

УДК 621.3

Н.О. Матвеева

## ЕКСПРЕС-КЛАСИФІКАЦІЯ ТИПУ ДЕФЕКТІВ ЗА ДЕЛЬТА- МОДУЛЬОВАНИМИ СИГНАЛАМИ ВИХОРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ

**Вступ.** Діаметром зони електромагнітного зондування обмежена просторова база сигналів, сформованих при скануванні об’єкту. Крім того, амплітуда імпульсів вихорострумової дефектоскопії визначається у кожній точці абсциси проекцією дефекту суцільності на площину, перпендикулярну напрямку вихорових струмів. Тому інтегральною інформативною характеристикою таких сигналів є їх площа, у разі перевищення якою критичного значення дефекти класифікуються як бракувальні [1, 2].

**Постановка задачі.** За виглядом ДМ-огиноючої треба оперативно оцінити площу відповідного ІКМ-імпульсу, породженого дефектом, з метою його експрес-класифікації.

**Основна частина.** Плавна зміна огиноючої аналогових імпульсів вихорострумової дефектоскопії від максимально-амплітудних унімодальних (коли дефекти перебільшують зону контролю за розмірами) до положистих бімодальних із найбільшим провалом вершини (точкові дефекти) моделюється за допомогою виразу [3]:

$$y(x) = (2^n - 1) \cdot [\exp(-1,5x^2) - k \cdot \exp(-3x^2)] \quad (1)$$

де параметр  $k$  змінюється у діапазоні від 0 до 1.

Площі таких ІКМ-сигналів пропонується використовувати в якості оцінок для відповідних класів модельних сигналів, визначених згідно із розмірами відповідних дефектів суцільності, виділяючи серед останніх так звані *бракувальні, потенційно-загрозливі і несуттєві*.

Площа модельного імпульсу вихорострумового перетворювача (ВСП) обчислюється шляхом інтегрування виразу (1) за абсцисою від  $-\infty$  до  $+\infty$ :

$$Q = (2^n - 1) \sqrt{\frac{2\pi}{3}} \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} k\right), \quad (2)$$

де  $Q$  вимірюється у квадратних відносних одиницях довжини, приведеної до еквівалентного діаметру котушки ВСП, а множник  $(2^n - 1)$  – це максимальне значення сигналу  $n$ -розрядного АЦП.

Графік залежності (2) площі  $Q$  від значення параметра  $k$  (рис. 1) пропонується використовувати для класифікації дефектів суцільності за відповідною площею імпульсів ВСП.

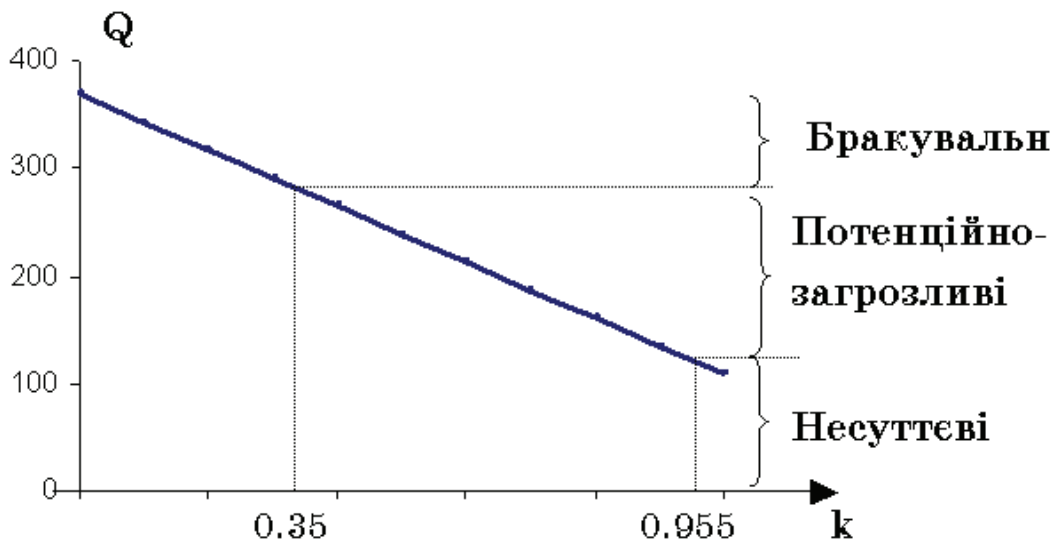


Рисунок 1 - Класифікація дефектів суцільності

Параметри ВСП обираються таким чином, щоб його зона контролю перетиналась повністю типовими бракувальними дефектами, а коефіцієнт підсилення масштабувального підсилювача забезпечував повне використання всього динамічного діапазону  $[0, 2^n - 1]$  застосованого  $n$ -розрядного АЦП; тоді варіація площі ( $\sim 25\%$  від максимального значення) імпульсу ВСП досягається при його повній або частковій взаємодії із бракувальними дефектами (рис.1). З іншого боку, площа імпульсу повинна бути достатньою ( $\sim 35\%$ ) (рис. 1) для впевненої реєстрації несуттєвих дефектів, зокрема, точкових, з метою подальшого відстеження їх можливого зростання. Найширший діапазон варіації площі ( $\sim 40\%$ ) імпульсу необхідно виділяти потенційно-загрозливим дефектам (рис. 1), які при відповідних умовах набудуть бракувальних розмірів найближчим часом.

При обчисленні зазначеної площі у якості початкової величини використовується попередньо відкоригована дельта-модульована (ДМ)-огиначаюча ІКМ-імпульсу.

При обробці ІКМ-сигналів із стрімкими наростанням фронтів і убуванням зрізів, з метою коректного залучення ДМ, доцільно попередньо використовувати адаптивно-різницеву модуляцію:

$$X_i = S_i - \alpha S_{i-1}, \quad (i=0, 1, \dots, N-1) \quad (3)$$

де  $(S_0, S_1, \dots, S_{N-1})$  – дискрети первинного ІКМ-сигналу,  $N$  – натуральне число ( $N \geq 2$ ), а  $(X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$  – послідовність отриманих слів АРІКМ-коду.

В якості коефіцієнта лінійного прогнозування  $\alpha$  слід використовувати "золотий перетин"  $\alpha = \varpi = (1 + \sqrt{5})/2 \approx 1.618\dots$  або його зворотну величину  $\alpha = \varpi^{-1} = \varpi - 1 \approx 0.618\dots$ , що забезпечує найбільше відношення потужностей сигналу й білого гауссового шуму[4].

Матрична форма подання виразів (3) породжує сімейство прямих лінійних дискретних адаптивно-модулюючих перетворень (АМП)[5].

З метою забезпечення дельта-модуляції модифікацію прямого АМП пропонується здійснювати шляхом залучення щодо всіх компонент результуючого вектора  $[X_1, X_2, \dots, X_{N-1}]$  додаткової операції фіксації знаку:

$$x_i = [X_i] = [S_i - \alpha S_{i-1}], \quad (i=0, 1, \dots, N-1) \quad (4)$$

де  $[X_i]$  – знак операції фіксації знаку  $X_i$ .

*Твердження.* Для кожної з  $2^N$  бінарних послідовностей довжини  $N$  ( $N=2, 3, \dots$ ), що складаються з  $\pm 1$ , можна побудувати дискретну функцію  $\{\hat{S}_i\}$ , для якої кожна компонента ДМ-подання обчислюється за допомогою (4) із похибкою, меншою одиниці наймолодшого двійкового розряду.

Припускаючи, що  $\hat{S}_0 = 0$ ,  $\hat{S}_1 = F_{b+3} - 1$ , де  $F_b$  – число Фібоначчі з номером  $b$  ( $b=0, 1, 2, \dots$ ), підбираємо подальші значення такої функції таким чином, щоб кожного разу виконувалась рівність (4).

Мінімально можлива похибка отриманого ДМ-подання обумовлена тим, що сусідніми значеннями конструйованих функцій являються послідовні числа Фібоначчі, зменшенні на '1' чи на '2'. При цьому завжди формується результат, менший одиниці за абсолютною величиною, котрий потім замінюється на  $\pm 1$  в залежності від знака.

За допомогою комп'ютерного моделювання встановлено, що оптимальний крок дискретизації складає  $\Delta \approx 0.15$  відносних одиниць довжини. Тоді при  $n=8$  для всієї множини аналогових сигналів (1)

існує лише чотири ДМ-подання огинаючих, наведених в табл. 1, де також вказані діапазони відповідних значень параметра  $k$ .

Відновлення ІКМ-сигналів виконується за допомогою зворотного АМП[5]. Його модифікація досягається завдяки залученню операцій округлення до найближчого цілого знизу при  $x_{i-1} \geq 0$  (чи найближчого цілого зверху при  $x_{i-1} < 0$ ) і точно відновлює сконструйовані ІКМ-сигнали:

$$S_i = \begin{cases} x_i + \langle \varpi \cdot S_{i-1} \rangle, & \text{якщо } x_{i-1} \geq 0 \\ x_i + \{ \varpi^{-1} \cdot S_{i-1} \}, & \text{якщо } x_{i-1} < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

де  $\langle \rangle$  і  $\{ \}$  – знаки операції округлення.

Таблиця 1

ДМ-подання модельних сигналів вихорострумовеого контролю

x	k=0ч0.35	k=0.355ч0.954	k=0.955ч0.977	k=0.978ч1
-2.1	1	1	1	1
-1.95	1	1	1	1
-1.8	1	1	1	1
-1.65	1	1	1	1
-1.5	1	1	1	1
-1.35	1	1	1	1
-1.2	1	1	1	1
-1.05	1	-1	-1	-1
-0.9	-1	1	1	1
-0.75	1	-1	-1	-1
-0.6	-1	1	1	1
-0.45	1	-1	-1	-1
-0.3	-1	1	1	-1
-0.15	1	-1	-1	-1
0	-1	1	-1	-1
0.15	1	-1	1	1
0.3	-1	1	1	1
0.45	1	-1	-1	1
0.6	-1	1	1	-1
0.75	1	-1	-1	1
0.9	-1	1	1	-1
1.05	1	-1	-1	1
1.2	-1	1	1	-1
1.35	-1	-1	-1	-1
1.5	-1	-1	-1	-1
1.65	-1	-1	-1	-1
1.8	-1	-1	-1	-1
1.95	-1	-1	-1	-1
2.1	-1	-1	-1	-1

Кожному ДМ-поданню можна поставити у відповідність декілька точно відновлюваних ІКМ-зображень, які відрізняються значеннями параметра  $b$  ( $b=0, 1, 2, \dots$ ). У табл. 2 приведені ІКМ-зображення, сконструйовані для ДМ-подань огинаючих із табл. 1, причому для

ДМ<sub>2</sub> використовуються два точно відновлюваних ІКМ-зображення  $\hat{S}_2^0$  при  $b=0$  і  $\hat{S}_2^1$  при  $b=1$ ; для кожного ІКМ-зображення наведена також сума його дискрет, яка є мірою площі у разі фіксованого шагу дискретизації.

Таблиця 2

Точно відновлювані ІКМ-зображення ДМ-подань сигналів

x	ДМ <sub>1</sub>	$\hat{S}_1^1$	ДМ <sub>2</sub>	$\hat{S}_2^0$	$\hat{S}_2^1$	ДМ <sub>3</sub>	$\hat{S}_3^0$	ДМ <sub>4</sub>	$\hat{S}_4^0$
-2.1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
-1.95	1	4	1	2	4	1	2	1	2
-1.8	1	7	1	4	7	1	4	1	4
-1.65	1	12	1	7	12	1	7	1	7
-1.5	1	20	1	12	20	1	12	1	12
-1.35	1	33	1	20	33	1	20	1	20
-1.2	1	54	1	33	54	1	33	1	33
-1.05	1	88	1	53	87	-1	53	-1	53
-0.9	-1	142	1	33	54	1	33	1	33
-0.75	1	88	1	53	87	-1	53	-1	53
-0.6	-1	142	1	33	54	1	33	1	33
-0.45	1	88	-1	53	87	-1	53	-1	53
-0.3	-1	142	1	33	54	1	33	-1	32
-0.15	1	88	-1	53	87	-1	53	-1	19
0	-1	142	1	33	54	-1	32	-1	11
0.15	1	88	-1	53	87	1	20	1	6
0.3	-1	142	1	33	54	1	33	1	12
0.45	1	88	-1	53	87	-1	53	1	20
0.6	-1	142	1	33	54	1	33	-1	33
0.75	1	88	-1	53	87	-1	53	1	20
0.9	-1	142	1	33	54	1	33	-1	33
1.05	1	88	-1	53	87	-1	53	1	20
1.2	-1	142	1	33	54	1	33	-1	33
1.35	-1	87	-1	53	87	-1	53	-1	19
1.5	-1	53	-1	32	53	-1	32	-1	11
1.65	-1	32	-1	19	32	-1	19	-1	6
1.8	-1	19	-1	11	19	-1	11	-1	3
1.95	-1	11	-1	6	11	-1	6	-1	1
2.1	-1	6	-1	3	6	-1	3	-1	0
Сума дискрет		2180	-	891	1468	-	857	-	583

Площі таких ІКМ-сигналів пропонується використовувати в якості оцінок для відповідних класів сигналів, сформованих у результаті взаємодії з дефектами суцільності:

бракувальними при  $k=0 \div 0.35$  за допомогою точно відновленого ІКМ-подання з параметром  $b=1$  огинаючої ДМ<sub>1</sub> (рис 2);

потенційно-загрозливими при  $k=0.355 \div 0.954$  із залученням двох точно відновлених ІКМ-зображень ( $b=0$  і  $b=1$ ) бінарної огинаючої ДМ<sub>2</sub>;

несуттєвими при  $k=0.955$ ч $0.977$  за допомогою точно відновлених ІКМ-подань огинаючої ДМ<sub>3</sub>.

На рис. 2 наведено приклад ДМ-подання та його точно відновлюване ІКМ-зображення сигналів для бракувальних дефектів. Двома жирними штрих-пунктирними лініями обмежено зверху і знизу розглядуваний клас модельних сигналів, котрі володіють тотожним ДМ-поданням; для кожної лінії вказано відповідне значення параметра  $k$ . Жирною суцільною лінією виділяється модельний сигнал, площа (2) якого дорівнює площі

$$Q = \Delta \sum \quad (6)$$

(де  $\sum$  – відповідна сума дискрет, наведених в останньому рядку табл. 2) використаного точно відновлюваного ІКМ-сигналу, котрий подається множиною рівновіддалених за абсцисою точок, поєднаних штриховою лінією.

Прирівнюючи вирази (2) і (6) для зазначених площ, отримуємо відповідні значення  $k$ , наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення параметра  $k$  модельних сигналів, рівновеликих точно відновлюваним ІКМ-зображенням

ДМ <sub>1</sub>	ДМ <sub>2</sub>		ДМ <sub>3</sub>
$\hat{S}_1^1$	$\hat{S}_2^0$	$\hat{S}_2^1$	$\hat{S}_3^0$
0.161	0.570	0.902	0,922

**Висновки.** У разі кроку дискретизації  $\Delta \approx 0.15$ , підбраного шляхом комп'ютерного моделювання з метою покращення якості відновлення, множина всіх модельних сигналів контролю володіє обмеженим числом ДМ-подань (зокрема, у разі 8-розрядного АЦП лише чотирма). Такі ДМ-подання використані у якості ознак при розпізнаванні сигналів від класів дефектів: бракувальних, потенційно-загрозливих і несуттєвих. Площі відповідних сигналів із похибками: 8,58%, 3,20% і 5,07%, 6,80% задовольняють площам залучених точно відновлюваних ІКМ-сигналів.

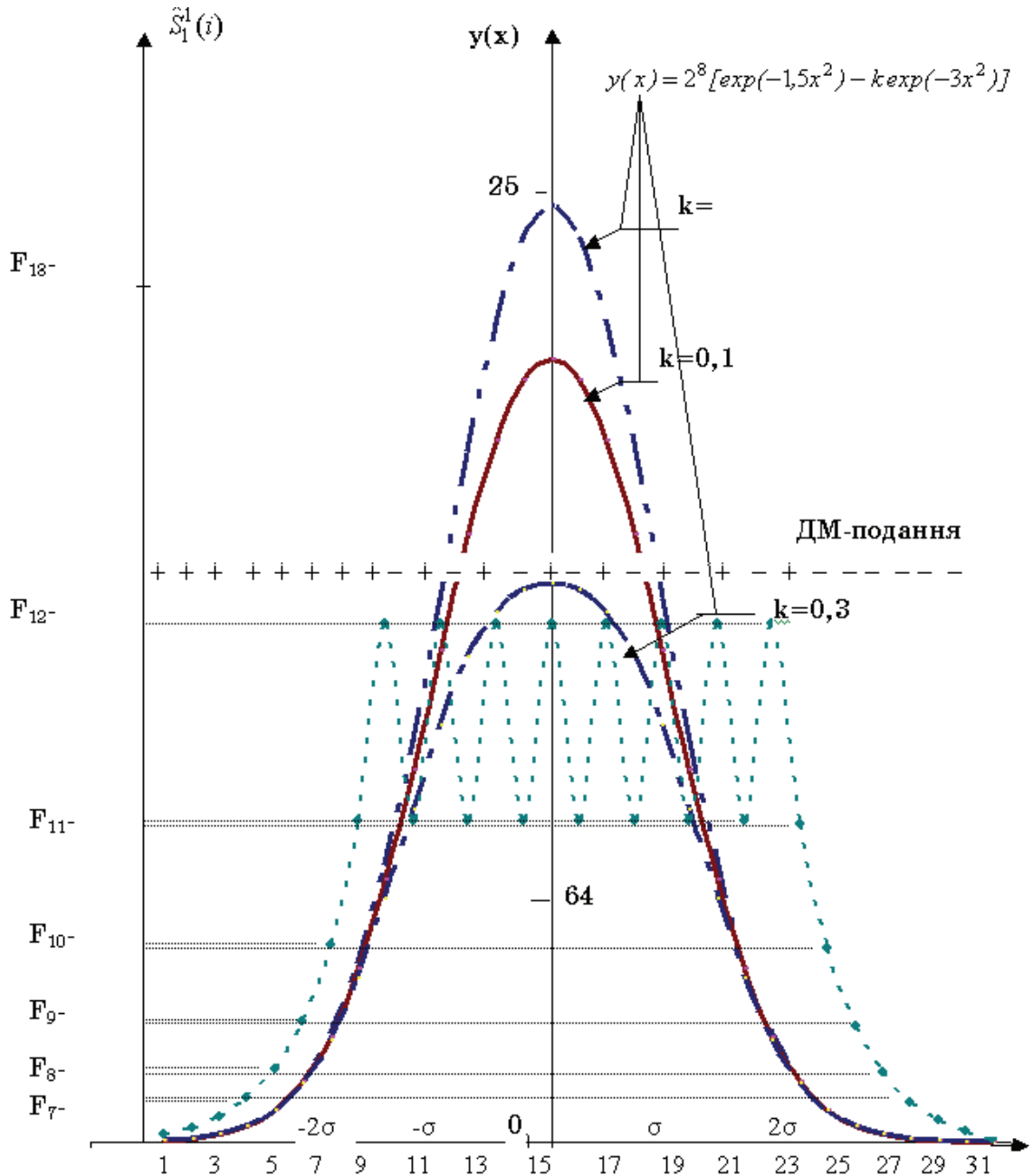


Рисунок 2 - ДМ-подання та його точно відновлене ІКМ-зображення (точки, поєднані пунктиром) сигналів бракувальних дефектів (обмежені штрих-пунктиром) при  $k=0,35$ : жирна суцільна лінія – сигнал, рівновеликий ІКМ-зображенню

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Неразрушающий контроль и диагностика/ Под ред. В.В.Клюева. - М.: Машиностроение, 2003. -656с.
2. Дорофеев А.Л., Казаманов Ю.Г. Электромагнитная дефектоскопия. - М.: Машиностроение, 1980. -232 с.
3. Хандецкий В.С., Герасимов В.В. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний //Вестник ДНУ. - 2003. - № 10. С. 24-28

4. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1981. – 496 с.
5. Пащенко В.А., Матвеева Н.А. Семейство адаптивно-модулирующих дискретных преобразований реального времени //Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(42). – Дніпропетровськ, 2006,С. 12-23.

Получено 20.02.2008 г.