

УДК 620.179.16

ЦИФРОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ФАЗОВОЇ ШВИДКОСТІ УЛЬТРАЗВУКУ

© Баженов В. Г., Лігоміна С. М., 2000
 НТУ У "Київський політехнічний інститут"

Розглядається питання побудови цифрового вимірювача фазової швидкості ультразвуку для контролю фізико-механічних властивостей матеріалів.

Вимірювання фазової швидкості ультразвуку в об'єкті контролю (ОК) дозволяє визначити його фізико-механічні властивості, внутрішні напруження в ОК тощо [1]. Однак для вирішення цих задач потрібне прецизійне вимірювання фазової швидкості ультразвуку (відносна похибка не повинна перевищувати 10^{-4} [1]).

В більшості випадків у вимірювачах швидкості використовуються імпульсні методи, які фактично вимірюють не фазову швидкість розповсюдження, а швидкість розповсюдження складного ультразвукового сигналу [2].

В дисперсійних середовищах швидкість розповсюдження складного ультразвукового сигналу може істотно відрізнятись від фазової швидкості. Значення дисперсії $\Delta c / \bar{c}$ (Δc - різниця максимального та мінімального значень швидкості, \bar{c} - середнє значення) для полікристалічних металів на частотах до 10^7 Гц може дорівнювати 10^{-3} [3], що здебільшого визначається похибкою вимірювання швидкості ультразвуку імпульсними методами.

Фазовий метод вимірює швидкість на визначеній частоті (частота несучої), виключаючи вплив дисперсії на результат вимірювання.

Фазова швидкість для методу на відбиття є такою:

$$C = \frac{2 \cdot l}{\tau}, \quad (1)$$

де l - довжина зразку, τ - фазовий час затримки .

Фазовий час затримки дорівнює

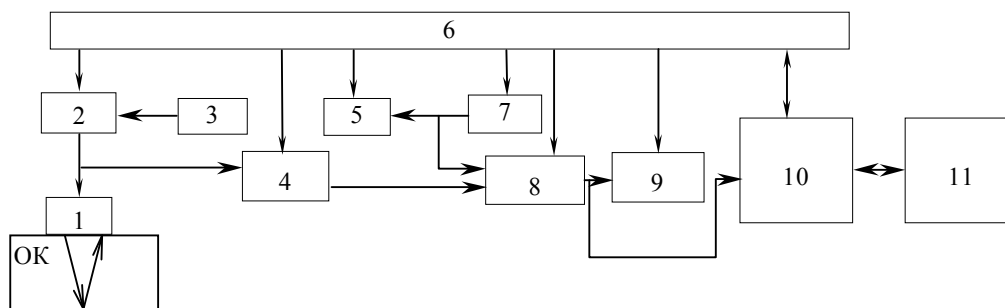
$$\tau = \frac{\Phi}{\omega}, \quad (2)$$

де Φ - кумулятивний фазовий зсув, ω - кутова частота.

Як правило $\Phi > 2\pi$, що приводить до необхідності використання методів усунення фазової неоднозначності.

Необхідність використання радіоімпульсів (щоб уникнути впливу реверберації), а також те, що зонduючий і відбитий сигнал рознесені в часі, ускладнює вимірювання фазового зсуву несучої і потребує побудови спеціальних радіоімпульсних фазометрів із високими метрологічними характеристиками. Але рознесення в часі, а також суміщення у просторі радіоімпульсів стало основною обставиною для створення авторами на базі ПК, об'єднаного з АЦП, вимірювальної системи, призначеної для визначення фазового часу затримки ультразвукового імпульсу (рис. 1).

При цьому фактично реалізується в цифровому виді специфічний одноканальний фазометр із використанням ортогонального методу вимірювання фазового зсуву (рис. 2). Даний метод відноситься до класу оптимальних (забезпечує мінімальну похибку при дії завад) і дозволяє працювати в широкому діапазоні відношень сигнал-шум.



1 - п'єзоелектричний перетворювач (ПЕП); 2 - модулятор; 3 - генератор несучої частоти; 4 - підсилювач із керованим коефіцієнтом підсилення; 5 - дільник частоти; 6 - блок керування (БК); 7 - синтезатор частоти; 8 - аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 9 - ОЗП; 10 - інтерфейс; 11 - персональний комп'ютер (ПК)

Рис. 1. Структурна схема цифрового вимірювача фазової швидкості ультразвуку.

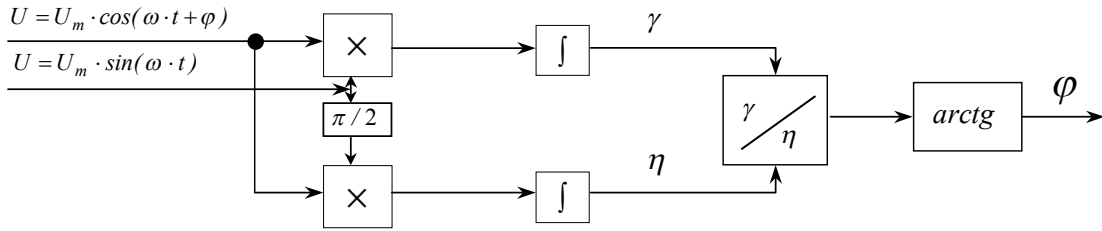


Рис. 2. Схема ортогонального методу вимірювання фазового зсуву.

Вимірювання фазового зсуву φ виконується згідно такого алгоритму [4]:

$$\varphi = \arctg \frac{\int_0^{T_i} U_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \cdot \sin(\omega \cdot t) dt}{\int_0^{T_i} U_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \cdot \cos(\omega \cdot t) dt}, \quad (3)$$

де U_m - амплітуда сигналу, ω - кутова частота, t - час, T_i - час вимірювання, φ - фазовий кут.

У нашому випадку вхідний сигнал кодується АЦП, що приводить до реалізації дискретного ортогонального методу. Тоді вираз (3) набуде наступного вигляду [4]:

$$\varphi = \arctg \left[\frac{U_S}{U_C} \right] \quad (4)$$

де $U_S = \sum_{n=1}^N U(nT) \cdot \sin(\omega \cdot nT)$, $U_C = \sum_{n=1}^N U(nT) \cdot \cos(\omega \cdot nT)$, n - номер вибірки, T - період дискретизації, $U(nT)$ - значення n - вибірки, N - сумарна кількість вибірок.

Розглянемо роботу цифрового вимірювача фазової швидкості ультразвуку (рис. 1). По команді з ПК у синтезатор частоти заноситься код частоти вибірок. Із синтезатора сигнал поступає на вхід дільника частоти і на вхід АЦП. На виході дільника частоти будуть мати місце імпульси, які синхронізують роботу генератора несучої так, щоб на кожен період несучої частоти припадало $K\delta$ (коефіцієнт ділення) вибірок АЦП. Сигнал із БК керує модулятором. Сформований радіоімпульс подається на ПЕП і випромінюється в ОК. Сигнал із БК керує початком аналого-цифрового перетворення підсиленого сигналу, який прийняв ПЕП. Використання керованого БК проміжного ОЗП дозволяє підвищити частоту вибірок. ПК виконує множення отриманих цифрових значень на ортогональні функції і, згідно алгоритму (5), обчислює фазовий зсув.

Але використання алгоритму (4) має недолік. Він видає однозначний результат тільки тоді, якщо вимірюваний фазовий зсув знаходиться в межах $(-\pi/2 \dots \pi/2)$.

Розширити діапазон однозначного вимірювання до $(-\pi \dots \pi)$ можна, якщо врахувати знаки синусоїдальної та косинусоїдальної складових. Тобто алгоритм вимірювання матиме вигляд:

$$\varphi = \begin{cases} \arctg(U_S/U_C), & U_C > 0, U_S > 0, U_S < 0 \\ \pi + \arctg(U_S/U_C), & U_C < 0, U_S > 0 \\ -\pi + \arctg(U_S/U_C), & U_C < 0, U_S < 0 \\ \pi/2, & U_C = 0, U_S > 0 \\ -\pi/2, & U_C = 0, U_S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Вважається доцільним вимірювання фазового часу затримки виконувати між 1-им та 2-им, 2-им та 3-ім відбитими радіоімпульсами, тобто обчислювати не φ , а $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$. Це дозволить позбутися похибок за рахунок нестабільностей фазового зсуву в контактному шарі, ФЧХ перетворювача і таким чином фактично виконувати абсолютні вимірювання з високою точністю.

При створенні прецизійних вимірювачів фазового часу затримки згідно запропонованої схеми (рис. 1) необхідно також врахувати і той факт, що значення частоти синтезатора, яке задається комп'ютером ω_3 , буде відрізнятися від дійсного значення частоти $\omega = \omega_3 + \Delta\omega$ синтезатора, що призводить до появи похибки вимірювання $\Delta\varphi = \varphi(\omega_3) - \varphi(\omega)$.

Для визначення $\Delta\varphi$ скористаємося виразом (3). Враховуючи те, що $\varphi(\omega_3) = -\omega_3\tau$ і $T_i \cdot \omega_3 = 2 \cdot \pi \cdot k$, де k - кількість цілих періодів ω_3 , отримуємо наступний вираз для похибки $\Delta\varphi$:

$$\Delta\varphi = \delta \cdot (\pi \cdot k + \omega_3 \cdot \tau), \quad (6)$$

де $\delta = \Delta\omega / \omega_3$ - відносна похибка установки частоти ω_3 .

У більшості практичних випадків похибкою (6) можна знехтувати. Так, наприклад, при точності встановлення частоти синтезатора $\delta = 10^{-6}$ при значенні частот $\omega_3 = 2\pi \cdot 10^8$ Гц, $k = 100$ і вимірюванні $\tau = 10^{-6}$ с, ця похибка складе $\Delta\varphi = 10^{-6} \cdot (\pi \cdot 100 + 2\pi \cdot 10^8 \cdot 10^{-6}) \cdot 180 / \pi \approx 0,05^\circ$.

Приведена схема дозволяє реалізувати гнучку систему вимірювання швидкості ультразвуку з мінімальними апаратними ускладненнями і із можливістю усунення неоднозначності вимірювання фазового зсуву.

1. Вилков А. Б. *Физические аспекты акустического контроля. Международный центр научной и технической информации, институт машиноведения им. А. А. Благодарова АН СССР. М., 1992. 269 с.*
2. Колесников А. Е. *Ультразвуковые измерения. - М., "Изд-во стандартов". 1982, 248 с.*
3. Буденков Г. А.,

Стрижак В. А., Пряхин А. В., Полянин Г. А., Коршунов Я. И., Медзвецкая О. В. *Импульсный метод измерения скорости ультразвука. - Дефектоскопия, 1999, № 2, С. 3-8.*
4. Глинченко А. С., Кузнецкий С. С., Фиштейн А. М., Чмых М. К. *Цифровые методы измерения сдвига фаз. - Новосибирск: Наука, 1979.*

УДК 620.179

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ БУРОВОГО ІНСТРУМЕНТУ АКНК-1

© Карпаш О. М., Криничний П. Я., Козоріз А. В., 2000
Науково-виробнича фірма "ЗОНД", м. Івано-Франківськ

Приведені результати експериментальних та теоретичних досліджень неруйнівних методів та засобів контролю бурового інструменту. Описано автоматизований комплекс неруйнівного контролю бурового інструменту АКНК-1, приведена його технічна характеристика.

Зменшення аварійності при бурінні є одним із найбільш важливих заходів, що забезпечує підвищення продуктивності, зниження собівартості, підвищення швидкості буріння.

Найбільша кількість аварій відбувається із-за порушення міцності бурильної і обсадної колон. Аналіз роботи колон показує, що порушення міцності бурильної колони є однією з основних причин аварійності в бурінні. Найбільша кількість відмов, які призводять до аварій, пов'язана із поломкою бурильних труб і складає 55-65 % від загального числа відмов. Переважаючим видом аварій є втомне руйнування бурильних труб в різьбових з'єднаннях, воно викликає 65-90% аварій [1, 2]. Інші 10-35% аварій обумовлені поломкою бурильних труб по тілу із-за концентрації напружень на поверхні труби і зменшення товщини стінок труб внаслідок зносу.

В теперішній час нафтова і газова галузі володіють достатньою кількістю різноманітних типів ультразвукових дефектоскопічних установок, окремих дефектоскопів і товщиномірів, які успішно використовуються для виявлення вказаних дефектів як в умовах бурової, так і в умовах трубних баз. Однак їх ефективне використання обмежене низькою продуктивністю контролю.

Підвищення продуктивності дефектоскопії і товщинометрії тіла бурильних труб, усунення суб'єктивного фактору при оцінці результатів контролю, отримання об'єктивного документу з реєстрацією результатів можуть бути досягнуті тільки при автоматизації процесу неруйнівного контролю.

Задача створення надійного і продуктивного контролю бурильних труб в процесі спуско-

підіймальних операцій (СПО) автоматизованими засобами ультразвукового контролю обумовлює необхідність створення складних механічних, акустичних та електронних систем. Тому вибір конструкції і оптимізація параметрів автоматизованого комплексу неруйнівного контролю вимагали проведення цілого ряду експериментальних робіт, пов'язаних з вирішенням внаслідок автоматизації наступних основних операцій:

- 1) сканування контрольованої труби ультразвуковим променем,
- 2) створення стабільного акустичного контакту п'єзоперетворювача з поверхнею труби,
- 3) реєстрація результатів контролю та їх оцінка,
- 4) керування режимами роботи каналами контролю.

До основних параметрів, які визначались шляхом експериментальних досліджень були віднесені: умовна чутливість, умовна роздільна здатність (фронтальна та по дальності), кути вводу ультразвукових коливань (УЗК), оптимальні частоти збудження п'єзоперетворювачів, діапазони зон контролю.

Експериментальні роботи по визначенню перерахованих параметрів проводилися по схемі, яка приведена на рис. 1.

Про наявність дефекту в стінці контрольованої труби свідчить поява луно-сигналу в зоні контролю на екрані ультразвукового дефектоскопа. Амплітуда луно-сигналу від дефекту залежить від розмірів і орієнтації дефекту, стану його відбиваючої поверхні, затухання УЗК в металі труби, параметрів