

ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА-ХУАНГА В УЛЬТРАЗВУКОВОМУ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Дергунов О.В., аспірант, Національний авіаційний університет, м. Київ,
dergunov.av@gmail.com

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). Таке завдання вирішується шляхом застосування більш досконалих алгоритмів цифрової обробки сигналів в аналізі СК. Типовою моделлю сигналу УЗК є сума зондуючого, відбитого від дефекту та донного радіоімпульсів з гармонічною несучою та гаусовою обвідною. Відомий фазовий метод обробки сигналів УЗК [1,2], який ґрунтується на аналізі дискретної фазової характеристики $\Phi[j]$ (ФХ) сигналу УЗК, де $j = 1..N$, N – обсяг вибірки сигналу отриманого з періодом дискретизації T_d та частотою дискретизації f_d . ФХ сигналів отримують за допомогою їх перетворення Гільберта (ПГ). Ознаку наявності радіоімпульсу формують за допомогою статистики r , яка визначається для множини $\varphi[j]$, де $\varphi[j] = \Phi[j] - 2\pi f_H j T_d$, f_H – частота несучої. Статистику r визначають в ковзному режимі вікном з апертурою M_r за виразом:

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

На виділених вікном M_r ділянках аналізу за наявності луна-сигналу з гармонічною несучою частотою f_H значення r збільшуються, а за наявності лише шумової компоненти – зменшуються. Перевищення статистикою r певного порогового рівня $P \in [0,1)$ вказує на наявність радіоімпульсу на аналізованій ділянці вибірки $\varphi[j]$. Далі описаний вище метод будемо називати "базовим фазовим методом". Модельні дослідження показали що використання цього методу дозволяє виявляти луна-імпульси за відношення вхідний сигнал/шум $(С/Ш)_{вх} \geq 0,2$. Для зниження відношення вхідний сигнал/шум за якого можливе виявлення радіоімпульсів доцільно провести додаткові дослідження базового фазового методу і перевірити можливість його модифікації за рахунок додаткового оброблення сигналів. Запропоновано використовувати таке оброблення шляхом: 1) вилучення з вхідного сигналу шумової компоненти; 2) застосування адаптивної медіанної фільтрації до дискретної функції $r[j, M_r]$.

В доповіді розглянуто застосування методу аналізу нестационарних сигналів відомого як перетворення Гільберта-Хуанга (ПГХ) [3, 4] спільно з фазовим методом виявлення радіоімпульсів. Це перетворення використовують для попередньої фільтрації шумової складової в сигналі

контролю. Перетворення складається з двох етапів: емпіричної модової декомпозиції (ЕМД) та Гільберт-аналізу. Для вирішення різних задач ці два етапи можуть використовуватись як спільно, так і окремо. Застосування емпіричної модової декомпозиції дозволяє представити аналізовані дані у вигляді суми циклічних компонент (власних модових функцій) та шуму. Застосування до отриманих циклічних компонент Гільберт-аналізу дає узагальнену інформацію про розвиток амплітудних та частотних характеристик досліджуваного процесу в часі.

Попередній аналіз СК з використанням ПГХ реалізується наступним чином. До вхідного сигналу $s[j]$, $j = 1..N$, застосовують ЕМД та визначають масив циклічних компонент $imf[j,k]$, $k = 1..K$, K – кількість визначених циклічних компонент. Серед визначених циклічних компонент відбирають ті, які не несуть ознак випадковості, та використовують їх сукупність для відновлення сигналу. До відновленого сигналу $s_v[j]$, застосовують перетворення Гільберта та визначають фазову характеристику $\Phi_v[j]$ та різниці $\varphi_v[j]$ відновленого сигналу. Далі за базовим фазовим методом знаходять статистику $r_{EMD}[j, M_r]$. Порівняння результатів такої процедури (рис. 1,б) із результатами базового фазового методу (рис. 1,а) свідчить про зростання амплітуди піків статистики, проте, разом із цим збільшується дисперсія статистики на ділянках сигналу де імпульси відсутні.

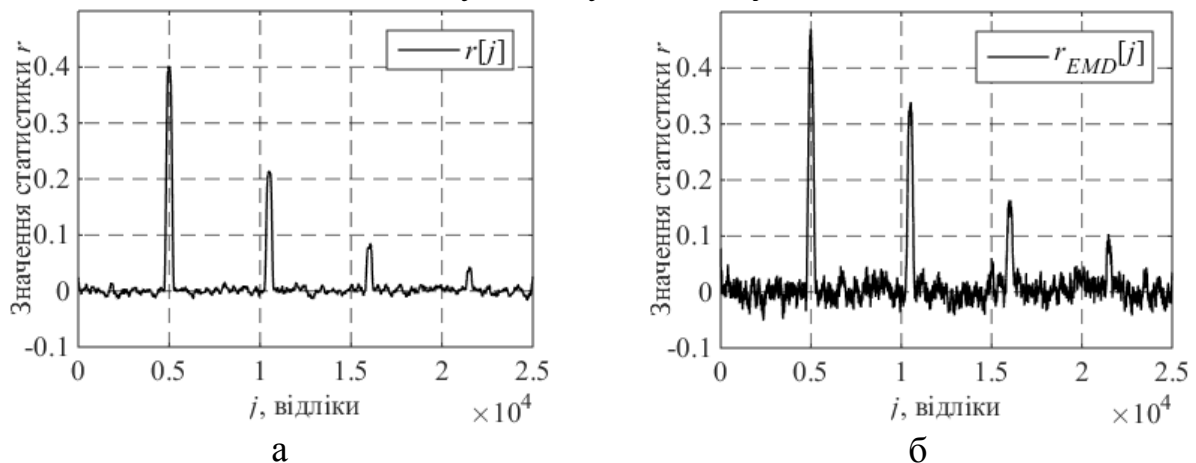


Рисунок 1 – Графіки r -статистики: а) базового фазового методу, б) фазового методу з використанням попередньої обробки

Для зменшення дисперсії та збереження високих амплітудних значень піків запропоновано до отриманої статистики $r_{EMD}[j, M_r]$ застосувати адаптивну медіанну фільтрацію (АМФ). Приклад реалізації модифікованого фазового методу виявлення сигналів УЗК наведено на рисунку 2, де $r_f[j, M_r]$ – результат фільтрації адаптивним медіанним фільтром статистики $r_{EMD}[j, M_r]$.

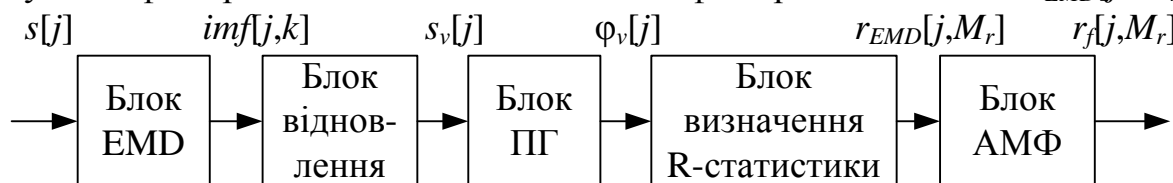


Рисунок 2 – Приклад реалізації модифікованого фазового методу виявлення імпульсних сигналів із використання перетворення Гільберта-Хуанга

Для отримання числових оцінок ефективності запропонованого методу виявлення сигналів УЗК проведено порівняння відношення сигнал/шум $((C/Ш)_{вих})$ для базового та модифікованого методів (рисунок 3). Відношення $(C/Ш)_{вих}$ для статистики r визначають наступним чином [1]:

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

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 СКВ статистики r за відсутності луна-сигналів.

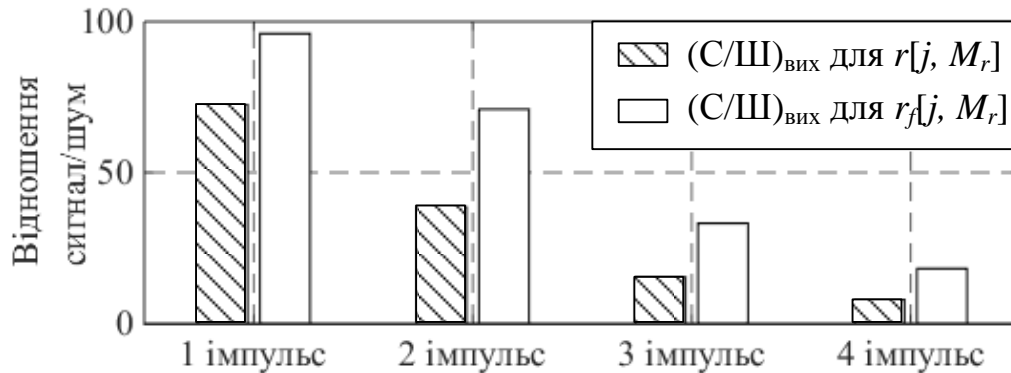


Рисунок 3 – Порівняння відношення сигнал/завада на виході виявляча для базового та модифікованого фазового методу виявлення сигналів УЗК

В доповіді представлено приклад реалізації модифікацію фазового методу виявлення сигналів УЗК та його дослідження. Показано збільшення $(C/Ш)_{вих}$ для модифікованого фазового методу, в порівнянні із базовим, до 2,3 разів для обраних параметрів сигналу УЗК ($(C/Ш)_{вх} = 0,2$, $f_H = 1$ МГц, $f_D = 50$ МГц). Використання перетворення Гільберта-Хуанга та адаптивної медіанної фільтрації дозволило зменшити відношення вхідний сигнал/шум за якого можливе виявлення радіоімпульсів з 0,2 до 0,08, що робить можливим виявлення менших за розмірами дефектів.

Список літератури

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.
2. Бистра І.М. Аналіз ефективності фазового методу виявлення сигналів ультразвукового контролю / І.М. Бистра, Ю.В. Куц, Ю.А. Олійник, В.К. Цапенко // «Авіа-2013»: матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конф., 21–23 травня 2013 р.: тези доп. – К.: НАУ, 2013. – Т.1. – С. 1.9–1.12.
3. Norden E. Huang. Hilbert-Huang transform and its Applications// World Scientific Publishing Co. Pte.Ltd, 2005 – 324p.
4. Dergunov O.V., Empirical mode decomposition in signal analysis / Dergunov O.V., Trots V. M., Kuts Y.V., Shcherbak L.M. // Aviation in the XXI-st century, 2010, (Kyiv, 21-23 September 2010) [etc.]. – К.: NAU, 2010. – P. 12.21 – 12.26.