тел.: 066-741-63-93

E-mail: suslovet@gmail.com

\*Кафедра інформаційно-вимірювальних систем  
Національний авіаційний університет  
пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03680

## 1. Вступ

В сучасному авіабудуванні одним з найбільш поширених методів контролю елементів конструкцій виконаних з композиційних матеріалів є акустичний імпедансний метод. Він базується на оцінці відмінностей значень механічного імпедансу в дефектних та бездефектних зонах контрольованих багатшарових конструкцій, що визначаються з поверхні виробу за допомогою збудження в ньому згинних коливань низьких частот.

## 2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

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 з'являються випадкові складові інформаційних сигналів обумовлені природними неоднорідностями структури композиційного матеріалу, змінами товщини виробу, що не можуть бути проконтрольовані при виробництві, а також іншими факторами. Тому постає задача визначення таких ділянок або дефектів за допомогою методів неруйнівного контролю.

Найбільш широко уживаним інформативним параметром в імпульсних імпедансних дефектоскопах, є амплітуда сигналу перетворювача, яка в залежності від наявності дефекту та конструкції

перетворювача може збільшуватися або, навпаки, зменшуватися.

На інформативний параметр, за змінами якого приймається рішення про наявність дефекту, впливають випадкові складові зумовлені фрикційними шумами, неоднорідністю структури композиції, електричними завадами дефектоскопу, тому рішення про наявність дефекту повинно прийматись на основі статистичних критеріїв, що базуються на інформації про закони розподілу вибірок інформативних параметрів отриманих у апріорно дефектних та бездефектних областях виробу, а також враховувати заданий рівень вірогідності контролю. До таких статистичних критеріїв відносяться метод Неймана-Пірсона, метод максимальної правдоподібності, метод мінімаксу, та ін.

В багатьох літературних джерелах приймається гіпотеза про те, що отримані вибірки розподіляються за гауссівським законом розподілу, але це може призвести до неправильного визначення порогового значення, оскільки в залежності від типу дефекту можлива зміна типу закону розподілу. Тому запропоновано таку методику для опрацювання даних, яка не залежить від закону розподілу, використовуючи один з найбільш поширених методів контролю, як акустичний імпедансний метод.

## 3. Цілі та поставлені задачі

Метою роботи є підвищення вірогідності контролю за рахунок більш конкретного оцінювання законів

розподілу інформативних ознак при неруйнівному контролі. Задачею роботи є розробка методики оцінювання законів розподілу діагностичних ознак та побудови апроксимуючих рівнянь.

**4. Експериментальні дані та їх обробка**

Існує декілька підходів до вирішення задачі апроксимації законів розподілу експериментальних даних. Перший з них, запропонований Пірсоном, базується на знаходженні сімейства кривих, які дозволяють задовільно представити розподіли, що зустрічаються на практиці. Другий підхід, запропонований Брунсом, Грамом, Шарльє і Еджвортом заснований на представленні вибраної щільності розподілу у вигляді ряду від похідних нормальної щільності. Третій підхід запропонований Еджвортом полягає у знаходженні такої функції від вихідних варіант, розподіл якої, хоча б наближено, можна було б виразити через відомий розподіл [2].

Порівняно простий у реалізації та досить точний метод отримання аналітичного запису законів розподілу полягає у їх апроксимації за допомогою кривих Грама-Шарльє, коли розподіл може бути представлений у вигляді полінома

$$f_A(x) = f(x) - \frac{r_3}{6} f^{(3)}(x) + \frac{r_4 - 3}{24} f^{(4)} - \frac{r_5 - 10r_3}{120} f^{(5)}(x) \dots, \quad (1)$$

де

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}, \quad (2)$$

$f^{(n)}(x)$  - n - на похідна від  $f(x)$  по  $x$  :

$r_n$  - відношення центральних моментів відповідних порядків до середньоквадратичних відхилень вихідних вибірок.

Для оцінки можливості використання вибраного підходу для апроксимації законів розподілу інформативного параметру було проведено експерименти на зразках композиційних панелей із штучно нанесеними дефектами. Панель складається з чотирьох шарів: верхній шар склотканина ЭЗ-125, вуглепластик С200, заповнюючий пінопласт ПС4-40 та нижній шар склотканини ЭЗ-125. На зразок було нанесено чотири дефекти, які відрізнялися за розміром та способом нанесення:

1) дефект № 1 – 30x30 мм – руйнування пінопластового заповнювача;

2) дефект № 2 – 20x20 мм – повне видалення пінопластового заповнювача;

3) дефект № 3 – 13x15 мм – повне видалення пінопластового заповнювача;

За допомогою стандартного перетворювача імпульсного дефектоскопу з дефектної та бездефектної зон була отримана вибірка з приблизно 5000 реалізацій інформаційних сигналів, з яких було виділено пікові значення амплітуд.

Оскільки зібрані дані можуть містити надмірну похибку, то постає задача їх попереднього цензурування за допомогою відповідного статистичного критерію [3]. Слід зазначити, що апріорно форма закону розпо-

ділу не відома, тому вибирається такий критерій, який від нього не залежить. Також, слід попередньо виконати перевірку вибірки на нормальність. У випадку, якщо гіпотеза про відповідність підтверджена, можна використовувати стандартну формулу нормального закону, а в іншому випадку слід перейти до процедури апроксимації.

Для перевірки запропоновано використовувати критерій перевірки на асиметрію, який використовує статистику  $|\sqrt{b_1}|$ , критерій перевірки на кривизну з використанням статистики  $b_2$  та критерій Фроціні  $B_n$  (табл. 1).

Детальніше ці критерії описані у ГОСТ Р ИСО 5479-2002.

**Таблиця 1**

Отримані результати перевірки емпіричних законів розподілу на відповідність гауссівському (довірча ймовірність P=0.95)

Статистика	Без дефекту	Дефект 1	Дефект 2	Дефект 3	Порогове значення
$ \sqrt{b_1} $	0.581	0.424	0.297	0.525	0,06
$b_2$	2.938	2.207	2.429	2.15	2.89 – 3.12
$B_n$	1,286	1,411	0,855	2,229	0,284

За отриманими даними зроблено висновок, що гіпотеза про нормальний закон розподілу коефіцієнтів суперечить наявним даним, таким чином постає задача знаходження апроксимаційних рівнянь. Були обраховані статистичні характеристики інформативної ознаки в бездефектній та дефектних зон, які наведені у табл. 2, де  $Sk$  - асиметрія,  $Ex$  - ексцес

**Таблиця 2**

Статистичні характеристики інформативної ознаки у бездефектної та дефектних зон

Області	$Sk$	$Ex$	СКВ
Бездефектна	0,339	-0,056	$9.438 \cdot 10^{-4}$
Дефект № 1	0.179	-0,792	$3.994 \cdot 10^{-3}$
Дефект № 2	-0.088	-0.573	$2.247 \cdot 10^{-3}$
Дефект № 3	-0.276	-0.853	$2.434 \cdot 10^{-3}$

Статистичні характеристики дозволили отримати апроксимуючі рівняння для бездефектної (3) та дефектних (4, 5, 6) зон:

$$f_N(x) = f(x) - \frac{0,339}{6} f^{(3)}(x) + \frac{-0,056}{24} f^{(4)}(x); \quad (3)$$

$$f_{D1}(x) = f(x) - \frac{0,176}{6} f^{(3)}(x) + \frac{-3,792}{24} f^{(4)}(x); \quad (4)$$

$$f_{D2}(x) = f(x) - \frac{-0,088}{6} f^{(3)}(x) + \frac{-3,573}{24} f^{(4)}(x); \quad (5)$$

$$f_{D3}(x) = f(x) - \frac{-0,276}{6} f^{(3)}(x) + \frac{-3,853}{24} f^{(4)}(x); \quad (6)$$

Графічні апроксимації емпіричних законів розподілу досліджуваних інформативних ознак в без-

дефектній та дефектних областях представлені на рис. 1.

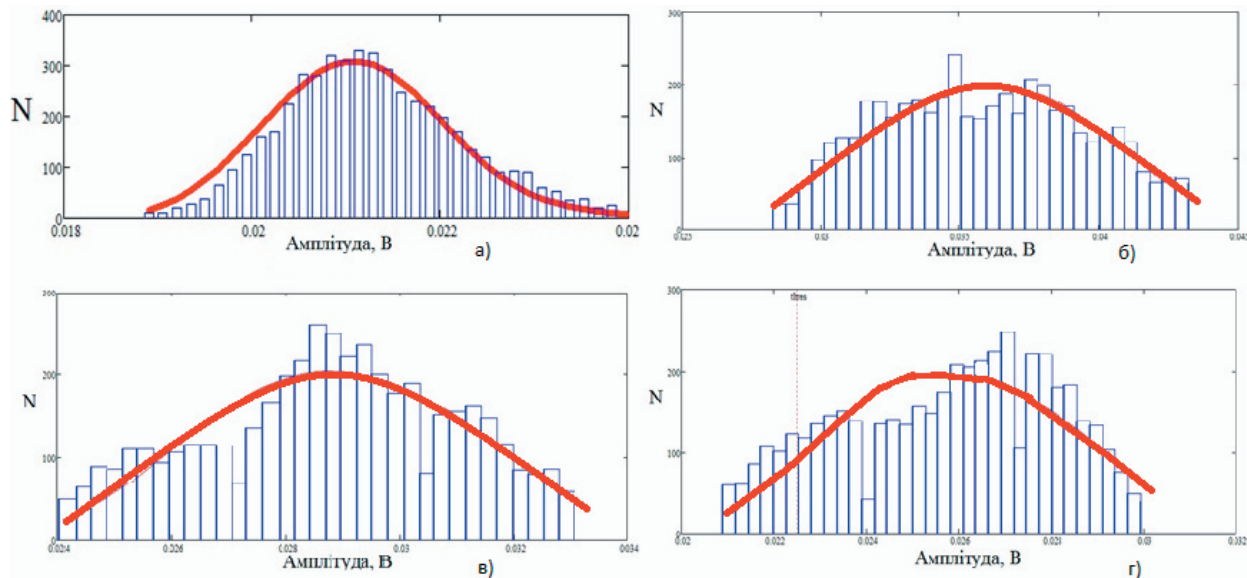


Рис. 1. Апроксимації емпіричних законів розподілу діагностичних ознак (гістограми розподілу амплітуд інформаційних сигналів): а) – бездефектна область, б) – область дефекту № 1, в) - область дефекту №2, г) - область дефекту №3

## 6. Висновки

Запропонована методика отримання апроксимуючих рівнянь, яка може бути використана як для

обґрунтування порогових значень при контролі імпедансним методом, так і для оцінювання вірогідності контролю для дефектів різних типів та розмірів

## Література

1. Ланге, Ю.В. Акустические низкочастотные методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций [Текст] / Ю.В. Ланге. - М.: Машиностроение, 1991 - 272с.
2. Кендалл, М. Теория распределений [Текст] / Кендалл М., Стюарт А.; пер. с англ. В. В. Сазонова, А. Н. Ширяева // под ред. А. Н. Колмогорова - М.: Наука, 1966.- 588 с.
3. Методика установления вида математической модели распределения погрешности: МИ 199-79 [Текст].// М.: Издательство стандартов, 1981 - 31 с.

## Abstract

Acoustic impedance method is one of the most popular ways in non-destructive testing of compounds in multilayer structures. The method is based on difference of mechanical impedances in damaged and defect-free areas of controlled product.

The main informative parameter for most contemporary flaw detectors is the amplitude of the signal, received from the impedance sensor. Usually diagnostic decision making is based on threshold overrunning by chosen informative parameter. Threshold value can be calculated with the help of statistical methods that include information about the distribution law of informative parameters samples obtained from and defect-free areas.

For evaluating the possibility of choosing approach for the approximation of the laws of distribution of information parameter, we have done the experimental testing of composite samples with artificially marked defects. The sample had four defects, which had different size and tapes of damage. Tables 1 and 2 present the results of the research, and also present approximation equations and their approximations. The obtained equation can be used not only for specification of the threshold value but also to assess the probability of control for defects of various types and sizes

**Keywords:** nondestructive testing, approximation of the laws of distribution, composite materials