

УДК 621.396.96

О.О. Дробахін, С.Г. Лебедев

## ЗАСТОСУВАННЯ РОЗПОДІЛУ ВІГНЕРА-ВІЛЛЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ В ДІЕЛЕКТРИЧНИХ СТРУКТУРАХ

*Анотація.* Розподіл Вігнера-Вілля застосовується для покращення виявлення дефектів в діелектричних структурах за їх характеристиками відбиття в НВЧ-діапазоні. Запропонований спосіб адаптивної обробки розподілу Вігнера-Вілля з урахуванням можливих форм неоднорідностей.

*Ключові слова:* Розподіл Вігнера-Вілля, дефектоскопія, НВЧ-сигнали

**Вступ.** Вироби з композиційних діелектриків знайшли широке застосування в сучасному машинобудуванні. Одним з найбільш небезпечних видів дефектів є повітряні пори. Виявлення дефектів такого класу може бути досить ефективно здійснено методами неруйнівного контролю з використанням електромагнітних хвиль НВЧ-діапазону [1]. Виявлення дефектів та оцінювання їх розмірів ускладнюються через наявність тренду, який обумовлений несталістю відстані до зразка, шумів, а також неоднорідність матеріалу.

**Аналіз публікацій.** Для покращення характеристик виявлення дефектів у роботі [2] використовувався вейвлет-аналіз, який забезпечує селекцію в просторовій та частотній областях. Аналогічні властивості притаманні розподілу Вігнера-Вілля (РВВ) [3], що робить перспективним дослідження його застосовності для задач означеного класу.

**Постановка задачі.** Розробити адаптивний метод обробки сигналу НВЧ-дефектоскопу на основі РВВ для покращення характеристик виявлення сигналів дефектів типу повітряної пори.

**Основна частина.** Формула РВВ для випадку сигналу дефектоскопу  $R$  в залежності від просторової координати  $x$  має наступний вигляд [3]:

$$W_R(x, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R\left(x + \frac{\xi}{2}\right) R^*\left(x - \frac{\xi}{2}\right) \exp(-j\omega\xi) d\xi,$$

де  $\omega$  – просторова частота.

Частотно-просторові діаграми для нього мають досить високу роздільну здатність, але крім основних елементів на частотно-просторовій діаграмі відображаються також і інтерференційні елементи, які ускладнюють обробку та інтерпретацію діаграм. Ці елементи мають осцилюючий характер, при чому присутні як додатні, так і від'ємні значення. Внаслідок цього шляхом проведення згладжування РВВ за допомогою функції  $\Pi(\xi, \varpi)$  згідно з можна значно зменшити інтерференційні складові.

$$WS_R(x, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \Pi(\xi, \varpi) W_R(x - \xi, \omega - \varpi) d\xi d\varpi$$

В даній роботі для згладжування використовувалась функція у формі диску радіусом  $r$ , тобто

$$\Pi(\xi, \varpi) = \begin{cases} 1, & \varpi^2 + \xi^2 \leq r^2 \\ 0, & \varpi^2 + \xi^2 > r^2 \end{cases}$$

В якості дефектів використовувались циліндричні отвори діаметрами 6, 3 і 12 мм у листі діелектрику товщиною 5 мм. Цей лист вкривався двома неушкодженими листами такого ж діелектрику і тієї ж товщини. Відстань від зразка до відкритого кінця хвилеводу складала 10 мм. Характеристика була розрахована на частоті 11,5 ГГц. Модельні характеристики відбиття від дефектів (рис. 1) отримані з використанням методу скінчених елементів.

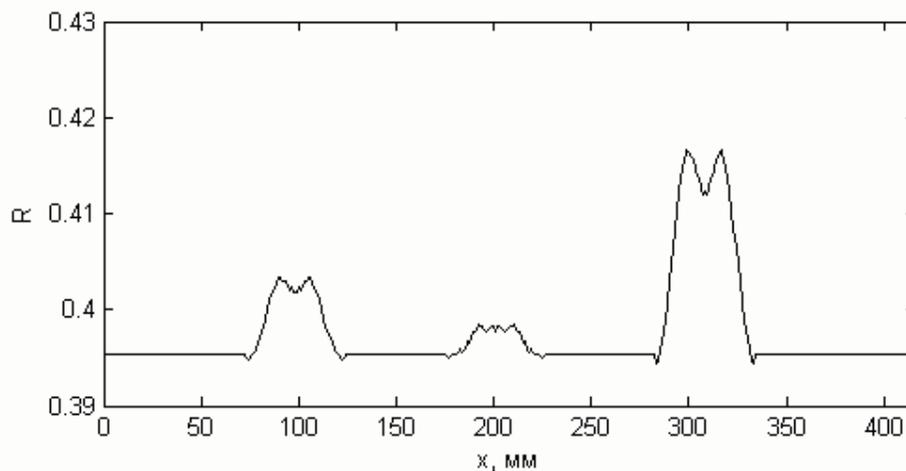


Рисунок 1 - Модельна характеристика дефектів діаметрами 6 мм, 3 мм і 12 мм

Діаграма РВВ для сигналу, що наведений на рис. 1, зображена на рис. 2. Для виявлення дефектів, рухаючись по просторовій осі РВВ, потрібно шукати максимуми в тих частотних межах, де

імовірно може знаходитись відображення дефекту. Частотні межі визначаються з РВВ модельного сигналу. Як тільки цей максимуми знайдено, потрібно відсікти віконною функцією всі значення, що знаходяться далеко від цього максимуму.

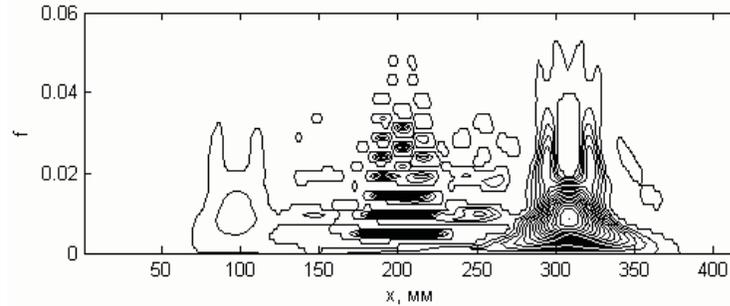


Рисунок 2 - Діаграма РВВ для сигналу, що наведений на рис. 1

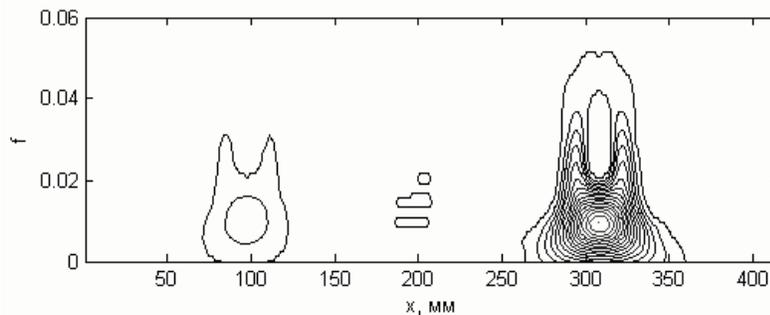


Рисунок. 3 - Діаграма РВВ, що наведений на рис. 2, після згладжування

Описаний алгоритм може бути представлений у виді

$$WF_R(x, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} WS_R(x, \omega - \varpi) h(\varpi - \omega_{\max}(x)) d\varpi ;$$

$$\omega_{\max}(x) = \max_{\omega \in (\alpha, \beta)} (WS_R(x, \omega)).$$

Тут  $h(\omega)$  – віконна функція,  $\alpha$  і  $\beta$  – межі, в яких шукається максимум. Після інтегрування розподілу  $WF_R(x, \omega)$  по всіх частотах, отримаємо наближені, дещо змінені внаслідок згладжування, положення і розміри дефектів. До згладжування була видалена низькочастотна складова з РВВ, щоб позбутися тренду. Також покращення вихідного сигналу було досягнуто шляхом введення порогу, який обмежив мінімальне значення  $\omega_{\max}(t)$ .

Результати виділення сигналів дефектів з модельної характеристики при наявності шуму та тренду показані на рис. 4. Значення SNR для найменшого дефекту складало 9 дБ.

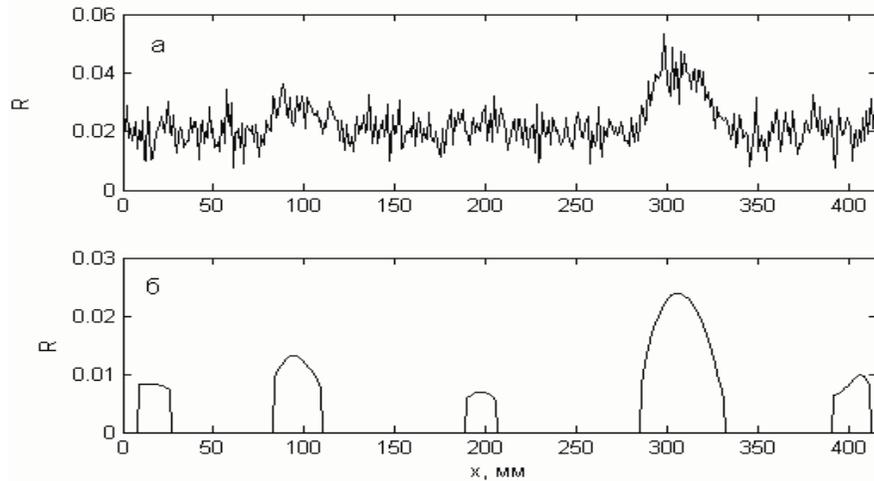


Рисунок 4 - Результати виділення дефектів (б) з модельного сигналу при наявності шуму (а)

На краях очищеної характеристики помітні деякі зайві викиди. Вони з'являються тоді, коли сигнал містить деякий тренд. Для їх згладжування потрібне занадто широке вікно  $\Pi(\xi, \varpi)$ , що може зашкодити корисному сигналові. Тому треба або враховувати тільки центральну частину сигналу, або усувати тренд іншими способами. Результати обробки експериментальної характеристики, виміряної на частоті 11.5 ГГц за допомогою комплексу [1] наведені на рис. 5.

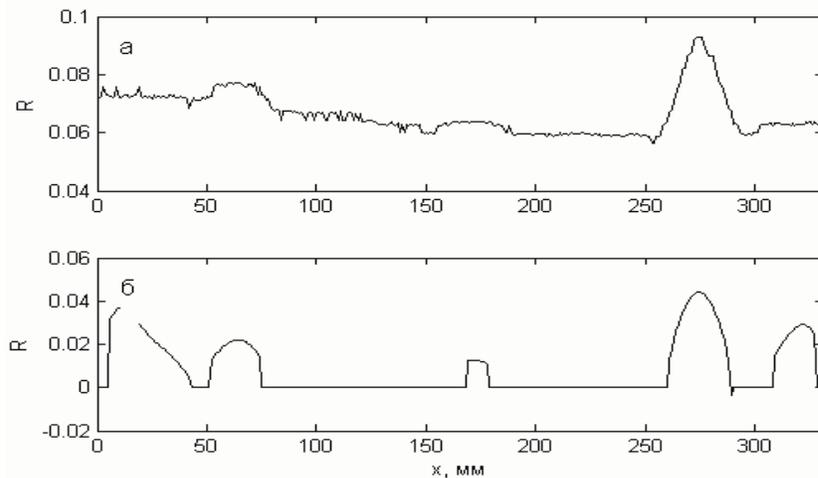


Рисунок 5 - Результати виділення дефектів (б) з експериментального сигналу, виміряного на частоті 11,5 ГГц (а)

**Висновки.** Розроблений алгоритм виділення відгуків дефектів із сигналу НВЧ радіовимірювального комплексу, що полягає в адаптивній фільтрації даних РВВ, які були згладжені після

видалення низькочастотного тренду. Ефективність роботи алгоритму підтверджена результатами обробки даних модельного і реального експериментів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Дробахин О. О., Кондратьев Е. В. Измерительно-вычислительный комплекс радиоволнового неразрушающего контроля изделий из диэлектриков: аппаратное и программное обеспечения. // Дефектоскопия, 2003, № 2, с.52-60.
2. Алексеев В. В., Андреев М. В., Дробахин О. О., Салтыков Д. Ю. Применение вейвлет-анализа для обнаружения неоднородностей в диэлектрических структурах. // Вісник Дніпропетровського університету. Фізика. Радіоелектроніка. – 2004. – №2/2 - с.20-25
3. Cohen L., Time-Frequency Distributions – A Review // Proc. IEEE. – 1989. – vol. 77, no. 7 – pp. 941-981
4. Вишневецкий О. В., Лазоренко О. В., Черногор Л. Ф. Вигнер-анализ модельных сигналов с особенностями. // Радиопизика и радиоастрономия. – 2008. – Т. 13, №2. с. 195 – 209.

Отримано 15.09.2009р.