

КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 620.179.16

МЕТОД ПОБУДОВИ ВИРІШАЛЬНИХ ПРАВИЛ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ КОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ ГІСТОГРАМНОГО АНАЛІЗУ

¹Гільова О.О., ²Еременко В.С., ³Павленко Ж.О., ¹АНТК ім. О.К.Антонова, м. Київ, Україна, ²Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна; ³Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Досліджено можливість застосування гістограмного аналізу для побудови вирішальних правил у безеталонній дефектоскопії композиційних матеріалів. Показано, що гістограмний метод дозволяє надійно класифікувати експериментальні дані навіть у випадку, коли характеристики положення і розсіювання законів розподілу еталонних класів інформативних ознак повністю збігаються

Вступ

Процес діагностики композиційних матеріалів характеризується великим впливом випадкових чинників, обумовлених змінами властивостей композитів, які виникають внаслідок складності процесів виготовлення, великою кількістю типів можливих дефектів, які не піддаються формалізованому опису, недосконалістю методик контролю та дефектоскопічного обладнання та іншими чинниками. На сьогодні дефектоскопія композиційних матеріалів виконується комплексними багатопараметровими методами, які базуються на використанні декількох різнорідних фізичних методах контролю, кожний з яких найбільш чутливий до певного класу дефектів. Це призводить до значного збільшення кількості атестованих зразків (еталонів) за допомогою яких проводиться первинна настройка дефектоскопів та ідентифікація типів та розмірів дефектів [1].

Використання статистичних методів при аналізі інформаційних сигналів було теоретично досліджено в роботах [2, 3]. Показано, що даний підхід дозволяє перейти до безеталонних методик контролю, де фактом наявності дефектів у виробі є зміна ймовірносних характеристик діагностичних ознак. Метою даної роботи є дослідження можливості використання гістограмного аналізу вибіркового значення інформаційних ознак для побудови вирішальних правил дефектоскопії, який дозволяє перейти від точкових статистичних оцінок до аналізу та порівнянню форм законів розподілу.

В загальному вигляді модель вимірювання інформаційного параметру можна представити як

$$f(x_i) = f(x) + \Delta,$$

де $f(x)$ – детерміноване значення інформаційної ознаки, що відповідає стану об'єкта контролю;

Δ – врахований вплив випадкових чинників.

У разі, коли величина Δ наближається до розміру $f(x)$ при побудові вирішальних правил доцільно використовувати не самі виміряні значення параметра, а їх статистичні характеристики – емпіричні закони розподілу, їх точкові та інтервальні оцінки.

Теоретичні відомості

Для побудови вирішальних правил дефектоскопії застосування гістограмного методу найбільш ефективним є у випадку, коли значення діагностичних параметрів, які відповідають різним станам об'єкта контролю, суттєво не відрізняються, а змінюються тільки їх статистичні характеристики. Це унеможливорює побудову порогових вирішальних правил, основаних на порівнянні значень вибірових статистик інформативних параметрів, так як при достатньо великій дисперсії цих значень будуть виникати суттєві похибки першого та другого роду. Вимога до застосування цього методу для розпізнавання станів контрольованого виробу – це досить великий об'єм досліджуваних вибірок ($n > 100$) [2].

Припустимо, що задано еталонні вибірки одного інформативного параметра: $x_1(k)$ і $x_2(k)$, $k = 1, 2, \dots, n$, які відповідають двом можливим станам об'єкта контролю. Визначимо по об'єднаній вибірці вимірювань мінімальне $x_{\min} = \xi_1$, значення і максимальне $x_{\max} = \xi_n$. Виберемо число гістограмних інтервалів L і

обчислимо розмір елементарного інтервалу гістограми $\Delta x = \frac{(\xi_n - \xi_1)}{L}$. По ви-

бірових значеннях визначимо гістограмні числа, які відповідають еталонним об'єктам Q_1 і Q_2 : $k_{11}, k_{12} \dots k_{1L}$ і $k_{21}, k_{22} \dots k_{2L}$.

Гістограмні числа $k_1, k_2 \dots k_L$, отримані за вибіровими даними є залежними випадковими величинами, тому що їхня сума $\sum_{i=1}^L k_i = n$. Вони розподілені по поліноміальному закону

$$P_n(k_1, k_2, \dots, k_L) = \frac{n! \prod_{i=1}^L p_i^{k_i}}{\prod_{i=1}^L (k_i)!},$$

де p_i – ймовірність попадання в i -тий інтервал гістограми результату одного вимірювання інформативного параметра.

У випадку, коли еталонні об'єкти розпізнавання Q_1 і Q_2 описуються

багатовимірними законами розподілу $W_1\left(\frac{|x|}{Q_1}\right)$ і $W_2\left(\frac{|x|}{Q_2}\right)$, то їх гістогра-

мні числа мають поліноміальні закони розподілу $P_1\left(\frac{|k|}{Q_1}\right)$ і $P_2\left(\frac{|k|}{Q_2}\right)$ з пара-

метрами p_1 і p_2 . Гістограмні числа еталонних вибірок об'єктів Q_1 і Q_2 є оцінками імовірностей p_1 і p_2 .

$$p_{1i}^* = \frac{k_{1i}}{n}, \quad p_{2i}^* = \frac{k_{2i}}{n}.$$

Припустимо, що проконтрольовано деякий об'єкт, і отримана вибірка значень інформативного параметру x_1, x_2, \dots, x_n , по якій визначені гістограмні числа k_1, k_2, \dots, k_L . Щоб по цим даним вирішити задачу розпізнавання, необхідно обчислити функцію відношення правдоподібності

$$l(|k|) = \frac{P\left(\frac{|k|}{Q_1}\right)}{P\left(\frac{|k|}{Q_2}\right)} = \prod_{i=1}^L \left(\frac{p_{1i}^*}{p_{2i}^*}\right)^{k_i}$$

і порівняти її з порогом l_0 . Вирішальне правило запишемо через логарифм $l(|k|)$

$$L(|k|) = \sum_{i=1}^L k_i (\ln p_{1i}^* - \ln p_{2i}^*) \gg \ln l_0$$

Вирішальне правило виражене безпосередньо через гістограмні числа еталонних вибірок

$$\sum_{i=1}^L k_i (\ln k_{1i} - \ln k_{2i}) \gg \ln l_0$$

Задачу розпізнавання можна вирішити також шляхом безпосереднього порівняння гістограмних чисел інформативного параметра проконтрольованого об'єкта k_1, k_2, \dots, k_L і гістограмних чисел вибірок, отриманих в еталонних зонах $k_{11}, k_{12}, \dots, k_{1L}$ і $k_{21}, k_{22}, \dots, k_{2L}$. Виберемо як показник близькості двох гістограм середній квадрат різниці їхніх гістограмних чисел

$$z_1 = \sum_{i=1}^L q_{1i} \left(\frac{k_i}{n} - \frac{k_{1i}}{n} \right)^2 \tag{1}$$

$$z_2 = \sum_{i=1}^L q_{2i} \left(\frac{k_i}{n} - \frac{k_{2i}}{n} \right)^2 \tag{2}$$

Виберемо вагові коефіцієнти q_{1i} та q_{2i} рівними

$$q_{1i} = \frac{n^2(2n-1)}{(k_i + k_{1i})(2n - k_i - k_{1i})}$$

$$q_{2i} = \frac{n^2(2n-1)}{(k_i + k_{2i})(2n - k_i - k_{2i})}$$

Підставивши їхні значення у вирази (1) та (2) одержимо показники близькості z_1 і z_2 .

$$z_1 = (2n - 1) \sum_{i=1}^L \left(\frac{(k_i - k_{1i})^2}{(k_i + k_{1i})(2n - k_i - k_{1i})} \right)$$
$$z_2 = (2n - 1) \sum_{i=1}^L \left(\frac{(k_i - k_{2i})^2}{(k_i + k_{2i})(2n - k_i - k_{2i})} \right)$$

Вирішальне правило розпізнавання може бути сформульоване наступним чином:

1) якщо $z_1 < z_2$, то прийняти рішення, що контрольований об'єкт належить до класу Q_1 ;

2) якщо $z_1 > z_2$, то прийняти рішення, що контрольований об'єкт належить до класу Q_2 .

При побудові вирішальних правил кількість класів не обмежується двома значеннями, і їх кількість зростає при необхідності більш детального контролю досліджуваних виробів.

Для порівняння гістограм вибіркового розподілу при побудові вирішальних правил безеталонної дефектоскопії можна застосовувати також статистичні критерії згоди, наприклад, критерій χ^2 Пірсона [4]. Ці критерії дозволяють перевірити гіпотезу про належність отриманих експериментальних даних і еталонних даних до однієї генеральної сукупності, а також оцінити рівень статистичної значущості. Тому доцільно при визначенні належності експериментальної вибірки до того чи іншого класу використовувати не тільки показник близькості, розрахований на основі гістограмних чисел, але й оцінки статистики χ^2 .

Експериментальні дослідження

Експериментальні дослідження проводились на зразках стільникових панелей зі штучними дефектами методом низькошвидкісного удару [5], якій дозволяє змінювати енергію ударного впливу на об'єкт контролю за випадковим законом і, таким чином, отримувати значення інформативних параметрів зі значною випадковою складовою.

Методика експериментальних досліджень і досліджувані зразки детально описані у роботі [6]. Досліджувалися емпіричні розподіли коефіцієнтів розкладів імпульсів сили ударної взаємодії, отримані в зонах, що відповідають 4-м типам дефектів, і в бездефектній зоні, по ортогональним функціям Хаара [7]. Моделями дефектів виступали зони з пошкодженнями, нанесеними точковими руйнуючими ударами з енергією від 2,0 кДж до 5,1 кДж. Вибірki значень коефіцієнтів розкладів поділялися на дві рівні частини по 256 значень. По першій половині будувалися еталонні гістограми, а другі половини відповідали експериментальним даним, які потрібно було класифікувати.

На рис. 1 - 4 наведені графіки емпіричних розподілів деяких коефіцієнтів розкладу інформативних сигналів, отриманих у зонах з різними ступенями дефектності, що порівнюються гістограмним методом: а - еталонна гістограма 1 -

го об'єкту; б - гістограма другої половини вибірки 1-го об'єкту, що перевіряється гістограмним методом; в - еталонна гістограма 2-го об'єкту; г - гістограма другої половини вибірки 2-го об'єкту, що перевіряється гістограмним методом.

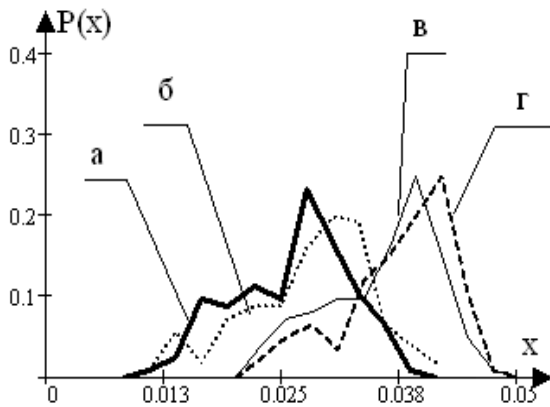


Рис. 1. Емпіричні закони розподілу 0-го коефіцієнту розкладу 1-го і 2-го дефектів

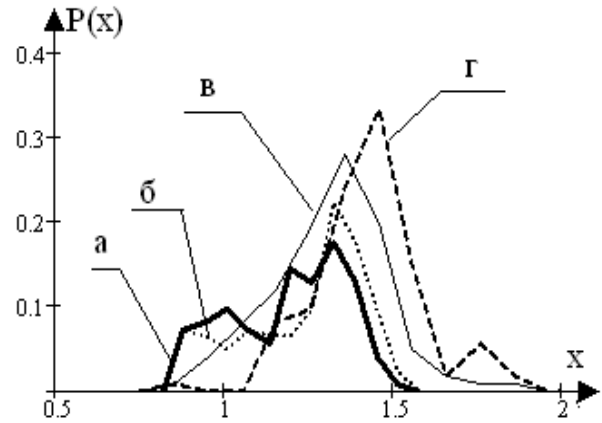


Рис. 2. Емпіричні закони розподілу 1-го коефіцієнту розкладу 1-го і 4-го дефектів

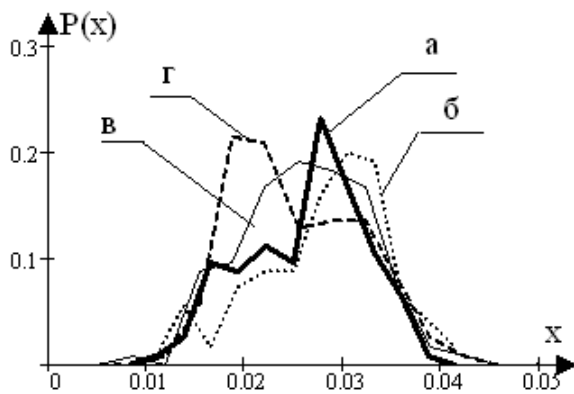


Рис. 3. Емпіричні закони розподілу 0-го коефіцієнту розкладу 1-го і 3-го дефектів

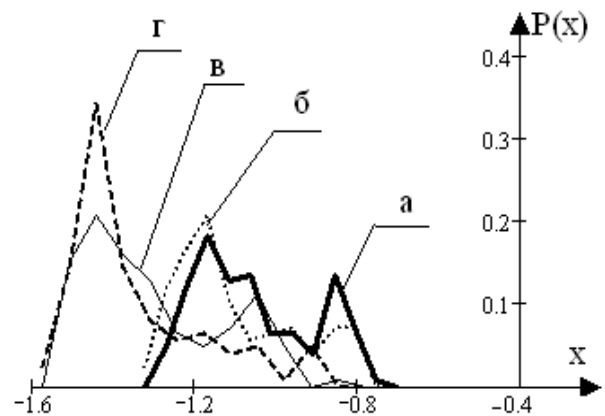


Рис. 4. Емпіричні закони розподілу 6-го коефіцієнту розкладу 1-го і 2-го дефектів

Результати класифікації наведених емпіричних розподілів за допомогою гістограмного методу зведені до табл.1.

Отримані результати свідчать, що гістограмний метод дозволяє надійно класифікувати отримані вибіркові дані навіть у випадку, коли характеристики положення і розсіювання законів розподілу у еталонних класів повністю збігаються (експеримент №3 і, відповідно, рис.3).

Таблиця 1– Значення показників близькості та статистики χ^2

№ експерименту	Коефіцієнт розкладу	№ дефекту першої зони	№ дефекту другої зони	Показники близькості			
				об'єкту 1 зони		об'єкту 2 зони	
				з 1-м еталоном	з 2-м еталоном	з 1-м еталоном	з 2-м еталоном
1	0	1	2	12,97	90.35	154,85	17.31
2	1	1	4	11,35	29.72	117,92	37.95
3	0	1	3	12.4	14.41	15.24	13.93
4	6	1	2	13.71	142.24	153.64	25.65

Експериментальні дані також перевірялися за допомогою непараметричних критеріїв однорідності [6] (див. табл.2).

Таблиця 2 – Значення статистик непараметричних критеріїв однорідності

№ експерименту	Коефіцієнт розкладу	№ дефекту першої зони	№ дефекту другої зони	Статистики критеріїв			
				Андерсена	Медіанний	Мана-Уїтні	Уїлкоксона
1	0	1	2	11.56	8.15	10.19	9.71
2	1	1	4	4.7	4.41	6.24	7.83
3	0	1	3	1.071	0.38	0.13	0.3
4	6	1	2	10.84	6.64	9.69	9.64
Критичне значення статистик для $\alpha = 0.95$				2.25	1.96	1.96	1.96

Результати свідчать про меншу потужність цих критеріїв при вирішенні задач класифікації вибіркового даних порівняно з гістограмним методом. Наприклад, в експерименті № 3, коли емпіричні закони розподілу повністю накладаються непараметричні критерії однорідності не дозволяють класифікувати експериментальні дані. Отже, гістограмний метод дозволяє отримувати більш потужні вирішальні правила дефектоскопії ніж правила побудовані на критеріях однорідності.

При подальшому дослідженні запропонованого метода доцільно визначити потужність побудованих вирішальних правил при виявленні інших дефектів композиційних матеріалів, наприклад, розшарувань, тріщинуватості, «класичними» методами неруйнівного контролю – ультразвуковим, імпедансним, спектральним та інш.

Висновки

Вирішальні правила побудовані на основі гістограмного аналізу є потужними і дозволяють класифікувати вибіркові значення інформативних параметрів навіть у разі збігу характеристик положення і розсіювання їх законів розподілу. Гістограмний метод має і недоліки – потребує суттєвого об'єму вибіркового даних (кожна вибірка, що аналізується, повинна мати не менш ніж 100 значень), також характеризується досить громіздким алгоритмом реалізації, тому, якщо досліджувані емпіричні розподіли відрізняються оцінками математичного сподівання чи дисперсії, більш доцільно використовувати для побудови вирішальних правил непараметричні критерії однорідності.

Література

1. Мурашов В.В., Румянцев А.Ф. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов и методы их выявления // Контроль. Диагностика. – 2007. – №4, 5.
2. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Обработка информации в средствах и системах неразрушающего контроля. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. – 168 с.
3. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Математическая дефектоскопия: Монография. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 180 с.
4. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. – 598 с.
5. Еременко В.С., Мокийчук В.М., Овсянкин А.М. Обнаружение ударных повреждений соевых панелей методом низкоскоростного удара // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2007. – №1 – С. 124 – 127.
6. Єременко В.С., Борковська Л.О., Гільова О.О. Застосування непараметричних критеріїв при неруйнівному контролі методом низькошвидкісного удару // Вісник інженерної академії України. – 2008. – №2 – С. 132–138.
7. Еременко В.С., Мокийчук В.М., Самойличенко О.В. Исследование характеристик импульсных сигналов на основе разложений по базису Хаара // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – №1(19) – С. 142–144.

<p>Гилёва О.А., Ерёменко В.С., Павленко Ж.А. Метод построения решающих правил неразрушающего контроля композитов на основе гистограмного анализа Исследована возможность использования гистограммного анализа для построения решающих правил в безэталонной дефектоскопии композиционных материалов. Показано, что гистограммный метод позволяет надежно классифицировать экспериментальные данные даже в случае, когда характеристики положения и рассеивания законов распределения эталонных классов полностью совпадают</p>	<p>Gileva O.A., Yeremenko V.S., Pavlenko J.A. Method of decision rules creation for nondestructive testing of composite materials based on histogram analysis Possibility of histogram analysis method using for decision rules creation in etalon-free non-destructive testing of composite material was investigated. Proved, that histogram method allows reliable experimental data classification in case when position and dispersion characteristics of distribution low is absolutely equal.</p>
---	---

*Надійшло до редакції
10 вересня 2008 року*

УДК 534.86

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЕФЕКТОСКОПУ АКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

Серій К.М., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Розглянута з позиції точності акустична дистанційна система визначення координат перетворювача дефектоскопу у процесі сканування. Показана можливість отримання точності ± 1 мм для дистанції (0,5 – 2) м

Вступ. Постановка завдання

Автоматичне дистанційне визначення координат просторового положення об'єктів дозволяє вирішити чимало проблем в техніці, але є край необхідним для сучасного неруйнівного контролю, в якому сьогодні широко використовується праця оператора (дефектоскопіста) для вручну виконання контролю матеріалів елементів конструкцій з допомогою традиційних (не автоматизованих) дефектоскопів. Автоматичний запис координат положення вимірювального перетворювача (ВП) дефектоскопу з відміткою координат виявленого дефекту дозволив би усунути суб'єктивність контролю і, що дуже важливо, надав би можливість об'єктивно виконувати моніторинг стану матеріалу елементів конструкцій.

В роботі [1] показана можливість автоматичного визначення координат вимірювального перетворювача дефектоскопу у двомірному, і в тримірному просторі поверхні об'єкту контролю шляхом вимірювання часових затримок ультразвукових коливань, що спеціально випромінюються з корпусу вимірювального перетворювача і сприймаються приймачами розташованими на певній базі вимірювання.

Мета роботи

Метою даної роботи є аналіз точності визначення координат, що для спрощення виконується на прикладі роботи системи автоматичного визначення двохмірних координат. На рис. 1 показана схема вимірювань, що забезпечує визначення відстані між вимірювальним перетворювачем дефектоскопу і двома точками 1 і 2, розташованими на заданій базі вимірювання B . Вимірювання відстаней виконується шляхом визначення затримок ультразвукових (40 кГц) коливань, що збуджуються у повітрі акустичним перетворювачем 3 на корпусі вимірювального перетворювача і сприймаються приймачами в точках 1 і 2.

Моделювання схеми вимірювання

Збудник і приймачі ультразвукових коливань виконані на основі пластини з ЦТС-19 з діагональною поляризацією. При подачі на пластину збудника імпульсу напруги в цій пластині виникають хвилеподібні коливання. При

закріпленні однієї грані пластини інша грань має порівняно велику амплітуду коливань. Для збудження коливань у повітрі до цієї грані приєднана тонка пластинка з алюмінію, що коливаючись з частотою 40 кГц діє на повітря, як поршень.

Збудник ультразвукових коливань встановлений в верхній частині корпусу вимірювального перетворювача на висоті h_p над поверхнею об'єкту контролю.

Приймачі коливань розміщені на стійках конструкції бази вимірювань на висоті h . Підняття збудника і приймачів коливань над поверхнею об'єкту зроблено з метою уникнення впливу на розповсюдження коливань цієї поверхні.

Для визначення координат вимірювального перетворювача X , Y слід виміряти відстані між збудником і приймачами ультразвукових коливань відповідно a і b , яким відповідають затримки коливань τ_a та τ_b :

$$\begin{aligned} a &= C \cdot \tau_a; \\ b &= C \cdot \tau_b \end{aligned} \quad (1)$$

В загальному випадку висота h_0 не дорівнює висоті стійок конструкції бази вимірювань h . В цьому разі визначаємо довжину перпендикулярів a_0 та b_0 з точки 3 (центру збудника ультразвукових коливань) на вертикальні стійки з приймачами 1 і 2:

$$\begin{aligned} a_0^2 &= a^2 - (h - h_0)^2 \\ b_0^2 &= b^2 - (h - h_p)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Прямі a_0 , b_0 (2) належать до площини, що є паралельною до площини об'єкту контролю з координатами встановленої бази вимірювань $0 \times y$. Виходячи з цього координати вимірювального перетворювача знаходимо з таких рівнянь:

$$\begin{aligned} X_p^2 &= a_0^2 - Y_p^2 \\ X_p^2 &= b_0^2 - (B - Y_p)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Прирівнюючи праві частини (3) та використовуючи (2) знаходимо координату Y_p , як:

$$Y_p = \frac{\left[a^2 - (h - h_p)^2 \right] - \left[b^2 - (h - h_p)^2 \right] + B^2}{2B} = \frac{a^2 - b^2 + B^2}{2B} \quad (4)$$

$$X_p = \sqrt{a_0^2 - Y_p^2} = \sqrt{a^2 - (h - h_p)^2 - Y_p^2}$$

При базі вимірювань в 1 м зона сканування поверхні об'єкту контролю може бути площею до 4 м^2 .

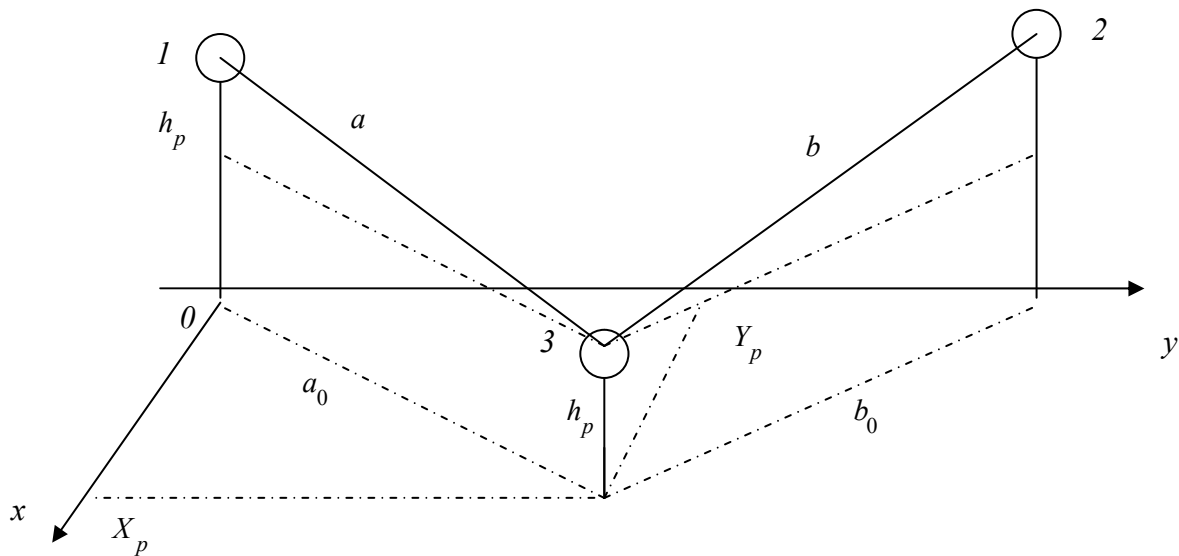


Рис.1. Схема розташування збудника 3 та приймачів 1,2

Визначимо затухання ультразвукового сигналу робочої частоти 40 КГц при максимальному віддаленні збудника коливань від приймачів. Враховуючи, що можливі розміри зони сканування поверхні вимірювальним перетворювачем дефектоскопу може становити 4 м^2 максимальна відстань між збудником і приймачем становитиме до 2,5 м. Використовуючи дані [2] затухання ультразвукового сигналу частоти 40 КГц у повітрі на довжині шляху розповсюдження 2,5 м становить 0,06. Враховуючи коефіцієнт подвійного перетворення при збудженні та прийомі коливань наявність приєднаного до перетворювача дифузора сумарний коефіцієнт затухання становить 0,06. Таким чином для того, щоб напруга на приймачі досягла 0,18 В, необхідно збуджувати перетворювач 1 напругою імпульсу 3 В.

Обговорення результатів

Оцінимо точність визначення координат знаходження вимірювального перетворювача відповідно до встановленої бази вимірювань. Для цього потрібно оцінити методичні і основні апаратні похибки вимірювань параметрів, що впливають на точність. До методичних похибок визначення координат можемо віднести динамічну похибку викликану допустимою швидкістю вимірювання та швидкістю сканування поверхні вимірювальним перетворювачем. Максимальне значення цієї похибки має місце при віддаленні вимірювального перетворювача на допустиму відстань 2,5 м від одного з приймачів ультразвукових коливань. При цьому затримка прийому коливань становить 7,53 мс., що при допустимій швидкості сканування поверхні об'єкту контролю в $V=20 \text{ мм/с}$ приводить до динамічної похибки визначення координат 0,15 мм.

Наступним джерелом похибки визначення координат є неточність геометричних розмірів бази вимірювання В, висот стійок, що утримують приймачі коливань, висоти встановлення збудника ультразвукових коливань на корпусі вимірювального перетворювача. Неточність встановлення бази вимірювань В приводить до такої ж похибки вимірювання координат. Тому обмежимося похибкою ± 1 мм, що вимагає встановлювати лінійний розмір бази вимірювань з точністю 0,1%.

На похибку визначення координат більше впливає неточність встановлення довжин стійок h і довжини h_p . Для того, щоб похибка визначення координат від цих параметрів не перевищувала 1 мм, вказані розміри повинні встановлюватися з такою ж абсолютною похибкою.

Наступною методичною похибкою має бути нестабільність швидкості розповсюдження ультразвукових коливань при зміні температури, вологості та інших факторів повітря в зоні контролю. Зміна температури приводить і до зміни лінійних параметрів металеві конструкції бази вимірювань. На відстані біля 2 м змінами швидкості ультразвуку можемо знехтувати, як і змінами лінійних параметрів, бо похибки від згаданих факторів будуть меншими за раніше встановлених значень.

Серед найбільш впливових апаратурних похибок слід назвати похибку становлення моменту надходження радіоімпульсного ультразвукового коливання до кожного з приймачів. Внаслідок порогу нечутливості компаратору нульового рівня сигналу згадана похибка може становити (0,1 – 0,2) довжини хвилі коливань, що в даному випадку становить (0,8 – 1,6) мм.

Висновки

Таким чином сумарна похибка вимірювання може становити до 3 мм. Враховуючи розміри (діаметр) вимірювального перетворювача дефектоскопу, що може становити (3 – 5) мм, точність визначення координат положення цього перетворювача і таким чином координат виявлених дефектів нас повністю задовольняє. Подібна система дистанційного автоматичного визначення координат перетворювача дефектоскопу з можливістю запису в цифровій пам'яті, як координат сканування поверхні об'єкту контролю, так і координат виявлених дефектів переводить традиційний дефектоскоп з ручним скануванням в розряд автоматизованої цифрової системи.

Подальша робота буде зосереджена на визначенні оптимальних параметрів для узгодження роботи збудника і приймачів ультразвукових коливань, розробці оптимальних умов та схеми контролю та створенні програмного забезпечення для обробки отриманих результатів.

Література

1. Маєвський С.М., Серий К.М. Автоматизація визначення координат для документування результатів неруйнівного контролю при ручному скануванні // Методи та прилади контролю якості. Івано-Франківськ, 2002. – № 9. – С. 18 – 20.

2. Ермолов И.Н. Контроль ультразвуком: Краткий справочник - М.: НПО ЦНИТМАШ, 1992. – 86 с.

Серый К.Н. Анализ точности дистанционного определения координат преобразователя дефектоскопа акустическим методом Рассмотрена с позиции точности акустическая дистанционная система определения координат преобразователя дефектоскопа в процессе сканирования. Показана возможность получения точности ± 1 мм для расстояний (0,5 – 2) м.	Seryi K.N. The analysis of accuracy of remote definition of coordinates of the converter defectoscope an acoustic method Distance acoustical system for determine coordinates of defectoscope performer in process of scanning from possession of accuracy is considered. Acknowledge the receipt of accuracy ± 1 mm is confirmed for distance (0,5 – 2)m.
---	---

*Надійшло до редакції
28 січня 2008 року*

УДК 621.124.19

КЛИНОЭТАЛОННЫЙ МЕТОД НАСТРОЙКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ

Баженов В.Г., Давиденко В.Ф., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Предложен клиноэталонный ультразвуковой метод измерения размеров дефектов, как альтернатива настройки чувствительности ультразвуковых дефектоскопов по контрольным образцам или АРД диаграммам. Исследованы возможности предложенного метода измерения

Введение

Настройка чувствительности ультразвуковых дефектоскопов является фундаментальной задачей и проблемой УЗК, которые обусловлены неудовлетворительностью современных теоретических моделей процесса УЗК и многомерностью его описаний.

Существующие методы настройки [1,2] чувствительности чрезвычайно затратны и сложны. Современная технология ультразвукового контроля предусматривает настройку чувствительности дефектоскопа по опорным эхосигналам от контрольных отражателей [2], которые максимально приближены по всем параметрам к реальным допустимым дефектам. Сложную задачу указанного приближения упрощают благодаря выбору контрольных отражателей из довольно короткого ряда технологически реализуемых в металлах искусственных дефектов, которыми могут быть: плоскодонное отверстие, боковое отверстие, зарубка на поверхности образца или сегментный отражатель.

Настройка чувствительности ультразвуковых дефектоскопов по АРД-диаграммам придумана ввиду высокой стоимости образцов с технологически

сложными контрольными отражателями, а также необходимости складского хранения, учёта и спецификации образцов для контроля разнообразных ОК.

К сожалению, предлагаемые для этой цели АРД-диаграммы, а также методики их использования для настройки чувствительности УЗД недостаточно подвергались анализу на предмет адекватности получаемых с их помощью настроек с настройками по контрольным отражателям.

Постановка задачи

Трудно уловима зависимость амплитуды эхо-сигналов от совокупности ряда факторов, таких как площадь отражателя, расстояние до него, затухание звука, частота звука, диаметр преобразователя, а также чувствительность электроакустического тракта. Поэтому была предложена минимизация числа влияющих факторов до трёх независимых масштабных переменных (q, u, v) и переход к их безразмерному выражению [3] способствовали лучшему представлению о происходящем. Так, масштабная дальность u является комплексным фактором спада амплитуды эхо-сигналов $u = \delta \cdot r$, (δ – коэффициент затухания звука, r – фактическая дальность отражателя), т.к. учитывает оба фактора спада: расширение фронта и затухание звука.

Масштабный эквивалентный размер дефекта $v = \delta \cdot \sqrt{(n \cdot S)} = (\delta \cdot d / \lambda) \cdot \sqrt{S}$ (d – диаметр преобразователя, λ – длина волны) учитывает параметр преобразователя d/λ и затухание звука δ . Амплитуды эхо-сигналов приводятся к предельно максимальной амплитуде донного эхо-сигнала в клиновидном образце из материала объекта контроля с углом клина, равным углу ввода конкретного эхо-преобразователя, $q = P/Q$ и выражают абсолютную долю каждого эхо-сигнала в его предельной величине.

Основная часть

Установлена связь масштабной амплитуды эхо-сигналов, выражающей энергетическое поле эхо-преобразователя, с другими масштабными переменными $q = 2u \cdot e^{1-2u} \cdot [1 - \exp(-v^2/u^2)] = 2\delta \cdot r \cdot e^{1-2\delta r} \cdot [1 - \exp(-d^2 \cdot S / \lambda^2 \cdot r^2)]$, которая является решением прямой задачи УЗК и теоретическим выражением АРД-диаграммы. Через замену параметрической диаграммы взаимной направленности излучателя и отражателя $\Phi(\varphi) = \exp(-v^2/u^2)$ на эквивалентную для предельных отражателей векторную диаграмму направленности $\Phi(\varphi) = u/u_d$ осуществлён переход к огибающей донных эхо-сигналов из клиновидного образца. Эта огибающая является полной характеристикой поля каждого конкретного эхо-преобразователя и имеет вид $q = 2u_d \cdot z \cdot (1-z) \cdot \exp(1-2u_d \cdot z)$, где $z = u/u_d$ – приведенная дальность поля эхо-преобразователя, u_d – предельная дальность поля, которая определяется из экспериментальной огибающих донных эхо-сигналов.

На рис. 1 (а, б) представлены огибающие донных эхо-сигналов в линейном и логарифмическом (дБ) масштабах, откуда видно положение их максимума,

приближенное к вершине клина, а также начало резкого спада дальности поля.

Из условия $\partial q/\partial z = 0$ положение максимума донного эхо-сигнала определяется по формуле $z_m = 0,5 \cdot [u_d + 1 - \sqrt{(u_d^2 + 1)}] / u_d$, по которой рассчитана табл. 1.

Таблица 1 – Таблица зависимости максимума донного эхо сигнала от предельной дальности поля преобразователя

u_d	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
u_m	0,293	0,319	0,340	0,357	0,370	0,382	0,392	0,400	0,407	0,413	0,419
z_m	0,293	0,266	0,243	0,223	0,206	0,191	0,178	0,167	0,156	0,148	0,140

Из табл. 1 видно, что, чем больше дальность поля u_d , а, следовательно и его мощность, тем дальше от вершины клина положение максимумов донных эхо-сигналов u_m , однако при этом их приведенные дальности z_m по отношению к максимальной дальности поля становятся меньше. Высота максимума амплитуды донных эхо-сигналов определяется после подстановки его положения в уравнение огибающей в виде

$$Q = [u_d + 1 - \sqrt{(u_d^2 + 1)}] \cdot [1 - 0,5 \cdot (1 + u_d^{-1} - \sqrt{(1 + u_d^{-2})})] \cdot \exp[\sqrt{(u_d^2 + 1)} - u_d].$$

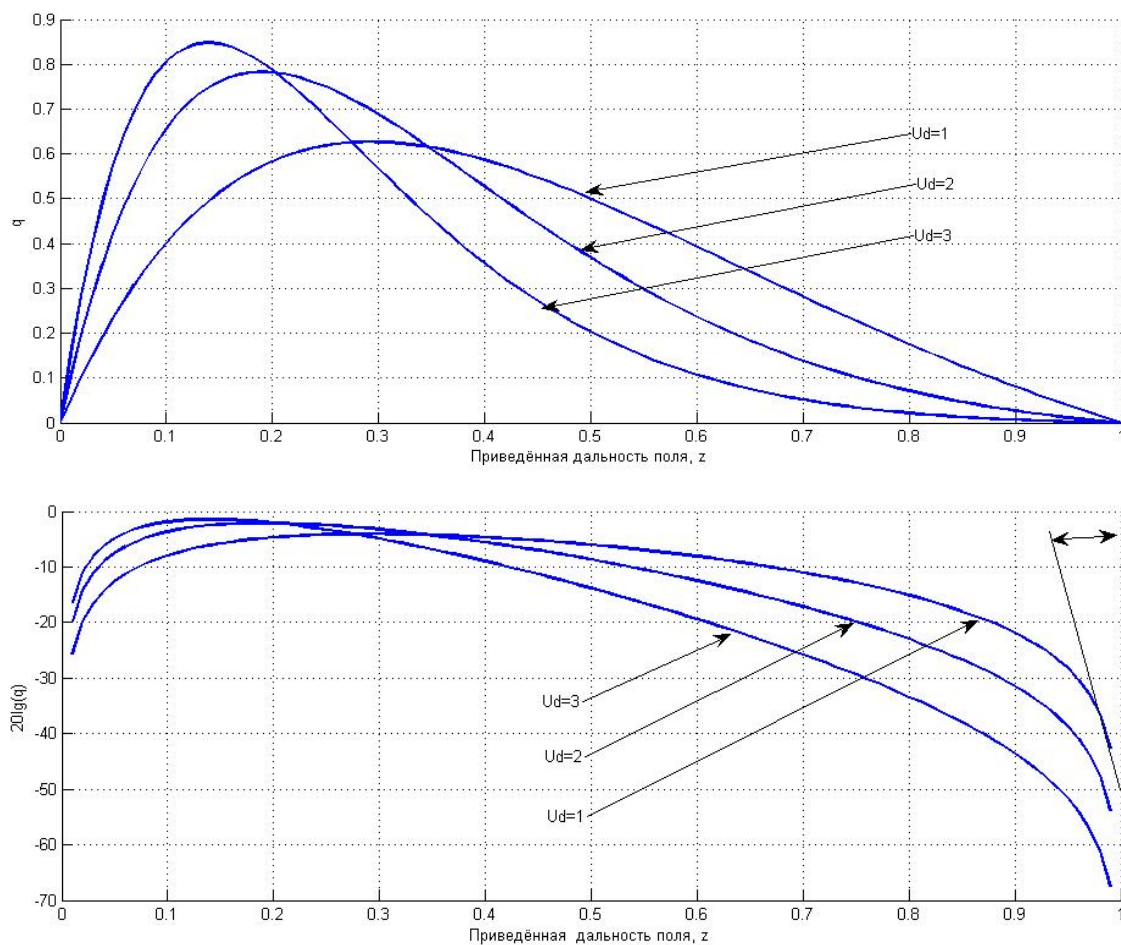


Рис. 1. Огибающие донных эхо-сигналов из клиновидного образца.

Величина этого эхо-сигнала, названного **универсальным опорным эхо-сигналом**, представлена в табл. 2 в относительных и в логарифмических (дБ) единицах.

Таблица 2 – Таблица зависимости амплитуды универсального опорного эхо сигнала от предельной дальности поля преобразователя

u_d	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	
Q	отн. ед.	0,63	0,67	0,71	0,74	0,76	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85
	-дБ	4,0	3,4	3,0	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4

Предельная дальность поля u_d является ключевым параметром, поэтому требуется его определение для каждого эхо-преобразователя, которое осуществляется экспериментально с помощью того же клиновидного образца, что и универсальный опорный эхо-сигнал. Для этого необходимо просканировать образец вблизи зоны быстрого падения амплитуды и произвести измерения амплитуды и задержки донных эхо-сигналов.

Полученные параметры наносятся в виде точек на специальный тест-график, просчитанный по формуле

$$D = 8,686 \cdot [1 + \ln(2u) - 2u + \ln(1 - u/u_d)], \text{ дБ.}$$

Тест-график (см. рис. 2) строится в координатах $D - u$ в диапазоне $D = -25 \dots -45$ дБ с шагом 5 дБ и $u = 1,2 \dots 2,4$ с шагом 0,1, а u_d принимается в качестве параметра и задаётся произвольно в диапазоне приведенной дальности, например, от $u_d = 1,4$ и далее с шагом 0,1 до 3,0.

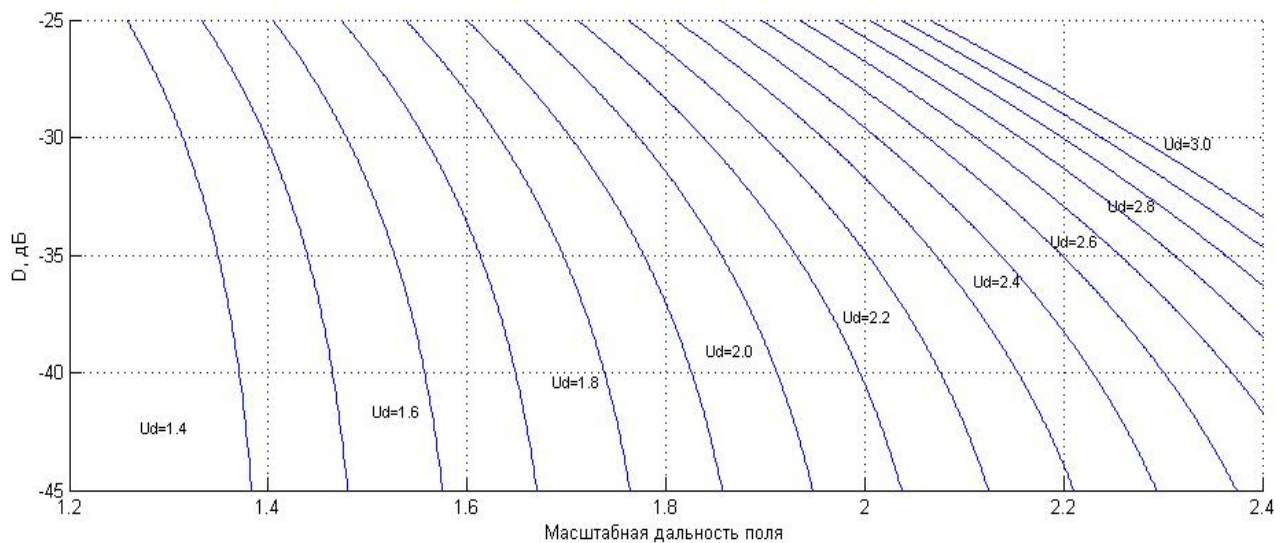


Рис. 2. Тест-график для определения предельной дальности поля u_d .

Клиноэталонный метод настройки чувствительности ультразвуковых дефектоскопов рассматривается как альтернатива существующим методам настройки по контрольным отражателям или по АРД-диаграммам.

Выводы

Предлагаемая система относительных параметров ультразвукового тракта позволила впервые создать довольно точную модель эхоимпульсного ультразвукового тракта для оценки размеров дефектов в объектах контроля и реализовать клиноэталонный метод, что приведёт к следующим положительным результатам:

1. Позволит значительно повысить точность оценки эквивалентных размеров дефектов в объектах контроля;

2. Значительно упростит процедуру контроля, а следовательно повысит скорость контроля и упростит конструкцию дефектоскопа, что является немаловажным фактором при создании переносных, мобильных приборов.

3. Можно избавиться от целого парка очень дорогостоящих стандартных образцов со встроенными искусственными отражателями (дефектами), изготовлением которых занимаются отдельные большие подразделения предприятий. Вместо дорогостоящих стандартных образцов используются сравнительно простые клинообразные образцы (по одному для каждого вида контролируемых материалов) без встроенных искусственных дефектов.

Перспективным направлением дальнейших исследований является детальный анализ погрешностей определения эффективных размеров дефектов в реально- создаваемых дефектоскопах.

Литература

1. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов: Справ. изд. Пер. с нем. –М.: Металлургия, 1991. – 752 с.
2. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. –М. Тиссо, 2003. – 335 с.
3. Davidenko V.F. Principles of elementary non-wave theory of field of ultrasonic transducers used for pulse-amplitude defectometry // Int. J. Materials and Product Technology, 2006. – Vol. 27. – P. 173–187.

Баженов В.Г., Давиденко В.Ф. **Клиноэталонный метод налагодження ультразвукових дефектоскопів**

Запропоновано клиноэталонний ультразвуковий метод вимірювання розмірів дефектів, як альтернатива налагодження чутливості ультразвукових дефектоскопів по контрольным зразкам або АВД діаграмам. Досліджені можливості запропонованого метода вимірювання.

Bazhenov V.G., Davidenko V.F. **Wedge standart method of ultrasonic devices' tuning**

Measuring ultrasonic method of the defect dimension suggested as the alternative tuning of ultrasonic devices' sensitivity on the control samples or AVG diagrams. Possibilities of the suggested measuring method were investigated.

*Надійшло до редакції
25 жовтня 2008 року*