



УКРАЇНА

(19) UA (11) 18441 (13) U  
(51) МПК (2006)  
G01B 17/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

**(54) СПОСІБ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ БАГАТОШАРОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ**

1

2

(21) u200604354

(22) 18.04.2006

(24) 15.11.2006

(46) 15.11.2006, Бюл. № 11, 2006 р.

(72) Єременко Володимир Станіславович, Куц  
Юрій Васильович, Монченко Олена Володимирів-  
на

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб ультразвукового вимірювання товщини  
багатошарових матеріалів та виробів, що включає

формування акустичного зондуючого радіоімпульс-  
ного сигналу, введення його в об'єкт контролю,  
приймання сигналу після його розповсюдження в  
об'єкті, обчислення його товщини за часом затри-  
мки сигналу та відомою швидкістю розповсюджен-  
ня, який **відрізняється** тим, що визначають фазо-  
ву характеристику суми зондуючого і відбитого  
сигналів, а затримку розповсюдження сигналу в  
об'єкті контролю вимірюють за часовим положен-  
ням спотворення фазової характеристики сигналу.

Корисна модель відноситься до луна-  
імпульсної ультразвукової товщинометрії і призна-  
чена для вимірювання товщини тонких середовищ  
або їх шарів з різними акустичними характеристи-  
ками.

Відомий спосіб луна-імпульсної ультразвуко-  
вої товщинометрії, що включає формування зон-  
дуючого радіоімпульсного сигналу, введення його  
в об'єкт контролю (ОК), прийом донного сигналу  
після його проходження через ОК, визначення йо-  
го обвідної, обчислення товщини ОК по відомій  
швидкості розповсюдження сигналу в ОК та часу  
розповсюдження, який визначається по затримці  
між обвідними зондуючого та донного сигналів [1].

Недоліком даного способу є наявність мертвої  
зони, тобто ділянки ОК, в межах якої неможливе  
виділення окремо обвідних донного і зондуючого  
сигналів внаслідок їх накладання. Ця зона може  
бути частково скорочена за рахунок підвищення  
частоти заповнення зондуючого радіоімпульсу і  
скорочення його тривалості. Проте такий спосіб  
має свої обмеження (з ростом частоти суттєво  
збільшується поглинання сигналу в матеріалі ОК,  
отже погіршується співвідношення сигнал/шум) і  
не усуває цей недолік.

Найбільш близьким по технічній суті до корис-  
ної моделі, що заявляється, є спосіб луна-  
імпульсної ультразвукової товщинометрії, що  
включає формування зондуючого радіоімпульсно-  
го сигналу, введення його в ОК через ультразвуко-  
ву лінію затримки (ЛЗ), прийом донного сигналу

після його проходження через ОК та ЛЗ, визначен-  
ня його обвідної, обчислення товщини ОК по відо-  
мій швидкості розповсюдження сигналу в ОК та ЛЗ  
та часу розповсюдження сигналу в ОК, який ви-  
значається по затримці між обвідними зондуючого  
та донних сигналів [2].

Такий спосіб дозволяє усунути мертві зони при  
вимірюванні товщин одношарових ОК, але не до-  
зволяє виконувати вимірювання товщин багато-  
шарових середовищ, оскільки відбиті від різних  
шарів ОК донні сигнали накладаються.

В основу корисної моделі поставлено задачу  
ультразвукового вимірювання товщини багатоша-  
рових матеріалів та виробів шляхом визначення  
фазових характеристик суміші зондуючого і донних  
сигналів та виявленням збурення забезпечити  
вимірювання багатошарових об'єктів з плоско-  
паралельними шарами.

Поставлена задача удосконалити корисну мо-  
дель вирішується тим, що спосіб ультразвукового  
вимірювання товщини багатошарових матеріалів  
та виробів містить формування акустичного зон-  
дуючого радіоімпульсного сигналу, введення його  
в ОК, приймання сигналу після його розповсю-  
дження в об'єкті, обчислення його товщини по часу  
затримки сигналу та відомій швидкості розповсю-  
дження, у якому згідно з корисною моделлю, ви-  
значається фазова характеристика суми зондую-  
чого і відбитого сигналу, а затримка  
розповсюдження сигналу в ОК вимірюється по  
часовому положенню спотворення фазової харак-

(13) U  
(11) 18441  
(19) UA

теристики сигналу (ФХС).

Введення і виведення ультразвукового сигналу з ОК відбувається за допомогою суміщеного п'єзоелектричного перетворювача.

На Фіг.1. зображено блок-схему пристрою, на якому реалізується спосіб, яка містить 1 - генератор синусоїдальних коливань Г4-102, 2 - формувач радіоімпульсного сигналу, 3 - підсилювач потужності, 4 - суміщений п'єзоелектричний перетворювач П1111-5.0-К3-001, 5 - цифровий осциллограф GDS-840S, 6 - персональний комп'ютер, 7 - блок математичного забезпечення.

На Фіг.2 зображено типові сигнали ультразвукової товщинометрії:

Фіг.2.а - зонduючий  $u_z(t)$ , Фіг.2.б - донний  $u_d(t)$ , Фіг.2.в - суперпозиція зонduючого і донного сигналів:  $u(t)=u_z(t)+u_d(t)$ .

На Фіг.3 наведено: Фіг.3.а - сигнал  $u(t)$ , його гільберт-образ  $\hat{u}(t)$  та обвідну  $U(t)$ , а на Фіг.3.б - графік розрахованої функції  $\delta\Phi(t)$ , отриманої за формулою (5).

Спосіб реалізується на прикладі відомих функціональних блоків та пристроїв (див. Фіг.1).

Генератор 1 формує неперервний гармонічний сигнал, який поступає на формувач радіоімпульсного сигналу 2, після підсилення потужності в блоці 3 сигнал подається на суміщений п'єзоелектричний перетворювач 4, який перетворює електричний сигнал в акустичний. Прийнятий після розповсюдження в ОК сигнал перетворюється тим же перетворювачем 4 і подається на осциллограф 5. Останній формує вибірки зонduючого і донного сигналів і передає їх для аналізу та подальшої обробки в блок 6. Алгоритм обробки та відтворення отриманих результатів виконується за допомогою математичного забезпечення 7.

ФХС визначається за допомогою т.з. аналітичного сигналу, який утворюється з вихідного дійсного сигналу  $u(t)$  і являє собою комплексний сигнал, дійсна частина якого є вихідним сигналом, а уявна - гільберт-образом цього сигналу [3].

$$\hat{z}(t)=u(t)+j\hat{u}(t) \quad (1)$$

$$\hat{u}(t)=\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{u(t+\tau)-u(t-\tau)}{\tau} d\tau \quad (2)$$

Обвідна і фаза сигналу визначаються як:

$$\tilde{U}(t)=\sqrt{u^2(t)+\hat{u}^2(t)} \quad (3)$$

$$\tilde{\Phi}(t)=\arctg \frac{\hat{u}(t)}{u(t)} + K \left[ \tilde{U}(t), \hat{u}(t) \right] \quad (4)$$

K - оператор, що усуває стрибки фази в точках

переходу через границі інтервалів  $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$ . Якщо

використовується радіоімпульсний зонduючий сигнал з гармонічною несучою, фазова характеристика неспотвореного сигналу є лінійною функцією часу  $\Phi(t)=2\pi f t + \phi_n$ , де  $f$  - частота сигналу заповнення радіоімпульсу,  $\phi_n$  - початкова фаза. При суміщенні в часі донного і зонduючого сигналів ФХС сумарного сигналу буде мати стрибок у межах  $\pm\pi$ . Стрибок фази оцінюється величиною  $\delta\Phi(t)$ :

$$\delta\Phi(t)=\tilde{\Phi}(t)-\Phi(t) \quad (5)$$

Викладене вище підтверджують результати моделювання задачі луна-імпульсної товщинометрії.

Обвідна суперпозиції зонduючого і луна-сигналу мало відрізняється від обвідної зонduючого, що не дає змогу використовувати її для надійного визначення затримки розповсюдження сигналу в ОК (див. Фіг.2).

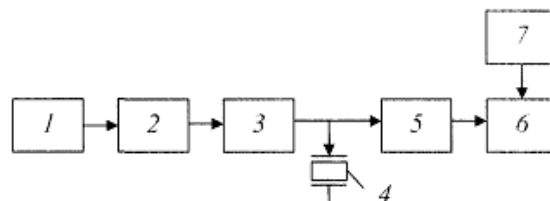
З графіка (див. Фіг.3) видно, що на інтервалі  $t \in (0,03; 0,05)$ с фаза сигналу стрибкоподібно змінюється на величину  $\sim 1,5$  рад. Часове положення стрибка фази відповідає моменту приходу донного імпульсу. Таким чином, визначаючи часове положення стрибка фази відносно зонduючого сигналу можна визначити  $\tau_{роз}$  - час розповсюдження ультразвукового сигналу в ОК. Невідома товщина ОК

розраховується за формулою  $d = \frac{v\tau_{роз}}{2}$ .

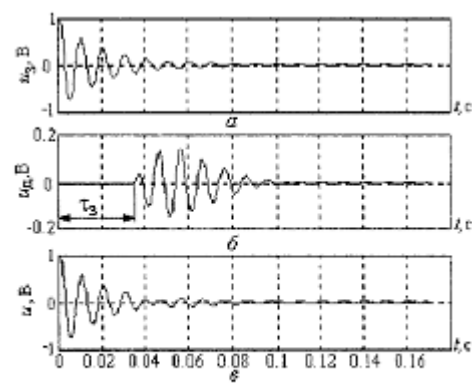
Даний спосіб дає можливість досліджувати багатопарові об'єкти з плоско-паралельними шарами, оскільки кожен шар, що відрізняється акустичними властивостями, буде породжувати свій донний сигнал, який, навіть в разі накладання з іншим донним або зонduючим сигналами, буде спотворювати ФХС прийнятого сигналу.

Джерела інформації:

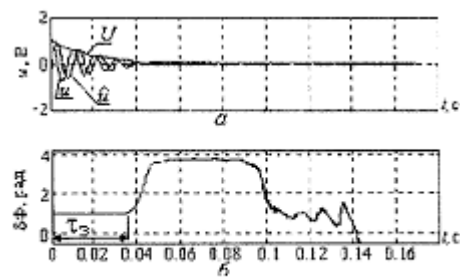
1. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. - М. Машиностроение 1981. - 240 с., ил. - (Библиотека приборостроителя). - 173 с.
2. Королев М.В. Безэталонные ультразвуковые толщиномеры. - М. Машиностроение 1985 - 80 с., ил. - (Библиотека приборостроителя). - 9 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 540 С. - 471 с.



Фіг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3