

УДК 620.179

Н.В. Мороз, студент гр. ПК-81мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СТАТИСТИЧНОЇ ФАЗОМЕТРІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ

Анотація. Розглянуто методи статистичної фазометрії в ультразвуковій товщинометрії (УЗТ). Описано та проведено експериментальні дослідження методу виявлення донних сигналів на фоні шумів. Проведено аналіз виявлення корисного сигналу за амплітудною та фазовою характеристикою сигналу. Фазова характеристика сигналу визначалась на основі дискретного перетворення Гільберта. За даними дослідження було встановлено, що запропонований спосіб дає змогу підвищити точність вимірювання товщини виробів.

Ключові слова: ультразвукова товщинометрія, фазова характеристика сигналу.

ВСТУП

Методі ультразвукового неруйнівного контролю призначення для дослідження якості та відповідності об'єкту контролю певним стандартам. Наразі широкого застосування у виробництві набув метод ультразвукової товщинометрії для вирішення задач контролю геометричних розмірів певних об'єктів та виробів: стінок судів, які працюють під високим тиском, ємностей, що мають лише зовнішній доступ до стінки, тощо [1].

Від товщини об'єкта контролю залежить його міцність. Забезпечення контролю товщини виробів з матеріалів зі значним загасанням ґрунтується на розвитку методів прецизійного визначення часу поширення ультразвукових сигналів в об'єктах контролю за низького відношення сигнал/шум (с/ш).

МЕТА СТАТТІ

Дослідження можливості використання в УЗТ методу статистичної фазометрії для прецизійного визначення часу затримки сигналів за їх амплітудними та фазовими характеристиками [2].

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ МОДЕЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Фазова та амплітудні характеристики сигналів УЗТ в проведених дослідженнях отримувались за допомогою перетворення Гільберта. Застосування цього перетворення дозволяє отримувати вибірки характеристик сигналів таких обсягів, які дозволяють застосовувати до них методи статистичного опрацювання.

Розглянутий метод виявлення сигналів базується отриманні кругових статистик за фазовою характеристикою адитивної суміші сигналу з гауссовим шумом. Зокрема для виявлення сигналів УЗТ у формі радіоімпульсів з синусоїдним сигналом-носієм використовується така статистика як результуюча довжина вектора (r-статистика) [3].

На практиці сигнал, який надходить на обробку, представлений поєднанням корисної складової, що несе інформацію про об'єкт контролю (ОК) і шумової, що утворюється власними шумами апаратури та шумами середовища. В якості шуму використана модель гауссового шуму з нульовим математичним сподіванням і дисперсією σ^2 , відношення с/ш оцінювалось як відношення амплітуди сигналу до σ [4].

Методією проведення експериментів передбачалося визначення поточних значень різниці різниці фазової характеристики сигналу-носія та оцінювання значень статистики r в ковзному режимі, під час руху прямокутного вікна відносно вибірки Ψ . Апертура вікна M_r обиралась кратною періоду несучого сигналу.

На кожному j -тому кроці аналізу підлягає сукупність значень

$$\Delta f[k, M_r] = \left\{ \Delta f[k], k\hat{f}j - \frac{M_r}{2}, j + \frac{M_r}{2}, j\hat{f}\frac{M_r}{2}, n - \frac{M_r}{2} \right\}. \quad (1)$$

Поточне значення статистики r визначається в відповідності до виразу

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

Нижче розглянуто результати моделювання задачі визначення чотирьох донних сигналів УЗТ на основі аналізу функції $r[Mr]$.

В проведених досліджах обиралась амплітуда першого імпульсу на прикладі знаходження чотирьох донних сигналів в адитивній суміші ультразвукового радіоімпульсного сигналу з гауссівською обвідною і гауссового шуму з середньоквадратичним значенням $\sigma=0,2$ (в відносних одиницях), для двох ковзних вікон різної тривалості.

Для параметрів сигналу були обрані наступні значення: частота сигналу-носія $f = 10$ кГц, період дискретизації $T_d = 10^{-7}$ с, кількість аналізованих донних імпульсів $k=4$, інтервал часу аналізу $t \in [0; 4 \cdot 10^{-3}]$ с; апертури ковзних вікон - $Mr = 100$ та $Mr = 400$.

Графік донних сигналів та їх суміш з гауссовим шумом ($u[j]$) представлені відповідно на рис. 1 а, б.

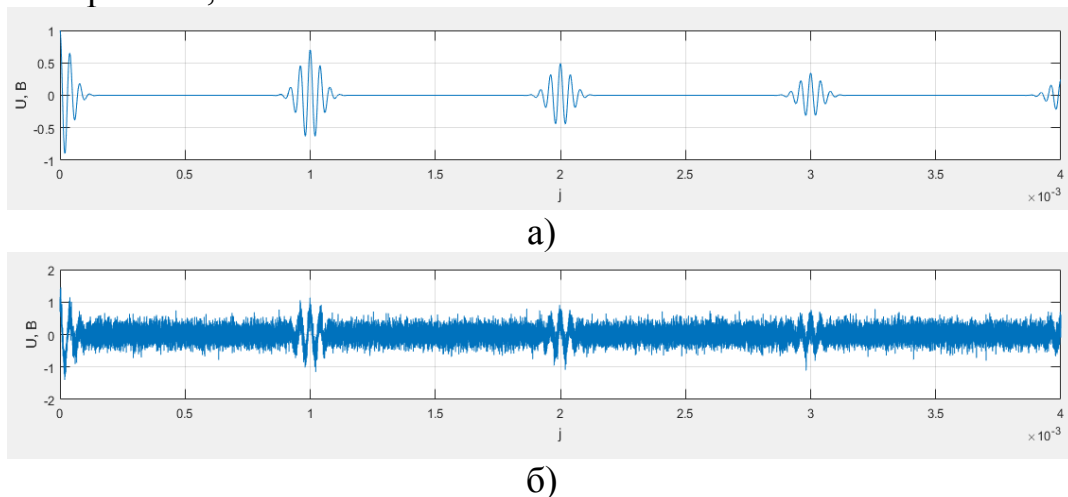


Рисунок 1. Досліджуваний сигнал $u[j]$ (а) і їх адитивна суміш з гауссовим шумом (б).

З метою порівняння амплітудного та фазового методів для зачумленого сигналу визначалась дискретна амплітудна характеристика сигналу (АХС), яка розраховувалась за формулою:

$$A[j] = \sqrt{u^2[j] + \hat{u}^2[j]}, \quad (3)$$

де $u[j]$ – дискретне перетворення Гільберту сигналу $u[j]$.

На рис. 2 приведено графіки АХС без шуму і за наявності в сигналі адитивного гауссового шуму.

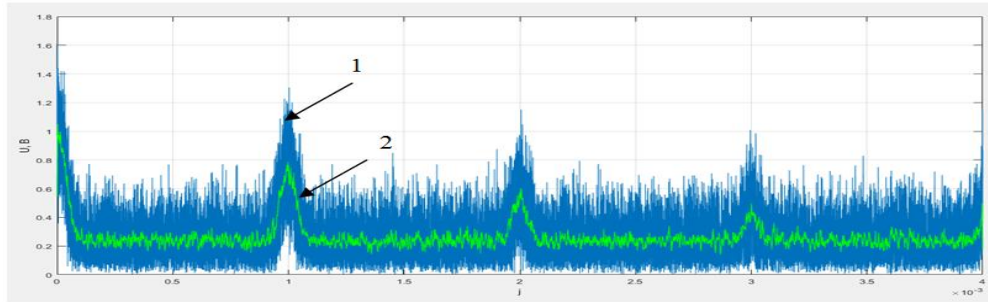


Рисунок 2. Графіки обвідної: 1 – для $u[j]$; 2 – для адитивної суміші $u[j]$ з гауссовим шумом.

Рис. 2 вказує на те, що розпізнання донних сигналів за наявності шуму на АХС є не достовірним. В такому разі є необхідність перевірити ефективність застосування статистичний аналіз фазової характеристики сигналу (ФХС) для виявлення сигналів УЗТ. Наявність корисного сигналу формується за поточними значеннями результуючого вектору $r[j]$, отриманими в результаті статистичної обробки значень $\Delta\varphi[j]$. Визначення $r[j]$ виконується в ковзному режимі, обсяг усереднення і тривалість часового вікна виберемо однаковими і рівними M_r .

З рис. 3 представлена дробова частина ФХС, яка використовується для визначення γ -статистики за виразом (2).

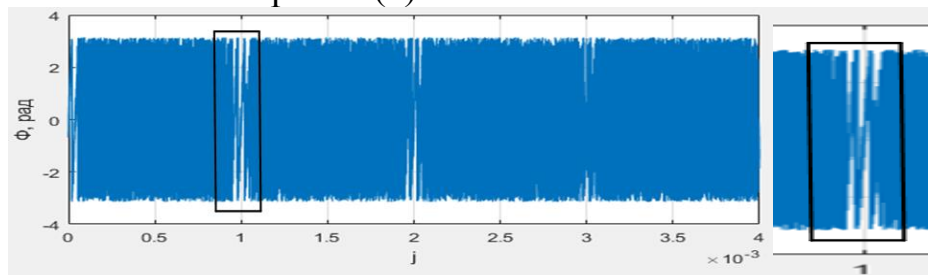


Рисунок 3. Графік дробової частини ФХС

Визначення $\Delta\varphi[j]$ супроводжується суттєвим впливом шуму, в результаті чого ця функція стрибкоподібно змінюється на величину 2π з частотою, що значно перевищує частоту гармонічного сигналу-носія.

З рис. 3 видно, що на ділянці існування радіоімпульсу, дробова частина ФХС має більш-менш регулярний характер. Визначення дробової частини різниці ФХС на ділянках, де присутні сигнали УЗТ, дає величину близьку до сталої, що власне і дозволяє за оцінкою вибіркової результуючої довжини визначити часове положення радіоімпульсу.

На рис. 4 показано графіки вибіркової результуючої довжини r -статистики, отримані при застосуванні ковзного прямокутного вікна, для різних значень апертури вікна M_r .

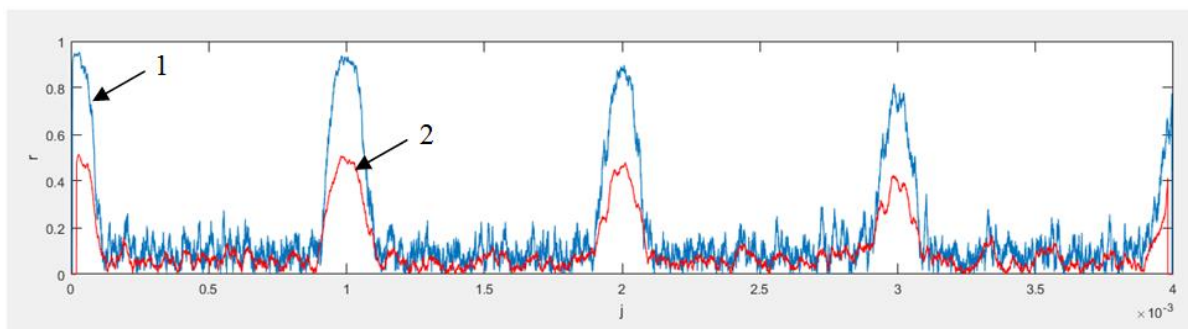


Рисунок 4. Графіки функцій $g[j]$ для $Mr = 100$ (крива 1) і $Mr = 400$ (крива 2)

Провівши порівняльний аналіз рис. 2 та рис. 3, видно, що використання фазової обробки є ефективним за амплітудний метод в задачах виявлення донних сигналів УЗТ на фоні значних завад, і дає можливість визначити часове положення донних сигналів. Використання вікон різної тривалості Mr дає додаткові можливості для підвищення точності визначення місця знаходження донних сигналів УЗТ.

ВИСНОВКИ

В ході роботи було порівняльний аналіз амплітудної та фазової характеристик сигналу для знаходження донних імпульсів при УЗТ. Дослід показав, що ФХС дає змогу розпізнавати прийнятий сигнал від дна ОК навіть за наявності великого впливу шумів.

Використання *r-статистики* в задачах УЗТ дозволяє ефективно виявляти корисний сигнал та визначити місце знаходження сигналу. Виявлення сигналів потребує реалізації ковзного режиму аналізу фазових даних і визначення поточних значень статистики r .

Проведений аналіз точності вимірювання довів, що запропонований спосіб дає можливість прецизійного вимірювання товщини виробів з різних металевих і неметалевих матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Неразрушающий контроль: В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практик. пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; Под ред. В. В. Сухорукова. — М.: Высш. шк., 1991. — 283 с.
- [2] Куц Ю. В., Л. М. Щербак. Статистична фазометрія. — Тернопіль: Вид-во Терноп. технологіч. ун-ту, 2009. — 383 с.
- [3] Куц Ю. В. Статистична обробка результатів кутових вимірювань сигналів / Куц Ю. В., Л. М. Щербак. // Вісник НАУ. — 2003. — №3-4. С. 22-26.
- [4] Марченко Б.Г., Приймак М.В., Щербак Л.М. Теоретичні основи аналізу стохастичних сигналів і шумів. Навчальний посібник. — Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя, 2001. — 179 с.

Науковий керівник: д.т.н., професор Куц Ю.В.