

## СУЧАСНІ АВІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 620.179.15

\* 3666 732 + 052-036.66 732

Диагностика техническая, диагностика акустическая, импульсы ударные, сигнал эталонный, классификация дефектов, диагностика материалов, материал композиционный.

**В.П. Бабак**, д-р техн. наук, проф.  
(Національний авіаційний університет)

**В.С. Єременко**, старш. викл.  
(Національний авіаційний університет)

**В.М. Мокійчук**, студ.  
(Національний авіаційний університет)

## МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ УДАРНИХ ІМПУЛЬСІВ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Розглянуто метод побудови простору класифікаційних ознак на основі розкладу ударних імпульсів за ортогоналізованими еталонними сигналами. Показано переваги використання даного методу при класифікації дефектів у композиційних матеріалах.*

Правильний вибір множини діагностичних ознак при неруйнівному контролі та діагностиці матеріалів визначає достовірність прийняття рішення та правильність класифікації виявлених дефектів. Ця множина повинна містити мінімальну кількість елементів, які мають максимальну чутливість до наявності дефектів і забезпечують максимальну відстань між підмножинами, що відповідають різним видам дефектів.

При діагностиці композиційних матеріалів методом низькошвидкісного удару чутливими до наявності дефектів у виробі є не тільки амплітуда та тривалість імпульсу сили зіткнення, але і його форма, тому як діагностичні ознаки доцільно використовувати коефіцієнти спектральних розкладів імпульсів сили ударної взаємодії. У зв'язку з цим з'являється задача вибору такого типу базисних функцій, множина коефіцієнтів спектрального розкладу за яким задовольняла б зазначені вимоги.

У роботі [1] як базис використовувалася система тригонометричних функцій Фур'є. Цей базис отримав найбільше розповсюдження завдяки наявності відповідного обладнання та швидких алгоритмів перетворення. Але розклад імпульсних сигналів даного типу за базисними тригонометричними функціями є малоефективним для вирішення задачі виділення інформативних параметрів. Використання розкладів за класичними ортогональними функціями дискретного аргументу (Чебишева, Кравчука, Лагерра) дало можливість значно підвищити, порівняно з функціями Фур'є, чутливість коефіцієнтів розкладів до наявності дефектів у виробі, а також збільшити відстань між векторами значень цих коефіцієнтів, які відповідають імпульсам ударної дії в бездефектних зонах та зонах з дефектами [2].

Вибір системи базисних функцій має ґрунтуватися на апріорній інформації про сигнали, що класифікуються. Ця інформація може бути отримана на базі сигналів, які відповідають еталонним дефектам. Отже, базис, побудований на основі каталогу еталонних сигналів, буде найбільш повно відповідати цій апріорній інформації.

Для розкладу за системою базисних функцій необхідно, щоб ці функції були лінійно незалежними і ортогональними на інтервалі визначення  $[0 \dots X]$ . Система дійсних скінченних функцій

$$\{\varphi_k(x), k \in [0, \infty)\}$$

є ортогональною на гратці

$$(X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, x_k = x_1 + (k-1)\Delta, k \in [1, \infty)),$$

якщо для довільних елементів цієї системи виконується співвідношення ортогональності [3]

$$\sum_{x \in X} \varphi_k(x) \varphi_m(x) = \begin{cases} a_k, & k = m; \\ 0, & k \neq m, \end{cases}$$

де  $\{\varphi_k(x) \neq 0, k \in [0, \infty)\}$ ,

тоді коефіцієнти розкладу за системою ортогональних базисних функцій можна визначити як

$$a_k = \sum_k f(t) \varphi_k(t), \quad k \in [0, n],$$

де  $f(t)$  – функція, що описує еталонний сигнал;  $\varphi_k(t)$  –  $k$ -а базисна функція.

Сигнали від еталонних дефектів не є ортогональними, тому їх неможливо безпосередньо використовувати як базисні функції. Ці сигнали попередньо необхідно ортогоналізувати. Одним із розв'язків даної задачі є ортогоналізація за методом Грама-Шмідта [4]. Базисні дискретні функції  $\varphi_M(t)$  отримують з еталонних  $f_M(t)$  за допомогою таких рекурентних співвідношень :

$$\varphi_0(t) = f_0(t);$$

$$\varphi_1(t) = f_1(t) + a_{1,0} f_0(t);$$

$$\varphi_2(t) = f_2(t) + a_{2,0} f_0(t) + a_{2,1} f_1(t);$$

$$\dots$$

$$\varphi_N(t) = f_N(t) + a_{N,0} f_0(t) + a_{N,1} f_1(t) + \dots + a_{N,N-1} f_{N-1}(t).$$

Скалярний коефіцієнт  $a_{m,n}$  знаходять із формули :

$$a_{m,n} = - \frac{(\varphi_n(t), f_m(t))}{(\varphi_n(t), f_n(t))}.$$

За допомогою наведеної методики був утворений ортогональний базис на основі чотирьох еталонних сигналів, які відповідають імпульсам ударної взаємодії в зонах із дефектами діаметром 10, 20, 30 мм та в бездефектній зоні (рис. 1). Як досліджуваний матеріал використовували стільникову панель товщиною 20 мм з алюмінієвим наповнювачем та зовнішніми шарами з вуглепластику товщиною 3 мм. Дефекти моделювались при відсутності клеєвого з'єднання між стільниковим наповнювачем та вуглепластиком.

Отримана система базисних функцій не є повною, так як вона обмежена кількістю еталонних дефектів, тому вона не дає можливості розкласти сигнал будь-якої довільної форми.

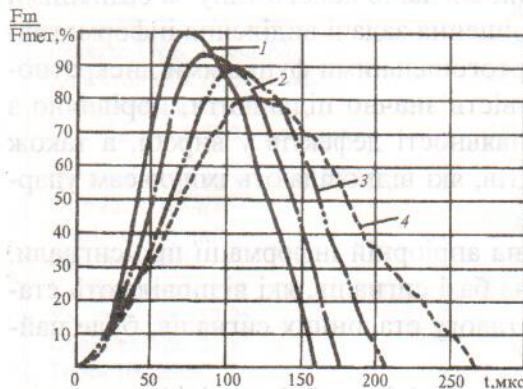


Рис. 1. Еталонні сигнали:  
1 – бездефектна зона; 2 – діаметр дефекту 10 мм; 3 – діаметр дефекту 20 мм; 4 – діаметр дефекту 30 мм

Для того, щоб оцінити якість розкладу за даною системою функцій, були досліджені імпульси сили, отримані на дефектних зонах, розміри яких не збігаються з еталонними. Ці дефектні зони моделювались також у вигляді непроклеїв діаметром 5, 7, 13, 17, 23 та 26 мм. Для кожного імпульсу сили розраховувалась енергія коефіцієнтів розкладу, яка порівнювалась згідно з нерівністю Беселя [4] з енергією самих імпульсів. Отримані результати наведено у табл. 1, з якої видно, що в усіх випадках енергія спектральних компонентів виявилася не менше за 99% від енергії імпульсів сили. Отже, точність зображення сигналів чотирма коефіцієнтами розкладу в побудованому базисі достатньо велика.

Таблиця 1

Діаметр дефекту, мм	Бездефектна зона	5	7	10	13	17	20	23	26	30
Відносна енергія коефіцієнтів, %	100	99,87	99,92	100	99,97	99,98	100	99,99	99,99	100

Отримані базисні функції не є універсальними і їх треба будувати для кожного типу матеріалу, що контролюється, а також для кожного діапазону розмірів дефектів, які потрібно класифікувати.

Розглянемо процес діагностування за допомогою коефіцієнтів розкладу за отриманою системою базисних функцій. У випадку, коли реальний дефект збігається зі зразковим дефектом, кількість спектральних компонентів розкладу, відмінних від нуля, буде збігатися з порядковим номером еталонного сигналу дефекту (рис. 2). Таким способом можна замінити множину інформативних ознак визначеного класу дефектів, яка при розкладі за тригонометричними функціями Фур'є буде визначатися не тільки кількістю гармонік, але й значенням їх амплітуд чи потужностей, непараметричною оцінкою – кількістю коефіцієнтів розкладів, що не дорівнюють нулю і значення яких при даній класифікації не враховується.

У реальному випадку еквівалентні розміри дефекту у виробі не збігаються з еталонними, тому такий розклад буде містити всі спектральні компоненти (рис. 3), які відповідають еталонним сигналам, і процес класифікації ускладнюється.

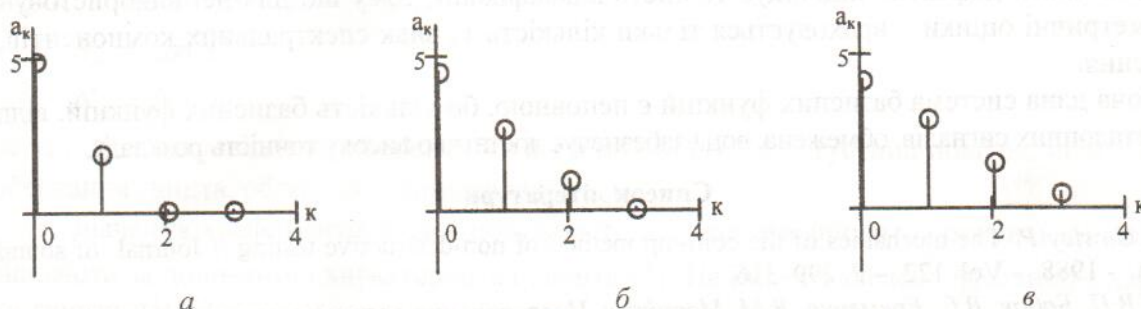


Рис. 2. Коефіцієнти розкладів імпульсів при збігу розмірів реальних дефектів з еталонними: а – діаметр дефекту 10 мм; б – діаметр дефекту 20 мм; в – діаметр дефекту 30 мм

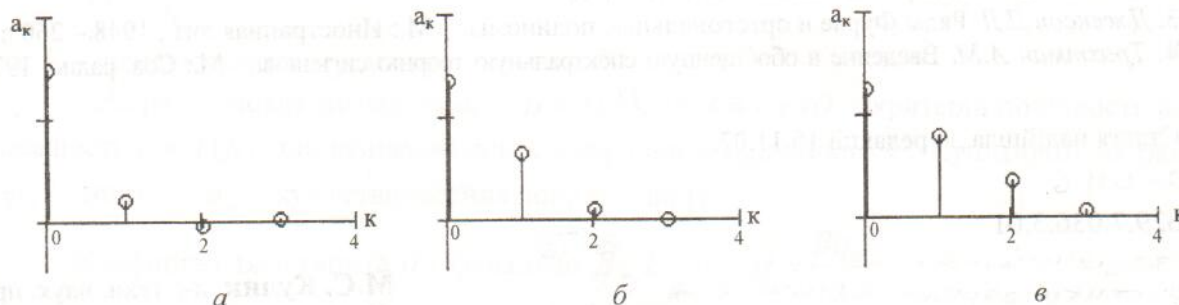


Рис. 3. Коефіцієнти розкладів імпульсів для дефектів, що не збігаються з еталонними: а – діаметр дефекту 5 мм; б – діаметр дефекту 13 мм; в – діаметр дефекту 23 мм

Для визначення правила прийняття рішення при класифікації розглянемо розклади імпульсів сили ударної взаємодії, що отримані на дефектних зонах, розміри дефектів в яких не збігаються з еталонними. На рис. 4 показано значення всіх спектральних компонентів, відповідно до кожного з ударних імпульсів у зонах з дефектами 5, 7, 13, 17, 23 і 26 мм. Другий  $a_2$  та третій  $a_3$  коефіцієнти розкладу змінюють свій знак залежно від діапазону, в якому знаходиться розмір дефекту. За результатами розрахунків до табл. 2 зведено знаки другого та третього коефіцієнтів розкладу імпульсів сили ударної взаємодії в зонах із відповідними розмірами дефектів.

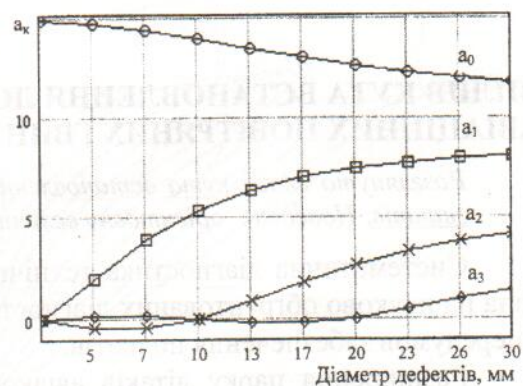


Рис. 4. Залежність значень коефіцієнтів розкладу імпульсів  $a_k$  від діаметра дефекту

Таблиця 2

Коефіцієнт розкладу імпульсів	Знак коефіцієнта розкладу при діаметрі дефекту		
	$\emptyset < 10$ мм	$10 < \emptyset < 20$ мм	$20 < \emptyset < 30$ мм
$a_2$	-	+	+
$a_3$	+	-	+

Як видно з табл. 2, для визначення області значень, в яку попадає розмір (еквівалентна площа) дефекту, достатньо проаналізувати тільки знаки його спектральних складових без урахування їх значень. У цьому випадку також можуть бути використані непараметричні оцінки, отримані на основі спектральних розкладів у базисі еталонних сигналів.

Отже, система базисних функцій, побудована на основі еталонних сигналів, дозволяє найбільш повно використовувати апріорну інформацію про дефекти у виробках, мінімізує множини інформативних ознак, за якими проводиться класифікація, спрощує вирішення задачі класифікації дефектів, оскільки не потрібно аналізувати великі масиви інформації, що описують відповідні класи дефектів, підвищує точність класифікації, тому що для неї використовуються непараметричні оцінки – враховується тільки кількість та знак спектральних компонентів, а не їх значення.

Хоча дана система базисних функцій є неповною, бо кількість базисних функцій, відповідних до еталонних сигналів, обмежена, вона забезпечує достатньо високу точність розкладу.

#### Список літератури

1. Cawley P. The mechanics of the coin-tap method of non-destructive testing // Journal of sound and vibration. – 1988. – Vol. 122. – P. 299–316.
2. В.П. Бабак, В.С. Еременко, В.М. Мокийчук. Исследование ортогональных разложений для построения диагностического пространства характеристик информативных сигналов при контроле композитивов // Матеріали IV міжнар. наук.-техн. конф. "Авіа-2002". Т. 1. Секція "Інформаційно-вимірвальні системи", 23–25 квіт. 2002 р. – К., 2002. – С. 11.7–11.10.
3. Джексон Д.Д. Ряды Фурье и ортогональные полиномы. – М.: Иностранная лит., 1948. – 260 с.
4. Трахтман А.М. Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов. – М.: Сов. радио, 1972. – 352 с.

Стаття надійшла до редакції 15.11.02.

0553.0-011.6

УДК 629.7.036.3.01

Винт воздушный,  
характеристики аэродинамическая ВВ  
лопасть винта, угол установки лопасти  
ТВД.

AB-72

**М.С. Кулик**, д-р техн. наук, проф.  
(Національний авіаційний університет)

**М.В. Купчик**, асп.  
(Національний авіаційний університет)

**В.В. Панін**, канд. техн. наук, доц.  
(Національний авіаційний університет)

#### ВПЛИВ КУТА ВСТАНОВЛЕННЯ ЛОПАТЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АВІАЦІЙНИХ ПОВІТРЯНИХ ГВИНТІВ

*Розглянуто вплив кута встановлення лопатей на характеристики авіаційних повітряних гвинтів. Наведено орієнтовну величину зміни тягової потужності гвинта.*

Систематична діагностика технічного стану силових установок повітряних суден, заснована на науково обґрунтованих діагностичних моделях силової установки даного типу, є однією з передумов забезпечення польотів.

Розширення парку літаків авіакомпаній світу в другій половині минулого століття за рахунок літаків із двоконтурними двигунами супроводжувалося розробкою діагностичних моделей переважно для турбореактивних двоконтурних двигунів, які забезпечували на основі аналізу відхилень параметрів робочого процесу двигуна, що вимірюються встановленою на літаку