

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОВОГО МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ**

Розвиток технологій виготовлення конструкційних матеріалів вимагає постійного удосконалення методів контролю їх стану. Одним з широко вживаних видів неруйнівного контролю є ультразвуковий контроль (УЗК). Важливим напрямом удосконалення УЗК є зниження відношення сигнал/шум, за якого можливе виявлення сигналів контролю (СК). Типовою моделлю сигналу УЗК є послідовність радіоімпульсів з гармонічною несучою та гаусовою обвідною, де перший імпульс – імпульс збудження випромінювача, а наступні – луна-імпульси дефектів:

$$s_{\text{ІМП}}(t) = U(t) \cdot \sin(2\pi f_{\text{Н}} t), \quad t \in [0, \tau_{\text{ІМП}}], \quad (1)$$

$$s_{\text{УЗК}}(t) = \sum_{k=1}^n k_{\text{ЕАТ}, i} \cdot s_{\text{ІМП}}(t - (i-1) \cdot \tau_{\text{ІМП}}). \quad (2)$$

В (1), (2) позначено: $s_{\text{ІМП}}(t)$ – випромінений радіоімпульс, $U(t)$ – гаусоподібна обвідна, $\tau_{\text{ІМП}}$ – тривалість радіоімпульсу, $f_{\text{Н}}$ – частота несучої, $k_{\text{ЕАТ}, i}$ – коефіцієнт електроакустичного тракту для i -го імпульсу, $s_{\text{УЗК}}(t)$ – модель сигналу УЗК, n – кількість імпульсів. Зазвичай, сигнал УЗК спостерігається на фоні шумів. Відомий фазовий [1] метод виявлення таких луна-імпульсів, який полягає у наступних кроках. До отриманої дискретної реалізації сигналу УЗК $s[j]$, $j = 1..N$, N – обсяг вибірки сигналу, отриманих з періодом дискретизації $T_{\text{Д}}$, застосовують дискретне перетворення Гільберта та визначають дискретну фазову характеристику $\Phi[j]$ сигналу УЗК. Знаходять різницю отриманої ФХ сигналу УЗК та ФХ гармонічної несучої $\phi[j] = \Phi[j] - 2\pi f_{\text{Н}} j T_{\text{Д}}$. До отриманих фазових зсувів застосовують операцію ковзного переміщення вікна прямокутної форми з апертурою M_r , для відібраних вікном значень фазових зсувів $\phi[j - M_r/2, j + M_r/2]$, знаходять вибіркочку результуючу довжину вектора $r[j]$, $r \in [0, 1)$ (ВРДВ):

$$r[j, M_r] = \frac{1}{M_r} \sqrt{\left(\sum_{k=j-0.5M_r}^{j+0.5M_r} \cos \phi[k] \right)^2 + \left(\sum_{k=j-0.5M_r}^{j+0.5M_r} \sin \phi[k] \right)^2}, \quad j = 0.5M_r, \quad N - 0.5M_r.$$

На виділених вікном M_r ділянках аналізу за наявності луна-сигналу з гармонічною несучою частотою $f_{\text{Н}}$ значення r збільшуються, а за наявності лише шумової компоненти – зменшуються. Перевищення статистикою r певного порогового рівня $P_{\epsilon} \in [0, 1)$ вказує на наявність сигналу УЗК на аналізованій ділянці вибірки $\phi[j]$.

Для відомого фазового методу виявлення сигналів УЗК необхідно провести дослідження залежності відношення сигнал/шум на виході виявляча від відношення сигнал/шум на вході та апертури вікна M_r . Модель досліджуваного сигналу – суміш сигналу УЗК (2) та адитивного шуму з дисперсією σ^2 . Умови проведення експерименту: частота дискретизації $f_{\text{Д}} = 50 \text{ МГц}$, частота несучої $f_{\text{Н}} = 1 \text{ МГц}$, кількість періодів несучої частоти в одному імпульсі – 6, $\tau_{\text{ІМП}} = 6 \text{ мкс}$, апертура вікна $M_r = \{100, 200, 300, 400, 500\}$, вибрана з інтервалу $[0, 3 \cdot \tau_{\text{ІМП}} f_{\text{Д}}, 2 \cdot \tau_{\text{ІМП}} f_{\text{Д}}]$, кількість імпульсів $n=2$.

Відношення сигнал/шум для статистики r , як для неенергетичної характеристики, визначалося наступним чином [1]:

$$(C/Ш)_{\text{Вих}} = (r[j, M_r]_{\text{max}} - \bar{r}) / S_r$$

де $r[j, M_r]_{max}$ – максимальне значення статистики r для луна-сигналу, \bar{r} – середнє значення статистики r на ділянках, де відсутні луна-сигнали, S_r – оцінка середньоквадратичного відхилення статистики r за відсутності луна-сигналів. Відношення сигнал/шум для вхідного сигналу: $(C/Ш)_{вх} = A^2/\sigma^2$, де A – амплітуда луна-імпульсу. Результати моделювання представлені на рисунку 1. Перевищення статистикою r рівня $\text{Pe}[0,1)$ вказує на наявність сигналу УЗК на аналізованій ділянці вибірки $\phi[j]$. Для забезпечення високого рівня достовірності контролю доцільно обирати рівень порогу Π для $(C/Ш)_{вх} \geq 6$.

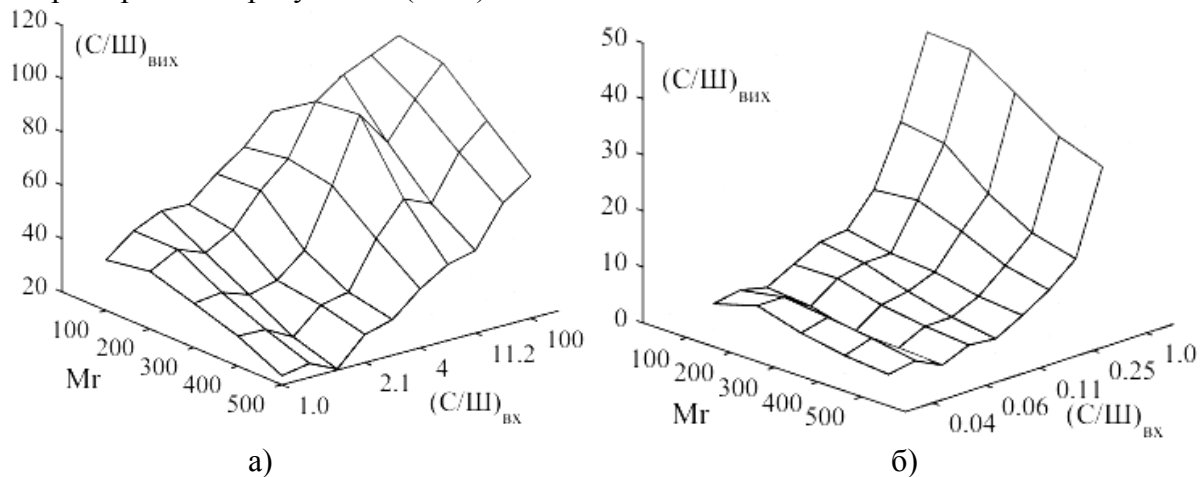


Рисунок 1. Дослідження ефективності фазового методу:
а) для $(C/Ш)_{вх} > 1$; б) для $(C/Ш)_{вх} \leq 1$

З рисунку 1,а випливає що виявлення сигналів УЗК за зроблених припущень для $(C/Ш)_{вх} > 1$ відбувається без помилок. З рисунку 1,б випливає що фазовий метод доцільно використовувати для $(C/Ш)_{вх} \geq 0,2$, а апертуру вікна обирати з інтервалу: $M_r \in [0,5 \cdot \tau_{\text{імп}}; f_d, \tau_{\text{імп}}; f_d]$. За таких умов було отримане $(C/Ш)_{вх} \approx 6$, що дозволяє виявляти імпульси на фоні адитивного шуму та визначити їх часове положення. На рисунках 2,а,б наведено приклад виявлення сигналу УЗК для $(C/Ш)_{вх} = 0,2$. На рис. 2, а наведено графік сигналу УЗК, де перший імпульс – зондуєчий, другий відбитий від дефекту, отриманий за відношення $(C/Ш)_{вх} = 0,2$.

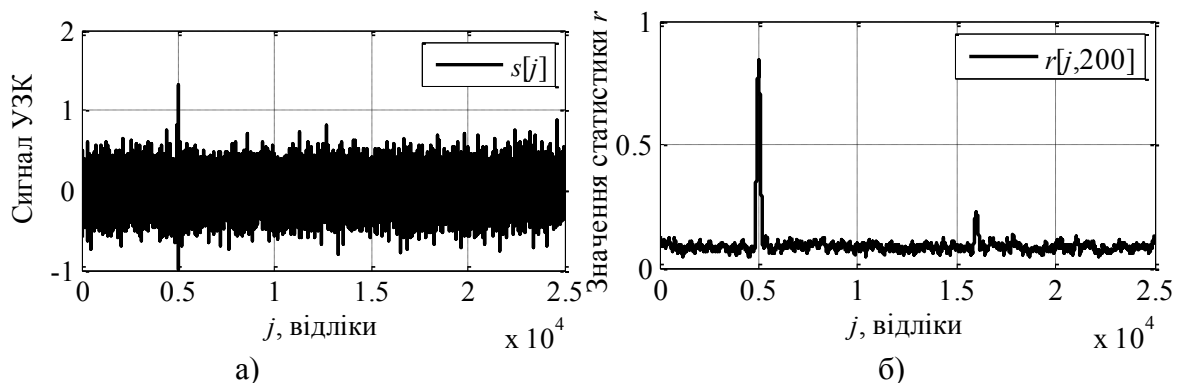


Рисунок 2. Графіки сигналу (а) та статистики r (б)

Забезпечення працездатності фазового методу за малих відношень сигнал/шум на вході фазового виявляча дозволяє виявляти менші за розмірами дефекти.

Список посилань

1. Бистра І.М. Експериментальні дослідження фазового методу ультразвукового неруйнівного контролю / І.М. Бистра, Ю.В. Куц, Ю.А. Олійник // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – № 1/9 (61). – С. 49–53.