

УКРАЇНА



# ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 100756

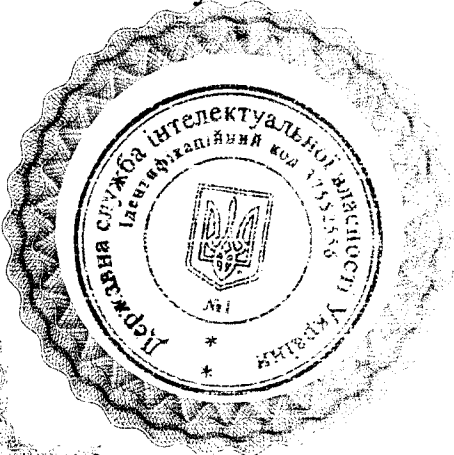
УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДВОШКАЛЬНИЙ СПОСІБ  
ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ВИРОБІВ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.08.2015.

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова



(19) UA

(51) МПК  
G01B 17/02 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2015 01408

(22) Дата подання заявки: 19.02.2015

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2015

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.08.2015, Бюл. № 15

(72) Винахідники:  
Куц Юрій Васильович, UA,  
Олійник Юрій Анатолійович,  
UA,  
Монченко Олена  
Володимирівна, UA(73) Власник:  
НАЦІОНАЛЬНИЙ  
АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,  
пр. Комарова, 1, м. Київ,  
03680, UA

(54) Назва корисної моделі:

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДВОШКАЛЬНИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ВИРОБІВ

(57) Формула корисної моделі:

Ультразвуковий двошкальний спосіб вимірювання товщини виробів, що містить формування фазоманіпульованого ультразвукового зонduючого сигналу, введення його в об'єкт контролю, приймання сигналу після його поширення в об'єкті контролю, визначення фазових характеристик відбитих сигналів, вимірювання затримки поширення сигналу як інтервалу часу між стрибками фазової характеристики відбитих сигналів та обчислення товщини об'єкта за часом затримки сигналу та відомою швидкістю поширення сигналу, який відрізняється тим, що для підвищення точності визначення товщини об'єкта контролю вимірюють фазові зсуви  $\Delta\varphi$  відбитих сигналів відносно зонduючого, визначають з отриманого значення затримки сигналу узгоджену з  $\Delta\varphi$  кількість  $n$  цілих фазових циклів сигналу, а уточнене значення товщини визначають з виразу

$$h = \frac{c}{2f} \left( n + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right),$$

де  $c$ ,  $f$  - відповідно поширення та частота хвилі ультразвукового сигналу в матеріалі об'єкта контролю.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **100756** (13) **U**  
(51) МПК  
**G01B 17/02 (2006.01)**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2015 01408</b>	(72) Винахідник(и): <b>Куц Юрій Васильович (UA), Олійник Юрій Анатолійович (UA), Монченко Олена Володимирівна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>19.02.2015</b>	(73) Власник(и): <b>НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.08.2015</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.08.2015, Бюл.№ 15</b>	

**(54) УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДВОШКАЛЬНИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ВИРОБІВ**

**(57) Реферат:**

Ультразвуковий двошкальний спосіб вимірювання товщини виробів містить формування фазоманіпульованого ультразвукового зонduючого сигналу, введення його в об'єкт контролю, приймання сигналу після його поширення в об'єкті контролю, визначення фазових характеристик відбитих сигналів, вимірювання затримки поширення сигналу як інтервалу часу між стрибками фазової характеристики відбитих сигналів та обчислення товщини об'єкта за часом затримки сигналу та відомою швидкістю поширення сигналу, причому для підвищення точності визначення товщини об'єкта контролю вимірюють фазові зсуви  $\Delta\varphi$  відбитих сигналів відносно зонduючого, визначають з отриманого значення затримки сигналу узгоджену з  $\Delta\varphi$  кількість  $n$  цілих фазових циклів сигналу, а уточнене значення товщини визначають з виразу 
$$h = \frac{c}{2f} \left( n + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right)$$
, де  $c$ ,  $f$  - відповідно поширення та частота хвилі ультразвукового сигналу в матеріалі об'єкта контролю.

UA 100756 U

Корисна модель належить до луна-імпульсної ультразвукової товщинометрії і призначена для прецизійного вимірювання товщини виробів.

Відомий багатошкальний спосіб вимірювання фазового часу затримки сигналів [1], який полягає в тому, що за допомогою допоміжного вимірювання фазового зсуву сигналів  $\phi_n$  на грубій шкалі, що відповідає низькій частоті  $f_n$  тестового сигналу, визначають число цілих фазових циклів  $n$ , яке міститься у повному фазовому зсуві сигналів високої частоти  $f_v$ , який відповідає часу затримки сигналу  $\tau_n$ .

Значення  $f_n$  вибирають з умови однозначності результату вимірювання фазових зсувів, тобто з умови  $\phi_n = 2\pi f_n \tau_n < 2\pi$ . Результат вимірювання затримки отримують за виразом:

$$\tau_\phi = f^{-1} \left( n + \frac{\phi_v}{2\pi} \right), \quad (1)$$

де  $\phi_v$  - вимірне значення фазового зсуву  $0 \leq \phi_v \leq 2\pi$  сигналів частотою  $f_v$ . Число  $n$  знаходять за виразом:

$$n = \left[ \frac{\hat{\phi}_n f_v}{2\pi f_n} - \frac{\hat{\phi}_v}{2\pi} + 0,5 \right]^+ \quad (2)$$

де  $[.]^+$  - операція виділення цілої частини числа.

Цей спосіб має обмеження для використання в ультразвуковій товщинометрії, оскільки потребує виконання фазових вимірювань в широкому діапазоні частот. Чим більше товщина вимірюваного об'єкта контролю, тим нижчою повинна бути частота  $f_n$  для однозначного вимірювання  $\phi_n$ . З іншого боку, прагнення підвищення точності передбачає підвищення частоти  $f_v$ . Разом це призводить до розширення частотного діапазону сигналів, в той час як ультразвукові перетворювачі працюють в обмеженому частотному діапазоні.

Найбільш близьким по технічній суті є спосіб ультразвукового вимірювання товщини матеріалів і виробів [2], що включає формування ультразвукового зонduючого сигналу, введення його в об'єкт контролю, приймання сигналу після його поширення в об'єкті контролю, визначення фазової характеристики відбитих сигналів, обчислення товщини об'єкта за часом затримки сигналу та відомою швидкістю поширення сигналу, у якому згідно формується фазоманіпульований ультразвуковий зонduючий сигнал, а затримка поширення сигналу вимірюється як інтервал часу між стрибками фазових характеристик відбитих сигналів. Стрибки фазових характеристик сигналу в моменти здійснення фазової маніпуляції мають характерні точки, за положенням яких в часі визначається часова затримка сигналів.

Недоліком даного способу є те, що при дії у вимірювальному каналі шумів часове положення імпульсів, які визначаються за характерною точкою (стрибком) фазової характеристики сигналу, може коливатись в певних межах. В той же час існує можливість підвищити точність визначення затримки за рахунок вимірювання і врахування значення усередненого фазового зсуву несучої відбитих сигналів.

Поставлена задача вирішується тим, що ультразвуковий двошкальний спосіб вимірювання товщини виробів містить формування фазоманіпульованого ультразвукового зонduючого сигналу, введення його в об'єкт контролю, приймання сигналу після його поширення в об'єкті контролю, визначення фазових характеристик відбитих сигналів, вимірювання затримки поширення сигналу як інтервалу часу між стрибками фазової характеристики відбитих сигналів та обчислення товщини об'єкта за часом затримки сигналу та відомою швидкістю поширення сигналу, який відрізняється тим, що для підвищення точності визначення товщини об'єкта контролю вимірюють фазові зсуви  $\Delta\phi$  відбитих сигналів відносно зонduючого, визначають з отриманого значення затримки сигналу узгоджену з  $\Delta\phi$  кількість  $n$  цілих фазових циклів сигналу,

а уточнене значення товщини визначають з виразу  $n = \frac{c}{2f} \left( n + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right)$ , де  $c$ ,  $f$  - відповідно поширення та частота хвилі ультразвукового сигналу в матеріалі ОК.

Перевагою запропонованого способу є те, що і грубе, і точне значення часового інтервалу визначається за фазовою характеристикою зонduючих сигналів без зміни частоти несучої, що не потребує розширення робочої смуги частот товщиноміра.

Введення в об'єкт контролю і отримання ультразвукового сигналу відбувається за допомогою суміщеного п'єзоелектричного перетворювача.

На фіг. 1. зображено блок-схему пристрою, який реалізує запропонований спосіб і який містить: 1 - програмований генератор сигналів, 2 - суміщений п'єзоелектричний перетворювач, 3 - одноканальний дефектоскоп, 4 - персональний комп'ютер, 5 - програмне забезпечення.

На фіг. 2 зображено типові сигнали ультразвукової товщинометрії: фіг. 2а - опорний сигнал частотою  $f$ ; фіг. 2б - сформований з опорного колювання зондуєчий сигнал  $u_3$  та відбиті сигнали  $u_b$ , фіг. 2в - графік обвідної  $A(t)$ , фіг. 2г - графік функції  $\frac{\partial \tilde{\Phi}(t)}{\partial t}$ , стробованої за обвідною  $A(t)$ , по піках якої знаходять інтервал часу  $\tau_3$  до його уточнення.

5 Спосіб реалізується на прикладі відомих функціональних блоків та пристроїв (див. фіг. 1). Генератор 1 формує фазоманіпульований радіоімпульсний сигнал виду,

$$u(t) = \begin{cases} U \sin 2\pi f t, & t \in [0, \tau_1], \\ -U \sin 2\pi f t, & t \in [\tau_1, \tau_1], \\ 0, & t \notin [\tau_1, T_n], \end{cases} \quad (1)$$

де  $U$  - амплітуда сигналу,  $f$  - частота заповнення радіоімпульсу,  $\tau_1$  - момент маніпуляції фази,  $\tau_1$  - тривалість радіоімпульсу,  $T_n$  - період повторення радіоімпульсів.

10 Сигнал  $u(t)$  подається на суміщений п'єзоелектричний перетворювач 2, який перетворює електричний сигнал в ультразвуковий. Прийнятий після поширення в ОК ультразвуковий сигнал перетворюється тим же перетворювачем 2 в електричний і подається на дефектоскоп 3. Останній виконує аналого-цифрове перетворення сигналів і формує вибірки зондуєчого і відбитих сигналів  $u[j]$  і передає їх для подальшої обробки в блок 4. Визначення товщини ОК виконується у відповідності до програмного забезпечення 5.

15 Дискретна фазова характеристика сигналу визначаються за допомогою дискретного перетворення Гільберта [3] за формулою:

$$\tilde{\Phi}[j] = \text{arctg} \frac{\hat{u}[j]}{u[j]} + K[u[j], \hat{u}[j]], \quad (2)$$

20 де  $\hat{u}[j]$  - гільберт-образ сигналу  $u[j]$ ,  $K$  - оператор розгортки фазових характеристик сигналів за межі інтервалу  $(0, 2\pi]$ .

Фазова характеристика фазоманіпульованого сигналу містить стрибки у моменти часу, які відповідають виконанню маніпуляції несучого колювання. Часове положення стрибків ФХ сигналів може бути визначено за її похідною  $\frac{\partial \tilde{\Phi}(t)}{\partial t}$ . Ці стрибки з метою підвищення достовірності результатів вимірювання можуть бути виділені за допомогою стробування ФХ обвідних відбитих сигналів:

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

часове положення яких відповідає затримці сигналу при поширенні у ОК.

30 Грубе значення затримки визначається як часовий інтервал  $\tau_3$  (фіг. 2.4). Значення цього інтервалу вимірюється з похибкою, спричиненою дією шуму, що супроводжує процес випромінення, поширення в ОК і прийому ультразвукового сигналу.

Згідно з корисною моделлю реалізується двошкальний спосіб вимірювання, в якому часова затримка на поширення сигналу в ОК визначається через фазовий час його затримки:

$$\tau_3 = \left( n + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) \frac{1}{f}. \quad (4)$$

35 Значення часу затримки в періодах несучого колювання  $n/f$  визначається на основі вимірювання часового інтервалу між стрибками фазової характеристики сигналу. Уточнююче значення затримки визначається на основі вимірювання фазового зсуву сигналів  $\Delta\varphi$  в кінці і на початку цього інтервалу, яке здійснюється відносно фази гармонічного сигналу (фіг. 2а):

$$\Delta\tau = \frac{\Delta\varphi}{2\pi f}. \quad (5)$$

40 Узгодження грубого і точного значень (уточнення цілої кількості фазових циклів) відбувається за формулою:

$$n = \left[ f\tau_3 - \frac{\Delta\varphi}{2\pi} + 0,5 \right]^+. \quad (6)$$

З урахуванням відомої швидкості  $c$  поширення ультразвуку в ОК, товщина ОК визначається за формулою:

$$h = \frac{c\tau_3}{2} = \frac{c}{2f} = \left( n + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) = \frac{c}{2f} \left( \left[ f\tau_3 - \frac{\Delta\varphi}{2\pi} + 0,5 \right]^+ + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right). \quad (7)$$

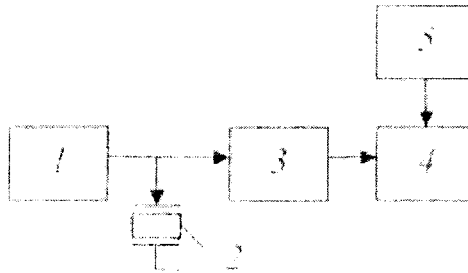
Даний спосіб дає можливість прецизійного вимірювання товщини виробів за умови дії шумів в електроакустичному тракті товщиноміра.

Джерела інформації

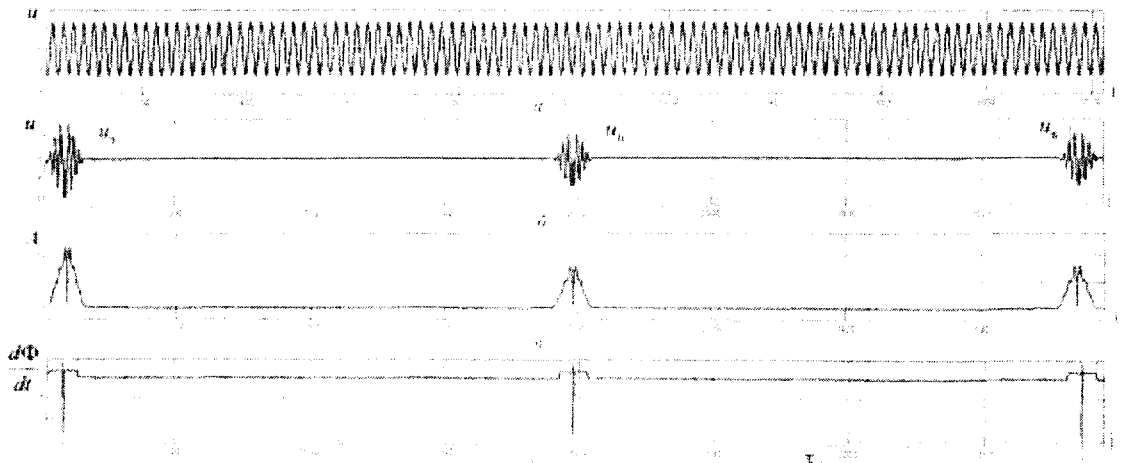
1. АС 864238 /СССР/. Способ измерения фазового времени задержки сигналов / В.Г. Баженов, Е.К. Батуревич, С.М. Маевский. - Опубл. в Б.И., 1981, № 34.
2. Куц Ю.В., Найда В.Л., Олійник Ю.А., Монченко О.В. Спосіб ультразвукового вимірювання товщини матеріалів та виробів. - Патент № 79972, МПК G01B 17/02. - u 2012 12606; Заявлено 05.11.2012; Опубл. 13.05.2013, Бюл. № 11. - 3 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 540 с. - 471 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Ультразвуковий двошкальний спосіб вимірювання товщини виробів, що містить формування фазоманіпульованого ультразвукового зондуючого сигналу, введення його в об'єкт контролю, приймання сигналу після його поширення в об'єкті контролю, визначення фазових характеристик відбитих сигналів, вимірювання затримки поширення сигналу як інтервалу часу між стрибками фазової характеристики відбитих сигналів та обчислення товщини об'єкта за часом затримки сигналу та відомою швидкістю поширення сигналу, який відрізняється тим, що для підвищення точності визначення товщини об'єкта контролю вимірюють фазові зсуви  $\Delta\phi$  відбитих сигналів відносно зондуючого, визначають з отриманого значення затримки сигналу узгоджену з  $\Delta\phi$  кількість  $n$  цілих фазових циклів сигналу, а уточнене значення товщини визначають з виразу  $h = \frac{c}{2f} \left( n + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right)$ , де  $c$ ,  $f$  - відповідно поширення та частота хвилі ультразвукового сигналу в матеріалі об'єкта контролю.



Фиг. 1



Фиг. 2